

واکنش‌های مورفوفیزیولوژیک زرشک بی‌دانه (*Berberis vulgaris* L.) به آبیاری با آب شور

محمدهادی راد^{۱*}، رستم یزدانی بیوکی^۲، ولی سلطانی گردفرامزنی^۳ و نادیا بشارت^۲

۱- دانشیار، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

پست الکترونیک: mohammadhadirad@gmail.com

۲- استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳- کارشناس، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

تاریخ اصلاح نهایی: اسفند ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۰

چکیده

با هدف بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک اندام هوایی زرشک بی‌دانه (*Berberis vulgaris* L.) آزمایشی با استفاده از گلدان‌های بزرگ زهکش‌دار در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ سطح شوری: ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری در سه تکرار در ایستگاه مرکزی مرکز ملی تحقیقات شوری در یزد طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ انجام شد. تأثیر شوری آب بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک اندام هوایی بررسی شد. تأثیر سطوح مختلف شوری روی ارتفاع، قطر، سطح و حجم تاج پوشش، تعداد جست و انشعاب جدید، تعداد برگ در هر درختچه، سطح کل برگ، شاخص سطح برگ، وزن خشک برگ، درصد آسیب‌دیدگی برگ‌ها در دمای بالا، میزان کلروفیل کل، کلروفیل‌های *a* و *b*، کاروتنوئید، پرولین، قند کل، آنتوسیانین برگ، فنول برگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار ($P < 0.01$) بدست آمد. براساس نتایج، زرشک بی‌دانه از تاب‌آوری بالایی نسبت به تنش شوری برخوردار است. علی‌رغم کاهش رشد در شوری بالای ۹ دسی‌زیمنس بر متر، مقاومت فیزیولوژیکی گیاه از طریق تولید اسمولیت‌های ثانویه و بقا در شرایط شور تا شوری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شد. بر این اساس در رویشگاه‌های مناسب برای پرورش زرشک، می‌توان با مدیریت مناسب محیط ریشه و کنترل شوری عصاره اشباع خاک تا ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر، از منابع آب و خاک شور برای پرورش زرشک بی‌دانه به‌ویژه برای افزایش ترکیب‌های فنلی، بهره جست.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، شوری، کلروفیل، پرولین، فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی.

مقدمه

تنش‌های محیطی بر رشد گیاهان نیز مورد توجه قرار گرفته و به‌طور جامع در حال بررسی است (Ma et al., 2020). ضمن اینکه گیاهان موجود در طبیعت برای بقای خود، باید همزمان یا جداگانه با تنش‌های متنوع و متقابل کنار بیابند (Pandey et al., 2015). تنش‌های خشکی و شوری به عنوان دو تنش اصلی غیر زیستی، بهره‌وری جهانی

بررسی سازوکارهای مقاومت و تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی بسیار با اهمیت است. در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های فوق‌العاده‌ای در درک سازوکارهای بنیادی مقاومت / تحمل گیاهان مهم به تنش‌های زیستی و غیرزیستی انجام شده است. علاوه بر آن تأثیر مثبت و منفی

اگرچه گزارش‌هایی از تحقیقات انجام شده پیرامون تأثیر تنش شوری و سایر تنش‌های زیستی و غیر زیستی بر زرشک زینتی موجود است (Rasoli et al., 2012؛ Taghizadeh et al., 2017)، اما به دلیل اینکه زرشک بی‌دانه کاملاً بومی ایران بوده و تولید آن به مناطق خاصی از کشور محدود می‌شود (عمدتاً در استان خراسان جنوبی) و همچنین سطح کشت قابل توجهی از آن در خارج از کشور وجود ندارد، از این رو منابع مطالعاتی راجع به تأثیر تنش شوری و همچنین آستانه تحمل به شوری مشاهده نشد. با توجه به گسترش سطح اراضی و منابع آبی شور، ضرورت دارد در معرفی گیاهان مقاوم به شوری اقدام مؤثری انجام شود. بررسی‌های میدانی نشان داد که زرشک بی‌دانه می‌تواند یکی از گزینه‌های مناسب برای این موضوع باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از طریق مطالعه واکنش‌های مورفوفیزیولوژیک اندام‌های هوایی زرشک بی‌دانه (*Berberis vulgaris* L.)، میزان مقاومت به شوری این گیاه ارزیابی شد. آزمایش در ایستگاه مرکزی مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در شهرستان یزد انجام شد. از تعداد ۳۰ گلدان یو-پی‌وی سی (پولیکا) با ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر و قطر دهانه ۳۸/۵ سانتی‌متر (با حجم ۱۰۷ لیتر) که به وسیله پشم شیشه عایق شد، استفاده گردید. از مقدار ۱۳۶/۵ کیلوگرم خاک و کود دامی پوسیده استفاده شد. تلاش شد تا رطوبت خاک به صورت حجمی و در اعماق مختلف به وسیله تی‌دی‌آر (TDR) قرائت و همواره در حد ظرفیت زراعی حفظ شود. شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌ها در جدول ۱ ذکر شده است.

اعمال تیمارها

پس از استقرار نهال در داخل گلدان‌ها و سازگار شدن آنها با شرایط اقلیمی محل اجرای طرح، نسبت به اعمال تیمارهای شوری شامل سطوح ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵

محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Singh et al., 2018). با وجود سابقه بسیار زیاد مطالعات مربوط به فرایندهای کلیدی سازگاری گیاهان با شرایط تنش‌های غیر زیستی، هنوز نیاز به بررسی‌های گسترده‌تر و دقیق‌تر بوده و باید با درک سازوکارهای سازگاری / تحمل گیاهان به‌طور خاص، نسبت به کاهش اثرهای سوء این تنش‌ها اقدام کرد (Ma et al., 2020).

ایران با داشتن ۱۱۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت، در حدود ۹۵٪ از کل میوه زرشک بی‌دانه (*Berberis vulgaris* L.) تولیدی در جهان را به خود اختصاص داده است (Alemardan et al., 2013). زرشک به صورت درختچه‌ای خاردار به ارتفاع ۱ تا ۳ متر و دارای شاخه‌هایی شکننده است. ارتفاع آن در محیط‌های مساعد ممکن است به شش متر نیز برسد. گیاه یک پایه و گل‌هایش دو جنسی است. برگ‌های زرشک بی‌دانه در بعضی واریته‌ها صاف و در برخی دیگر دندانه‌دار است. بوته‌های زرشک بی‌دانه خاردار است و خارهای آن از تبدیل برگ‌ها بوجود می‌آید و در محل اتصال خارها به شاخه پهن‌تر می‌شود (Mehdizadeh & Nazerii, 2016).

از زرشک بی‌دانه به‌طور گسترده به عنوان چاشنی غذا استفاده می‌شود. *B. integerrima* که به زرشک سیاه و زرشک وحشی نیز معروف است، بیشتر برای آبگیری و استفاده در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ardestani et al., 2013؛ Rahimi-Madiseh et al., 2017). مصارف دارویی *B. vulgaris* در طب چینی به بیش از ۳۰۰۰ سال پیش و در برخی دیگر از کشورها به بیش از ۲۵۰۰ سال پیش برمی‌گردد (Fallah Huseini et al., 2010). آلکالوئیدهای مختلفی در اندام‌های این گیاه وجود دارد که مهمترین آنها بربرین است. این آلکالوئید می‌تواند اثرهای مختلفی از جمله فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، کاهش قند خون، کنترل فشار خون پایین و کاهش چربی خون را به دنبال داشته باشد (Bhardwaj & Kaushik, 2012). اندام‌های مختلف *B. vulgaris* در صنایع غذایی و دارویی و از گونه‌های تزئینی زرشک برای تزئین در طراحی فضای سبز استفاده می‌شود.

فاکتورهای مورد ارزیابی

ارتفاع و قطر: افزایش ارتفاع درختان به سانتی متر و قطر متوسط (شمال- جنوب و شرق- غرب) نیز برحسب سانتی متر مبنای ارزیابی میزان رشد رویشی و محاسبه سطح و حجم تاج پوشش در طول دوره اعمال تیمار شوری قرار گرفت. بدین منظور شاخص‌های ذکر شده در دو مقطع زمانی قبل و بعد از اعمال تیمار اندازه‌گیری شد.

سطح برگ: با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل AM-200 ساخت کمپانی ADC انگلستان، سطح تعداد ۴ عدد برگ قسمت میانی شاخه‌های انتهایی اندازه‌گیری و از آنها میانگین گرفته شد.

دسی‌زیمنس بر متر روی پایه‌های ۳ ساله (بارور) اقدام گردید. برای هر سطح از تیمار شوری ۶ گلدان (۳ تکرار و در هر تکرار ۲ گلدان) در نظر گرفته شد که در پایان، از ۳ پایه به عنوان ۳ تکرار که شرایط یکسان‌تری داشتند، استفاده شد. تیمارهای شوری با رقیق کردن آب چشمه شور منطقه عقدای یزد با شوری حدود ۵۰۰ دسی‌زیمنس بر متر در سطوح مورد نظر اعمال گردید (جدول ۲). در هر مرحله از آبیاری، رطوبت خاک اندازه‌گیری و آبیاری براساس تفاوت آن تا ظرفیت زراعی انجام شد. برای اطمینان از مرطوب شدن پروفیل خاک و توجه به کسر آبشویی، در زمان اعمال تیمار، ۳۰٪ آب مازاد بر مقدار مورد نیاز در هر مرحله از آبیاری اضافه گردید. پس از ۲۴ ساعت از زمان آبیاری، میزان آب زهکش شده به همراه شوری آن اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در گلدان‌های آزمایشی

Table 1. Some soil physicochemical characteristics used in experimental pots

EC (dS.m ⁻¹)	pH	P (ppm)	K (ppm)	Total N (%)	Organic carbon (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Specific gravity	Soil Moisture in FC (Volumetric %)
3.42	7.53	5.92	141	0.01	0.01	58.18	12.82	29	1.6	36.5

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب مورد استفاده در آزمایش‌ها

Table 2. Water chemical characteristics used in experiments

Water source	EC (dS.m ⁻¹)	pH	SAR**	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
				(meq l ⁻¹)							
Well	2.8	8.05	3.9	9.7	8.42	0	2.89	11.74	0.1	17.31	9.75
Spring*	10	8.00	28.83	3.26	12.88	0	2.77	80.73	0.21	86.48	7.82

*The salinity of spring water was 500 dS.m⁻¹, which was diluted fifty times for testing.

سطح برگ ویژه: با کسب اطلاعات لازم از میزان رطوبت برگ و همچنین سطح برگ، سطح برگ ویژه که عبارت است از سطح یک گرم ماده خشک برگ باشد (بر حسب سانتی‌مترمربع)، از طریق روش ارائه شده توسط Cutini و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه شد.

اسید آمینه پرولین: به استناد روش ارائه شده توسط Bates و همکاران (۱۹۷۳) از مقدار ۰/۵ گرم برگ سالم و تازه استفاده و برای قرائت شدت جذب در دستگاه

شاخص سطح برگ: پس از اندازه‌گیری سطح برگ، نسبت به شمارش تعداد برگ‌های موجود روی یک شاخه اقدام گردید. با شمارش تعداد شاخه‌های درختچه، تعداد برگ موجود بر روی هر درختچه تخمین زده شد. سطح سایه‌انداز گیاه نیز به‌عنوان واحد سطح زمین در این محاسبه مورد توجه قرار گرفت. طبق تعریف، شاخص سطح برگ عبارت است از: مساحت یک طرف برگ در واحد سطح زمین (Martens et al., 1993; Cutini et al., 1998).

از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل جن‌وی (در طول موج ۷۶۰ نانومتر) قرائت شد و با مقایسه با منحنی استاندارد گالیک اسید، محتوای فنل کل براساس گرم اسید گالیک بر کیلوگرم برگ تازه گزارش گردید.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی: فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ براساس روش ارائه شده توسط Shimada و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد. از عصاره متانولی به میزان ۰/۲ میلی‌لیتر استفاده گردید. از هر یک از نمونه‌ها ۵۰۰ میکرولیتر برداشته و با ۵۰۰ میکرولیتر آب مقطر مخلوط و به مدت ۵ دقیقه با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق سانتریفوژ گردید. سپس ۷۵ میکرولیتر از فاز رویی به همراه ۲۹۲۵ میکرولیتر محلول DPPH (۰/۰۰۲۴ گرم DPPH با متانول ۸۵٪ به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) ورتکس شد. در نهایت جذب نمونه‌ها پس از قرار گرفتن در تاریکی به مدت ۳۰ دقیقه در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل جن‌وی قرائت شد. همزمان با این عمل، جذب نمونه شاهد نیز (که بجای عصاره از ۰/۲ میلی‌لیتر متانول ۶۰٪ استفاده گردید) اندازه‌گیری شد. از رابطه ۲ فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۲} \quad (\%) = \left[\frac{A_c - A_s}{A_c} \right] \times 100$$

A_c و A_s به ترتیب جذب شاهد و جذب نمونه می‌باشد.

رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید: مقدار ۰/۱ گرم برگ از هر واحد آزمایشی برداشته شد و با انتقال به آزمایشگاه و از طریق روش ارائه شده توسط Arnon (۱۹۶۷)، نمونه‌ها برای قرائت توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۹۰ نانومتر آماده شدند. پس از قرائت شدت جذب در طول موج‌های ذکرشده، مقادیر کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئید به وسیله روابط ارائه شده توسط Arnon (۱۹۶۷) بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

اسپکتروفتومتر مدل جن‌وی (در طول موج ۵۲۰ نانومتر) آماده گردید. در روش ارائه شده، برای کمی کردن تغییرات پرولین در نمونه‌های مورد آزمایش، منحنی استاندارد جذب براساس دامنه تغییر رنگ در نمونه‌هایی با مقادیر ۰، ۲، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ ppm از پرولین رسم گردید.

آنتوسیانین کل: برای سنجش میزان آنتوسیانین از روش Wagner (۱۹۷۹) استفاده گردید. به این منظور، ۰/۱ گرم از بافت تازه برگ در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (متیل الکل و کلریدریک اسید خالص با نسبت حجمی ۱ به ۹۹) کاملاً ساییده شد و پس از سانتریفوژ، جذب محلول بالای در طول موج ۵۵۰ نانومتر محاسبه شد. مقدار آنتوسیانین با استفاده از رابطه ۱ بدست آمد.

$$A = \epsilon bc \quad \text{رابطه ۱}$$

A: شدت جذب، b: عرض کوت برابر با ۱ سانتی‌متر، c: غلظت آنتوسیانین (گرم بر مول) و ϵ ضریب خاموشی است که برابر ۳۳۰۰۰ سانتی‌متر بر مول در نظر گرفته شد.

قند کل: قند کل با استفاده از روش Irigoyen و همکاران (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد. به این منظور از ۰/۵ گرم نمونه خشک برگ استفاده و برای قرائت شدت جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر مدل جن‌وی (در طول موج ۶۲۵ نانومتر) آماده گردید. میزان قندهای محلول بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک برگ با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز محاسبه شد. برای تهیه منحنی استاندارد از گلوکز با غلظت‌های ۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر استفاده گردید.

محتوای فنل کل: محتوای فنل کل با استفاده از معرف فولین سیکالته اندازه‌گیری شد (Singleton & Rossi, 1965). ۰/۳ میلی‌لیتر عصاره برگ رقیق شده (۱:۱۰۰) با ۱/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیکالته رقیق شده (۱:۱۰) ترکیب گردید. پس از پنج دقیقه ۱/۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵٪ (Na_2CO_3) به آن اضافه شد و پس از ۱/۵ ساعت در دمای آزمایشگاه و در شرایط تاریکی، جذب آن با استفاده

تجزیه و تحلیل آماری

نرمال سازی، تجزیه آماری و مقایسه میانگین داده ها توسط نرم افزار SPSS انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده گردید. مقایسه میانگین داده ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵٪ ($P < 0.05$) انجام شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به شاخص های مورفولوژیکی اندام های رویشی نشان داد که سطوح مختلف شوری، رفتارهای متفاوتی را در این مورد نشان دادند (جدول های ۳ و ۴). تأثیر سطوح مختلف شوری بر بسیاری

از شاخص های عملکردی رویشی معنی دار بود. در بین شاخص های ذکر شده، افزایش قطر، افزایش ارتفاع، افزایش حجم تاج پوشش، تعداد جست جدید، تعداد انشعاب جدید، تعداد برگ، سطح متوسط برگ، سطح کل برگ، شاخص سطح برگ و وزن خشک برگ و همچنین درصد آسیب دیدگی برگ ها در اثر افزایش ناگهانی دما در سطح آماری ۱٪ ($P < 0.01$) معنی دار بود. سطوح مختلف شوری بر افزایش سطح تاج پوشش در سطح آماری ۵٪ ($P < 0.05$) دارای اختلاف معنی دار بود و قطر یقه اختلاف معنی داری را نشان نداد (جدول های ۳ و ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص های مورفولوژیک زرشک بی دانه تحت سطوح مختلف شوری

Table 3. ANOVA of morphological characteristics of *Berberis vulgaris* under different salinity levels

Source of variation	df	Mean square						
		Canopy height	Canopy diameter	Canopy volume	Canopy surface	Diameter of collar	Number of new basal shoots	Number of new branches
Salinity treatments	4	107.60**	743.833**	192800.0**	294155.96*	5.661 ^{ns}	1.600**	17.33**
Experimental error	10	0.200	18.100	746550.21	17563.33	7.357	0.200	1.467
Total	14							
C.V.		8.03	10.77	14.03	14.34	23.09	37.26	30.27

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۳- ...

Continued Table 3. ...

Source of variation	df	Mean square				
		Number of leaves per plant	Total leaves area	Leaf area index	Leaves dry weight	Leaves damage percentage at high temperature
Salinity treatments	4	160810.26**	1896776.03**	0.070**	318.351**	4900.00**
Experimental error	10	15509.86	52893.37	0.008	2.655	73.333
Total	14					
C.V.		11.31	10.16	13.37	6.81	15.11

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های مورفولوژیک زرشک بی‌دانه تحت سطوح مختلف شوری

Table 4. Means comparison of morphological characteristics of *Berberis vulgaris* under different salinity levels

Salinity treatments (dS.m ⁻¹)	Traits					
	Canopy height (cm)	Canopy diameter (cm)	Canopy volume (m ³)	Canopy surface (cm ²)	Number of new basal shoots	Number of new branches
3	10.00a	18.83a	0.5286a	280.57ab	1.333b	7.666a
6	7.23b	19.66a	0.4110b	328.52a	2.333a	3.333b
9	4.33c	19.50a	0.2406c	315.89a	1.000bc	3.666b
12	3.33d	7.00b	0.2732c	41.25c	1.000bc	1.000c
15	3.00d	3.33b	0.2334c	8.89d	1.000bc	4.333d

In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level (Duncan test).

ادامه جدول ۴- ...

Continued Table 4. ...

Salinity treatments (dS.m ⁻¹)	Traits				
	Number of leaves per plant	Total leaves area	Leaf area index	Leaves dry weight	Leaves damage percentage at high temperature
3	1378.8a	3446.8a	0.6917b	39.366a	13.33a
6	1203.3a	2643.9b	0.5760bc	27.208b	13.33a
9	1202.6a	2069.1c	0.9128a	23.633c	73.33b
12	853.3b	1514.1d	0.5177c	15.809d	86.66b
15	865.3b	1643.2d	0.6327bc	13.471d	96.66c

In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level (Duncan test).

۹ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نشد. در شاخص افزایش قطر تاج پوشش و به‌دنبال آن افزایش سطح تاج پوشش و همچنین تعداد برگ در هر درختچه، اختلاف معنی‌داری بین سطح شوری ۳ و تیمار ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده نگردید. بالاترین میزان تعداد جست جدید مربوط به تیمار ۶ دسی‌زیمنس بر متر بود که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان داد. بالاترین میزان شاخص سطح برگ مربوط به تیمار ۹ دسی‌زیمنس بر متر با ۰/۹۱۲ بود (جدول‌های ۵ و ۶).

مقایسه میانگین تأثیر رژیم‌های مختلف شوری در مورد شاخص‌های مورفولوژیک اندام‌های هوایی نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری، کاهش معنی‌داری در شاخص‌هایی مانند ارتفاع، قطر، حجم تاج پوشش و سطح تاج پوشش، تعداد انشعاب جدید، تعداد برگ در هر درختچه، سطح کل برگ و وزن خشک برگ اتفاق افتاد. درصد آسیب‌دیدگی برگ‌ها در دمای بالا، با افزایش سطح شوری افزایش یافت. در بعضی شاخص‌ها، اختلاف معنی‌داری بین سطح شوری ۳ و سایر سطوح شوری به‌ویژه سطح شوری

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیک زرشک بی‌دانه تحت سطوح مختلف شوری

Table 5. ANOVA of physiological characteristics of *Berberis vulgaris* under different salinity levels

Source of variation	df	Mean square					
		Total chlorophyll	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids	Prolin	Total suger
Salinity treatments	4	6036.324**	5321.88**	35.784**	5.408**	265.100**	283.928**
Experimental error	10	341.533	339.423	4.711	0.515	2.841	7.507
Total	14						
C.V.		13.19	18.01	12.06	18.57	4.49	22.99

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

ادامه جدول ۵- ...

Continued Table 5. ...

Source of variation	df	Mean square			
		Leaf anthocyanin	Leaf phenol	Leaf antioxidant activity	Cell wall stability
Salinity treatments	4	35.471**	1112.851**	1362.146**	958.952ns
Experimental error	10	2.795	11.165	23.804	8.250
Total	14				
C.V.		12.32	14.45	11.10	4.80

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیولوژیک زرشک بی‌دانه تحت سطوح مختلف شوری

Table 6. Means comparison of physiological characteristics of *Berberis vulgaris* under different salinity levels

Salinity treatments (dS.m ⁻¹)	Traits				
	Total chlorophyll	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Carotenoids	Prolin
3	110.655b	102.769b	7.885b	3.204bc	22.291c
6	59.377c	53.788c	5.589b	2.392c	27.124b
9	161.587a	146781a	14.805a	5.564a	44.676a
12	61.837c	52.095c	9.742b	4.141b	26.726b
15	62.203c	54.112c	8.090b	2.391c	21.556c

ادامه جدول ۶- ...

Continued Table 6. ...

Salinity treatments (dS.m ⁻¹)	Traits			
	Total suger	Leaf anthocyanin	Leaf phenol	Leaf antioxidant activity
3	47.172a	28.120a	17.502d	29.032d
6	27.728b	21.717b	30.823c	64.104bc
9	31.354b	21.819b	38.288b	72.850b
12	28.354b	19.482b	68.726a	85.998a
15	21.042c	20.080b	29.430c	56.365c

In each column, means with common letters are not significantly different at 5% probability level (Duncan test).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به برخی از شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه مثل کلروفیل کل، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، پرولین، قندهای محلول، آنتوسیانین برگ، فنل برگ، فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ و پایداری غشاء سلولی نشان داد که این شاخص‌ها تحت تأثیر سطوح مختلف تیمار شوری بوده و با افزایش سطح تنش شوری، تغییرات معنی‌داری ($P < 0.01$) در آنها اتفاق افتاد (جدول ۵).

مقایسه میانگین داده‌ها در این مورد، نشان داد که رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید و همچنین میزان اسید آمینه پرولین تحت تأثیر سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر قرار گرفته و بالاترین مقدار را در این سطح از شوری به خود اختصاص داد، به‌گونه‌ای که از اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح تیمار شوری برخوردار بود (جدول ۹).

پایین‌ترین مقادیر شاخص‌های فیزیولوژیک مربوط به تیمار شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود که با سایر سطوح از اختلاف معنی‌دار برخوردار بود. در برخی موارد بین سطح ۱۵ و ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر مثل کلروفیل و اجزای آن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶).

بالاترین میزان قند کل و آنتوسیانین مربوط به سطح شوری ۳ دسی‌زیمنس بر متر بود که با سایر سطوح شوری اختلاف معنی‌داری را نشان داد. البته بین سایر سطوح شوری به‌ویژه در میزان آنتوسیانین، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۰).

بالاترین مقدار فنل کل مربوط به تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که از اختلاف معنی‌داری با سایر سطوح شوری برخوردار بود. بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز مربوط به تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که با سایر سطوح شوری اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶).

بحث

مقاومت به شوری در گیاهان می‌تواند ناشی از تلفیق متغیرهای رشد باشد که شامل کاهش هدایت روزنه‌ای، پایداری وضعیت آب در گیاه و افزایش نفوذپذیری غشاء است (Aras et

al., 2019). نتایج بررسی‌های بعمل آمده در مورد شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی زرشک بی‌دانه نشان داد که در تمامی شاخص‌های مورد اندازه‌گیری، اختلاف معنی‌دار در سطوح مختلف شوری وجود داشت. با افزایش سطح شوری از ۹ دسی‌زیمنس بر متر، بسیاری از شاخص‌های ذکر شده دستخوش تغییرات معنی‌داری شدند که عمدتاً در جهت کاهش عملکرد بود. بیشترین میزان آسیب‌دیدگی برگ در دمای بالا با ۹۶/۶۶٪ در تیمار ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر اتفاق افتاد. اگرچه بسیاری از شاخص‌های عملکردی که تحت عنوان شاخص‌های مورفولوژیک معرفی شده‌اند، با افزایش سطح شوری کاهش یافت، باوجوداین سطح تحمل گیاه تا شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر به دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار با تیمار ۳ دسی‌زیمنس بر متر در خور توجه بود. با توجه به گزارش‌های موجود، انتظار می‌رفت که با افزایش غلظت نمک در محیط پیرامونی ریشه و یا جذب یون‌های سمی، کاهش عملکرد و تغییر در ساختار مورفولوژیک گیاه اتفاق بیفتد (Hnilickova et al., 2021; Yang & Guo, 2018; Negrao et al., 2017). تنش شوری می‌تواند رشد شاخه‌ها را کاهش و تخصیص مواد سنتزی را بین ریشه و اندام هوایی تغییر دهد که منجر به تغییر نسبت توده ریشه می‌گردد (Negrao et al., 2017). کاهش سرعت رشد ریشه، محدودیت جذب آب را به دنبال دارد که تأثیر مستقیمی بر رشد و نمو گیاه خواهد داشت. در بسیاری از گیاهان، مقادیر کم نمک (با توجه به نوع گیاه) تأثیری بر میزان رشد نداشته و با افزایش غلظت نمک از سطح تحمل گیاه و سرعت رشد نسبی به سرعت کاسته می‌شود (Claeys et al., 2014). به دلیل اهمیت برگ و تأثیر مستقیم تنش‌های محیطی بر عملکرد آن، می‌توان برگ را به‌عنوان بهترین شاخص عملکردی (کمی و کیفی) برای بررسی تأثیر تنش شوری، به‌ویژه در دوره‌های کوتاه معرفی کرد. با این شرایط، به نظر می‌رسد در ارتباط با شاخص‌های مورفولوژیک اندام هوایی که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت، زرشک بی‌دانه تا شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر از بردباری نسبی برخوردار بود، هر چند تاب‌آوری آن در برابر تنش گرمایی کاهش یافت. آسیب‌دیدگی ۷۳ درصدی برگ‌ها در اثر وقوع گرمای شدید در اواسط تابستان بیانگر این موضوع است. دلیل

بهبود شرایط فتوسنتز و حفظ رنگدانه‌های کلروفیل و کاروتنوئید شد. هرچند بیان شده که تنش شوری، باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش جذب CO_2 و در نتیجه عدم توازن در ساخت رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش فتوسنتز می‌گردد (Polash *et al.*, 2019). با وجود این، گیاهانی که میزان مقاومت به شوری آنها بالاست، ممکن است تغییری در میزان تعرق آنها در شرایط تنش شوری پیش نیاید که این موضوع موجب جذب CO_2 کافی برای فتوسنتز شده و رشد مناسب گیاه اتفاق می‌افتد (Harris *et al.*, 2010). با گذشت زمان و افزایش سطح تنش شوری، در گیاهان مقاوم به شوری ممکن است سرعت جذب CO_2 کاهش یابد، اما CO_2 تجمع یافته در فضاهای زیر روزنه‌ای افزایش یابد که این عامل مؤثری در پایداری فتوسنتز خواهد بود (Hnilickova *et al.*, 2021). با توجه به مطالب ذکر شده به نظر می‌رسد گیاه زرشک بی‌دانه از مقاومت نسبی به تنش شوری برخوردار بوده و توانایی تحمل سطح متوسط شوری اعمال شده را دارد. به دلیل قابلیت تجمع زیاد پرولین در واکنش به تنش شوری، این ترکیب می‌تواند به‌عنوان یک نشانگر تحمل و یا سمیت نمک مورد بررسی قرار گیرد (Toyooka *et al.*, 2009). در بسیاری از گیاهان، تجمع پرولین در شرایط تنش شوری با میزان تحمل گیاه به شوری همبستگی دارد، به طوری که غلظت آن در گیاهان تحمل‌کننده شوری بیش از گیاهان حساس می‌باشد (Gangopadhyay *et al.*, 1997؛ Petrusa & Winicov, 1997). در این آزمایش افزایش سطح فنل تا شوری آب آبیاری ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر نیز مشاهده شد. افزایش ترکیب‌های فنلی در بافت‌هایی که دچار تنش می‌شوند از طریق افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی موجب جمع‌آوری و احیای گونه‌های اکسیژن آزاد شده و از اکسیداسیون مولکول‌های زیستی حیاتی سلول پیشگیری کرده و مانع بروز تنش اکسیداتیو و یا تخفیف اثرهای آن در سلول‌های گیاه می‌شود (Myung-Min *et al.*, 2009). با توجه به افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برگ‌های زرشک همراه با افزایش میزان ترکیب‌های فنلی، به نظر می‌رسد عامل بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی در اندام‌های رویشی گیاه زرشک بی‌دانه مربوط به سنتز و تجمع این ترکیب‌ها می‌باشد. موضوعی که در

کاهش تاب‌آوری را می‌توان به کاهش انباشت مواد غذایی در برگ‌ها و یا تجمع عناصری مانند کلر و سدیم نسبت داد. بنابراین انتظار می‌رفت با افزایش سطح تنش شوری، به دلایلی که در بالا به آن اشاره شد، تعداد برگ کاهش یابد، در حالی که در این آزمایش تا سطح شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر این اتفاق رخ نداد.

تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به شاخص‌های فیزیولوژیک نشان داد که در برخی از شاخص‌ها، تیمار شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به سایر تیمارها از برتری برخوردار و دارای اختلاف معنی‌داری بود. در این مورد می‌توان به شاخص‌هایی مانند کلروفیل و اجزای آن، کاروتنوئید و پرولین اشاره کرد. البته افزایش ۴۶ درصدی کلروفیل کل (۴۲٪ برای کلروفیل a و ۸۷٪ برای کلروفیل b)، افزایش ۷۳ درصدی کاروتنوئید و افزایش ۱۰۰ درصدی پرولین در تیمار ۹ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار ۳ دسی‌زیمنس بر متر قابل توجه است. با افزایش سطح شوری از ۹ به ۱۲ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری در شاخص‌های ذکر شده اتفاق افتاد. با وجود افزایش مقادیر شاخص‌های ذکر شده در تیمار ۹ دسی‌زیمنس بر متر، مقدار قند کل (۴۷/۱۷۲ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) و مقدار آنتوسیانین (۲۸/۱۲۰ میکرومول بر گرم) در تیمار ۳ دسی‌زیمنس بر متر بالاترین مقدار بود. بالاترین مقدار فنل کل (۶۸/۷۳ میلی‌گرم بر گرم) و به تبع آن فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۸۵/۹۹٪) مربوط به تیمار ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که با سایر تیمارها از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود. تغییراتی که در مقادیر شاخص‌های فیزیولوژیک مورد بررسی در سطوح مختلف تیمارهای شوری آب آبیاری مشاهده شد می‌توان به واکنش و حساسیت آن شاخص به تنش شوری اشاره کرد. بنابراین به نظر می‌رسد با توجه به جهش قابل توجه در افزایش میزان کلروفیل و اجزای آن و همچنین کاروتنوئید و پرولین در تنش شوری ۹ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به سطوح پایین‌تر، گیاه می‌تواند از روش‌های مختلف از جمله سنتز و تجمع پرولین، ضمن حفاظت آنزیمی، موجب بهبود شرایط اسمولیتی سلول و حفظ و تنظیم آب سلول برای بقا در شرایط شور گردد. این عمل موجب

- officinale* L. and *Berberis vulgaris* L. root extracts on carbon tetrachloride induced liver toxicity in rats. *Journal of Medicinal Plant*, 9(33): 45-52.
- Gangopadhyay, G., Basu, S., Mukherjee, B. and Gupta, S., 1997. Effects of salt and osmotic shocks on unadapted and adapted callus lines of tobacco. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 49: 45-52.
 - Harris, B.N., Sadras, V.O. and Tester, M., 2010. A water-centred framework to assess the effects of salinity on the growth and yield of wheat and barley. *Plant and Soil*, 336(1): 377-389.
 - Hnilickova, H., Kraus, K., Vachova, P. and Hnilicka, F., 2021. Salinity stress affects photosynthesis, malondialdehyde formation, and proline content in *Portulaca oleracea* L. *Plants*, 10(5): 845.
 - Irigoyen, J.J., Einerich, D.W. and Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia Plantarum*, 84(1): 55-60.
 - Ma, Y., Dias, M.C. and Freitas, H., 2020. Drought and salinity stress responses and microbe-induced tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13(11): 1750-1758.
 - Martens, S.N., Ustin, S.L. and Rousseau, R.A., 1993. Estimation of tree canopy leaf area index by gap fraction analysis. *Forest Ecology and Management*, 61(1-2): 91-108.
 - Mehdizadeh, A.A. and Nazerii, M., 2016. Introduction to Barberry Planting, Holding and Harvesting. *Extension Magazine, Kerman Extension Media Unit Publications*, 9p.
 - Myung-Min, H., Trick, H.N. and Rajasheka, E.B., 2009. Secondary metabolism and antioxidant are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. *Journal of Plant Physiology*, 166: 180-191.
 - Negrao, S., Schmockel, S.M. and Tester, M., 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*, 119(1): 1-11.
 - Pandey, P., Ramegowda, V. and Senthil-Kumar, M., 2015. Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: physiological and molecular mechanisms. *Frontiers in Plant Science*, 6: 723.
 - Petrusa, L.M. and Winicov, I., 1997. Proline status in salt tolerant and salt sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl. *Plant Physiology and Biochemistry*, 35: 303-310.
 - Polash, M.A., Sakil, M.A. and Hossain, M.A., 2019. Plants responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: A review. *Tropical Plant Research*, 6: 250-274.
 - Rahimi-Madiseh, M., Lorigoini, Z., Zamani-Gharaghoshi, H. and Rafieian-Kopaei, M., 2017. *Berberis vulgaris*: specifications and traditional
- مورد بسیاری از گیاهان گزارش و بر اهمیت ترکیب‌های فنلی در ایجاد سازوکارهای تطبیقی به‌ویژه در شرایط شور تأکید شده است (Waskiewicz *et al.*, 2013). با این شرایط می‌توان زرشک بی‌دانه را به‌عنوان یکی از گونه‌های مقاوم به شوری معرفی و در شرایط اقلیمی مناسب، از منابع آب و خاک شور برای پرورش آن استفاده کرد، موضوعی که توسط Atarodi (۲۰۲۰) مورد تأکید قرار گرفته است. این موضوع، به‌ویژه در شرایطی که از اندام‌های هوایی و ریشه به عنوان اجزای دارویی (تولید ترکیب‌های فنلی) استفاده می‌شود، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

References

- Alemardan, A., Asadi, W., Rezaei, M., Tabrizi, L. and Mohammadi, S., 2013. Cultivation of Iranian seedless barberry (*Berberis integerrima* 'Bidaneh'): A medicinal shrub. *Industrial Crops Production*, 50: 276-287.
- Aras, S., Eşitken, A. and Karakurt, Y., 2019. Morphological and physiological responses and some WRKY genes expression in cherry rootstocks under salt stress. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(4): 1-10.
- Ardestani, S.B., Sahari, M.A., Barzegar, M. and Abbasi, S., 2013. Some physicochemical properties of Iranian native barberry fruits (abi and poloei): *Berberis integerrima* and *Berberis vulgaris*. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 1(3): 60-67.
- Arnon, A.N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23(1): 112-121.
- Atarodi, B., 2020. Nutrition Guide for Berberis Trees. *Soil and Water Research Institute*, 27p.
- Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Journal of Plant and Soil*, 39: 205-207.
- Bhardwaj, D. and Kaushik, N., 2012. Phytochemical and pharmacological studies in genus *Berberis*. *Phytochemistry Reviews*, 11(4): 523-542.
- Claeys, H., Van Landeghem, S., Dubois, M., Maleux, K. and Inzé, D., 2014. What is stress? Dose-response effects in commonly used in vitro stress assays. *Plant physiology*, 165(2): 519-527.
- Cutini, A., Matteucci, G. and Mugnozza, G.S., 1998. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management*, 105(1): 55-65.
- Fallah Huseini, H., Zareei Mahmoudabady, A., Mehrzama, M., Alavian, S.M., Kianbakht, S. and Mehdizadeh, M., 2010. The effects of *Taraxacum*

- of coronatine on physiological and biochemical characteristics of two berberis cultivars (*Berberis crataegina* DC. & *Berberis integerrima* Bge.) under saline condition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 32(6): 1048-1059.
- Toyooka, K., Goto, Y., Asatsuma, S., Koizumi, M., Mitsui, T. and Matsuoka, K., 2009. A mobile secretory vesicle cluster involved in mass transport from the golgi to the plant cell exterior. Plant Cell, 21: 1212-1229.
 - Wagner, G.J., 1979. Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids, and anthocyanin in protoplasts. Plant physiology, 64(1): 88-93.
 - Waskiewicz, A., Muzolf-Panek, M. and Golinski, P., 2013. Phenolic content changes in plants under salt stress: 283-314. In: Ahmad, P., Azooz, M.M. and Prasad, M.N.V., (Eds.). Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress. Springer, New York, NY, 510p.
 - Yang, Y. and Guo, Y., 2018. Elucidating the molecular mechanisms mediating plant salt-stress responses. New Phytology, 217: 523-539.
 - uses. Iranian Journal of Basic Medical Sciences, 20(5): 569-577.
 - Rasoli, S.A., Rajaii, M., Nam Jahromi, B. and Zakerin, A.R., 2012. Investigation of deference level of water irrigation salinity on production and use of three species of ornamental barberry. 7th Iranian Congress of Horticultural Sciences, Isfahan University of Technology, 5-8 September.
 - Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K. and Nakamura, T., 1992. Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40(6): 945-948.
 - Singh, V.K., Singh, A.K., Singh, P.P. and Kumar, A., 2018. Interaction of plant growth promoting bacteria with tomato under abiotic stress: a review. Agricultural and Ecosystem Environment, 267: 129-140.
 - Singleton, V.L. and Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdc-phosphotungstic acid reagents. American journal of Enology and Viticulture, 16(3): 144-158.
 - Taghizadeh, S.F., Aroiee, H. and Asil, J., 2017. Effects

Morphophysiological reactions of *Berberis vulgaris* L. to irrigation with saline water

M.H. Rad^{1*}, R. Yazdani Biouki², V. Soltany gerdeframarzi² and N. Besharat²

1*- Corresponding author, Research Division of Natural Resources, Yazd Agricultural and Natural Resource Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

E-mail: mohammadhadirad@gmail.com

2- Iranian National Salinity Research Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Received: February 2022

Revised: February 2022

Accepted: March 2022

Abstract

To investigate the effects of irrigation water salinity (3, 6, 9, 12, and 15 dS.m⁻¹) on morphophysiological characteristics of seedless barberry (*Berberis vulgaris* L.) aerial parts, an experiment was conducted using drained big pots in a completely randomized design with three replications at the central station of National Salinity Research Center, Yazd during 2018-2021 years. The salinity levels affected the height, diameter, area, and volume of plants canopy, number of new branches, number of new basal shoots, number of leaves per plant, total leaves area, leaf area index, leaf dry weight, leaves damage percentage at high temperature, amount of total chlorophyll, chlorophylls *a* and *b*, carotenoids, proline, total sugar, leaf anthocyanins, leaf phenols, and antioxidant activity significantly ($P < 0.01$). Based on the results, *B. vulgaris* tolerated the salinity stress well. Despite the growth reduction at salinity levels above 9 dS.m⁻¹, plant physiological resistance was observed through the production of secondary osmolytes and survival under saline conditions up to 12 dS.m⁻¹. Accordingly, in suitable barberry production habitats, it is possible to take advantage of water resources and saline soil to grow seedless barberry, especially to increase phenolics, by ture management of the root environment and control of the saturated soil extract salinity up to 12 dS.m⁻¹.

Keywords: Leaf area index, salinity, chlorophyll, proline, phenol, antioxidant activity.