

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی جوانه‌زنی گیاهان شورزی در شرایط شوره‌زار دشت قزوین

مهدی کلانکی<sup>۱\*</sup>، هادی رضائی اعتدالی<sup>۲</sup>، علی کلانکی<sup>۳</sup>، پیتر فن اوول<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۶

چکیده

گسترش اراضی شور در مناطق مختلف، از جمله دشت اله‌آباد استان قزوین، عمدتاً به دلایل انسان‌محور، موجب کاهش حاصلخیزی خاک و بروز آسیب‌های زیست‌محیطی شده است. این پژوهش با هدف امکان‌سنجی شورزی‌زدایی زیستی با استفاده از گونه‌های گیاهی مقاوم به شوری انجام گرفت. آزمایش جوانه‌زنی به صورت فاکتوریل دو عامله روی ۱۶ رقم از گونه‌های اسپرس، قره‌داغ، آتربیلکس، جو دوسر، آستراگالوس، سالیکورنیا (توده‌های بوشهر، گلستان، ارومیه و بیگیلوی)، کینوا (ارقام صدوق، تیتیکاکا و رحمت)، سالسولا، سوئدا و پانیکوم در سه سطح شوری ۲، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر (از رقیق‌سازی آب زهکش منطقه) با انتخاب ۲۵ بذر از هر توده طی ۱۴ روز با سه تکرار در پتری‌دیش‌های استریل با اندازه‌گیری درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه انجام شد. نتایج نشان داد که کینوا، به‌ویژه رقم صدوق، با ۱۰۰٪ جوانه‌زنی در تمامی سطوح شوری و میانگین سرعت جوانه‌زنی ۵۴/۹ بذر در روز، برتری معنی‌دار نسبت به سایر ارقام داشت. بیشترین طول ساقه‌چه (۱/۹ سانتی‌متر) در توده ارومیه و بیشترین طول ریشه‌چه (۱/۴ سانتی‌متر) در توده بیگیلوی از گیاه سالیکورنیا مشاهده شد. با این حال، نتایج کشت گلخانه‌ای در خاک سیلتی رسی منطقه با شوری ۹۱ دسی‌زیمنس بر متر، نشان داد که رشد گیاهان کینوا و سالیکورنیا در خاک دشت اله‌آباد، چه در کشت نشائی و چه جوانه‌زنی مستقیم، مطلوب نبود. بنابراین، به دلیل شوری بالای خاک، شورزی‌زدایی صرفاً با استفاده از این گیاهان مؤثر نخواهد بود. پیشنهاد می‌شود از رویکردهای تلفیقی نظیر بهره‌گیری از اصلاح‌کننده‌های خاک همراه با ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پیش از اجرای میدانی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آزمایش جوانه‌زنی، گیاهان هالوفیت، شوری، آب‌های نامتعارف، شورزی‌زدایی زیستی

مقدمه

محیطی محدودکننده تولید در گیاهان زراعی است. در بیشتر موارد، اثرات منفی شوری در گیاهان مختلف، به افزایش یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{Cl}^-$  نسبت داده شده است، بنابراین این یون‌ها به واسطه متوقف کردن مکانیسم‌های مختلف گیاه، شرایط را برای حیات آن دشوار می‌سازند (Balasubramaniam et al., 2023). شوری در سطوح بالا ممکن است باعث آسیب به غشاء، عدم تعادل در عناصر غذایی، تغییر در سطوح تنظیم‌کننده‌های رشد، مهار آنزیمی و اختلالات متابولیسی شود، که در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Hasanuzzaman et al., 2021).

شوری یک مشکل در مقیاس جهانی است که حجم وسیعی از خاک‌های کشاورزی در سراسر جهان و حدود ۲۰ تا ۳۳ درصد از زمین‌های آبی جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hayat et al., 2020)، زیرا افزایش نمک خاک می‌تواند پتانسیل اسمزی را به نقطه‌ای که گیاه دیگر قادر به جذب آب کافی نیست، کاهش دهد (Balasubramaniam et al., 2023). یکی از پیامدهای اصلی تنش  $\text{NaCl}$  از دست دادن آب داخل سلولی است. گیاهان برای

امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر محسوب می‌گردد. همچنین ارتباط تنگاتنگ امنیت غذایی با مساله بحران آب، اهمیت این مایع حیاتی را بیش از پیش روشن می‌سازد. کاهش کیفیت آب‌ها و شور شدن خاک‌های زراعی به دلیل عدم وجود زهکشی مناسب به ویژه در مناطق خشک یکی دیگر از عوامل مخاطره‌آمیز در این مناطق است. شوری خاک یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زنده است که تولید محصول در سطح جهان را با محدودیت مواجه می‌سازد. تنش شوری، یکی از خطرناک‌ترین عوامل

- ۱- عضو اصلی گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
  - ۲- پژوهشگر بخش تحقیق و توسعه، شرکت کاریزآب رایان پگاه، قزوین ایران
  - ۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین
  - ۴- رئیس هیئت مدیره شرکت کاریزآب رایان پگاه، قزوین ایران
  - ۵- دانشیار گروه مدیریت منابع آب، دانشگاه واخنینگن، هلند
- (\* نویسنده مسئول: kalanaki\_mahdi@yahoo.com)

میان این گونه از گیاهان است (Moreira et al., 2023).

جمع‌بندی پژوهش‌های داخلی و خارجی پیشین نشان می‌دهد، جوانه‌زنی گیاهان هالوفیت تابع عوامل مختلفی از جمله تاثیر آستانه‌های شوری می‌باشد. همچنین ارزیابی رشد گونه‌های هالوفیت از آن حکایت داشت که برخی از این گیاهان همچون اتریپلکس توانایی مطلوبی برای نمک‌زدایی زیستی در شرایط آزمایشگاهی داشته‌اند. لکن از آنجایی که شرایط زیست‌بوم هر محیطی خصوصیات منحصر به فردی دارد، مطالعه در هر منطقه قبل از انجام پروژه‌های میدانی، اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. دشت اله آباد قزوین یکی از چنین مناطقی است که به دلیل افزایش شوری خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی قبلی طی سال‌های گذشته، یکی از کانون‌های انتشار ریزگرد شده است (یوسف‌گمرکچی و همکاران، ۱۳۹۹). علاوه بر این، به علت گسترش ناحیه شوری به اراضی بالادست، موجب کاهش کیفیت و کمیت محصول نیز شده است (ستوده‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). لذا این پژوهش با رویکرد حل مساله واقعی در سه گام آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای طراحی شد. اهداف این پژوهش عبارتند از: الف) انجام آزمایش جوانه‌زنی بر روی گیاهان مستعد با توجه به کیفیت آب منطقه در شرایط آزمایشگاهی ب) کشت گلخانه‌ای بر روی گیاهان منتخب از گام اول پژوهش تحت شرایط آب و خاک منطقه ج) کشت عرصه‌ای در صورت موفق بودن گام دوم.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت قزوین یکی از زیرحوضه‌های آبریز دریاچه نمک است که به وسیله‌ی اهررود، خررود، حاجی عرب و برخی رودخانه‌های فصلی و غیر دائمی دیگر تغذیه می‌گردد. متأسفانه در سال‌های گذشته به دلیل افزایش برداشتها و کاهش آورد رودخانه‌ها، تغذیه این دشت کاهش یافته و به شدت دچار افت سطح آب زیرزمینی گردیده است (بی‌نام، ۱۳۹۳). توزیع رسوبات در دشت قزوین از بالادست به سمت پایین دست با کاهش اندازه ذرات نیز همراه است. این موضوع سبب می‌شود، هدایت هیدرولیکی خاک در انتهای دشت کاهش یابد. بالا آمدگی سنگ کف و انباشته شدن رسوبات و تخلیه آب‌های زیرزمینی از دشت قزوین و دشت هشتگرد، موجب شکل‌گیری باتلاق و تالاب صالحیه شده است. به مرور زمان و با تبخیر شدید، این تالاب به شورزار تبدیل شده است (شکل ۱).

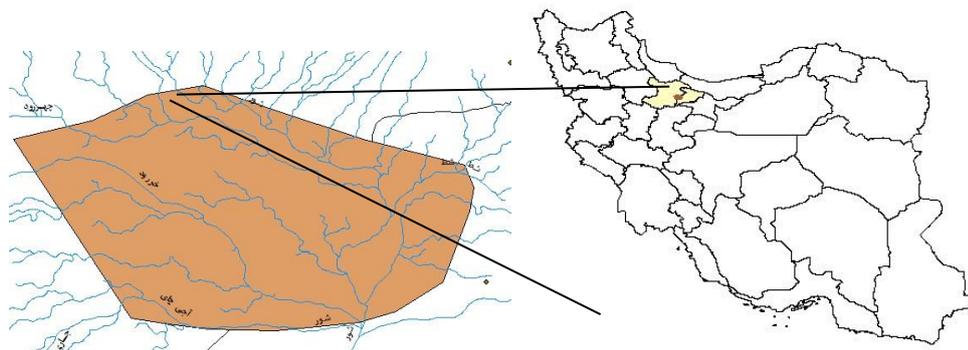
راضی شورزار مرکزی دشت قزوین بیشتر از نوع خاکهای بافت سنگین با شوری زیاد بوده و دارای پوشش پراکنده و ضعیفی از گیاهان است (Akram and sotoodehnia, 2011). این شورزار با محدوده جغرافیایی طول شرقی ۳۸۰ تا ۴۲۰ کیلومتر و عرض شمالی ۳۹۲۰ تا ۳۹۸۰ کیلومتر (برحسب UTM) به مساحت ۶۴۴۰۰ هکتار و

مقابله با کم‌آبی ناشی از شوری، مواد خاصی را در سلول‌های خود ذخیره می‌کنند که به آن‌ها ترکیبات سازگار گفته می‌شود و به حفظ آب درون سلول کمک می‌کنند. این فرآیند سلول‌ها همچنین به منظور متعادل کردن پتانسیل اسمزی  $Na^+$  و  $Cl^-$  در واکوئل ضروری است (Ben Gaied et al., 2024). توانایی طبیعی، مقاومت و تحمل به تنش‌های آب و شوری ناحیه ریشه به نوع گیاه و وارثه آن وابسته است. هالوفیت‌ها با انعطاف‌پذیری گیاهشناسی، به دلیل اینکه در محیط مادری قادر به تولید محصول متناسب با زیستگاه‌های خاص هستند، توانایی بیشتری برای زنده ماندن در شرایط محیطی سخت دارند (Balasubramaniam et al., 2023). یکی از کارکردهای این گیاهان جذب نمک خاک، کاهش شوری و پالایش آن در صورت همراه نمودن با مدیریت مناسب است (Li et al. 2023) که از طریق فرآیندهایی همچون تجمع نمک، تقویت میکروبی خاک و بهبود ساختار آن می‌توانند موجب کاهش شوری شوند (Ahmadi et al., 2023; Wang et al., 2023). بررسی عملکرد گیاه صنوبر (Li et al., 2024)، اسپرس (Razanov et al., 2024)، اتریپلکس (Li et al., 2021) در کاهش فلزات سنگین خاک، کاهش سمیت عنصر نیکل در گیاه کینوا (Naheed et al. 2022)، کاهش شوری خاک در گیاه سالیکورنیا (Kalanaki et al., 2020; Ahmadi et al., 2022)، پانیکوم (Hasan et al., 2024)، جو دوسر (Sulaiman et al., 2023)، سالسولا (Ahmadi et al., 2022) و سیاه‌شور (Xu et al. 2024) از جمله تحقیقات صورت گرفته در سالیان اخیر بوده است. بررسی ۵۳ مقاله علمی در این زمینه حاکی از آن است که به طور میانگین، کاهش ۳۷/۷ درصدی شوری خاک در اراضی تحت کشت هالوفیت‌ها نسبت به شرایط شاهد مشاهده گردیده است. اقلیم، برداشت سالانه اندام هوایی گیاه، شیمی و بافت خاک از عوامل تاثیرگذار بر راندمان نمک‌زدایی می‌باشد (Wang et al., 2023).

گیاهان مقاوم به شوری از لحاظ دامنه تحمل، روند رشد و تولید در شرایط شور، دارای تنوع زیادی هستند که همین موضوع، آنها را نیازمند بررسی و تحقیق فراوان نموده است. جوانه‌زنی گیاهان تحت شرایط شوری، به‌ویژه در جو دوسر، استفاده از شوک‌های الکتریکی کوتاه و باکتری‌های مفید خاک، به جوانه‌زدن بهتر گیاهان در خاک شور کمک می‌کند (Al-Khafaji et al., 2024; Verma et al., 2024). کینوا نیز در صورت تلقیح با باکتری‌های ریزوسفر، مقاومت بیشتری در برابر خشکی و شوری نشان می‌دهد (Gonzales et al., 2024) در این میان، سالیکورنیا و سالسولا توانایی جوانه‌زنی بالایی در شرایط نامساعد محیطی نشان می‌دهند (Pompelli et al., 2024). توانایی جوانه‌زنی در برخی از گونه‌های سالیکورنیا تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl گزارش شده است (Calone et al. 2021). گیاهان هالوفیت آبی تنش شوری بیش از ۱۰ گرم در لیتر را تجربه می‌کنند که نشان دهنده آستانه‌های متغیر در

۰/۳ درصد متغیر است (ستوده‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳).

با ارتفاع متوسط ۱۱۰۵ تا ۱۱۳۵ متر از سطح دریا بوده است. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است و شیب اراضی آن از ۰/۱ تا



شکل ۱- موقعیت تقریبی شوره‌زار دشت قزوین

عامله بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت.

پتری دیش‌ها در دمای معمولی محیط و به دور از نور در مکان تاریک قرار گرفتند. شمارش بذره‌های جوانه‌زده به مدت ۱۴ روز از ابتدای آزمایش در ساعات مشخصی از روز انجام شد. معیار شمارش بذرها نیز خروج ریشه ۲ میلی‌متری بود. از شاخص‌های جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقچه اندازه‌گیری شد. برای این منظور بذرها بعد از جوانه‌زنی به طور روزانه شمارش شدند. طول ریشه‌چه و ساقچه نیز در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد (Ellis and Roberts, 1981).

برای محاسبه درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی از رابطه‌های (۱) و (۲) استفاده شد.

$$P_G = \frac{n}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$V_G = \sum_{i=1}^x \frac{n_i}{D_i} \quad (2)$$

در روابط فوق،  $P_G$ ،  $V_G$ ،  $n$ ،  $N$ ،  $n_i$  و  $D_i$  به ترتیب بیانگر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، تعداد بذره‌های جوانه‌زده در طی آزمایش، تعداد کل بذره‌های موجود در هر پتری‌دیش، تعداد بذره‌های جوانه‌زده در روز  $i$  ام، شماره روز  $i$  ام و تعداد روزهای مورد آزمایش است (Ghoulam and Fares, 2001). بعد از مرتب‌سازی اطلاعات، با استفاده از نرم افزار SAS به آنالیز داده‌ها با استفاده از کدهای دستور طرح فاکتوریل دو عامله بر پایه طرح کاملاً تصادفی پرداخته شد.

### فعالیت‌های گلخانه‌ای

بذره‌هایی که از آزمایش جوانه‌زنی بهترین نتایج را داشتند، به منظور انجام آزمایش گلخانه‌ای در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه

شوری این محدوده در برخی از نقاط به بیش از ۱۵۱ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد (رضایی و همکاران، ۱۴۰۲). توسعه‌ی شوری از شوره‌زار به سمت بالادست مشکلاتی به وجود آورده و امکان کشاورزی را در برخی از مناطق بالادست از بین برده است. علاوه بر اینها، طی سال‌های اخیر، به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، روند تخریب و پیشروی آب شور رو به افزایش نهاده است. به طور نمونه، هسته مرکزی اراضی شوره‌زار قبلاً ۱۰ هزار هکتار بوده که این عدد به ۲۰ هزار هکتار افزایش یافته است (بی‌نام، ۱۳۸۹).

### فعالیت‌های آزمایشگاهی

به منظور بررسی کیفیت آب زهکش موجود در منطقه بر سرعت و میزان جوانه‌زنی برخی از گونه‌های شورزی، آزمایشی در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی<sup>(د)</sup> برنامه‌ریزی گردید. بدین منظور بذره‌های ۱۵ گونه و توده مختلف مقاوم به شوری و خشکی از منابع طبیعی استان قزوین و مرکز ملی تحقیقات شوری یزد تهیه گردیدند. این بذرها شامل اسپرس، قره‌داغ، آترپلکس، جو دوسر، آستراگالوس، سالیکورنیا (توده‌های بوشهر، گلستان، ارومیه و بیگیلوی)، کینوا (ارقام صدوق، تیتیکاکا و رحمت)، سالسولا، سوندا و پانیکوم بودند.

به منظور انجام آزمایش، تعداد ۲۵ عدد بذر از هر مورد انتخاب شده و با محلول هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد به مدت یک دقیقه ضدعفونی و سپس برای انجام آزمایش به پتری‌دیش‌های استریل منتقل گردیدند. لازم به ذکر است کف پتری‌دیش‌ها با کاغذ صافی پوشانیده شده بود و بذرها بر روی آن قرار گرفتند (Sulaiman et al., 2023). برای هر رقم و توده، تعداد سه تکرار در نظر گرفته شد و سه سطح شوری مختلف شامل ۲، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر که از رقیق‌سازی آب زهکش موجود در منطقه بدست آمده بود اعمال گردیدند. این آزمایش در قالب طرح فاکتوریل دو

## نتایج

## آزمایش جوانه‌زنی

پارامتر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، اندازه ساقچه و اندازه ریشه‌چه به عنوان فاکتورهای مورد بررسی به مدل معرفی گردیدند. جدول (۲) نتایج تجزیه واریانس این پارامترها را ارائه می‌دهد. نتایج این جدول بیان می‌دارد، اثرات منفرد و متقابل گونه‌ی گیاهی و کیفیت آب بر شاخص‌های جوانه‌زنی مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است.

بین‌المللی امام خمینی (ره) انتخاب گردیدند. بدین منظور تعداد ۵۴ گلدان با قطر دهانه ۱۵ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر با خاک منطقه (شبه‌سازای شرایط محیطی) آماده‌سازی شدند. بافت خاک مورد آزمایش سنگین و از نوع سیلتی رسی با شوری و قلیائیت بالا بود (جدول ۱). کاشت گلدان‌ها با سه تکرار در تاریخ ۱۵ آذر ۱۴۰۱ صورت گرفت. گلدان‌ها در ۶ نوبت در روزهای صفر، ۳، ۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۷ بعد از کاشت با شوری آب آبیاری ۲ (به عنوان شاهد)، ۲۰ و ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر گلدان‌ها آبیاری شدند.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد آزمایش

ECe (dS/m)	pH	SAR (meq/lit) <sup>0.5</sup>	OC (%)	Na <sup>+</sup> (meq/lit)	Mg <sup>2+</sup> (meq/lit)
91	8.1	102	0.4	988	160

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در آزمایش جوانه‌زنی

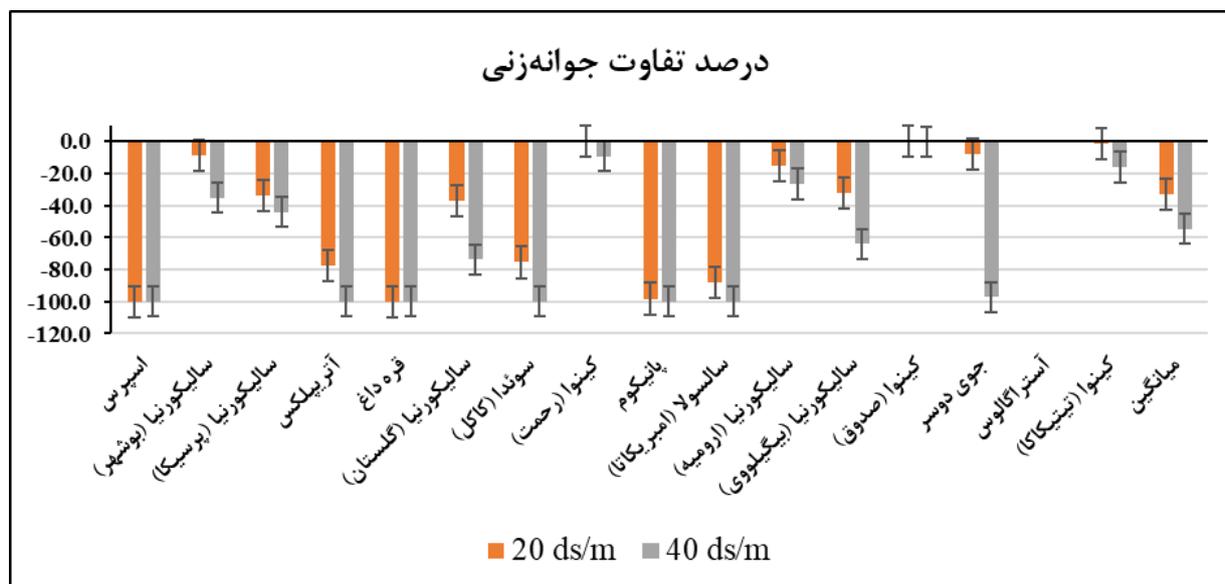
میانگین مربعات MS					
منابع تغییر	درجه آزادی df	اندازه ریشه‌چه	اندازه ساقچه	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی
گونه‌های گیاهی	۱۵	۱۲/۷**	۲۱/۵**	۲۶.۹/۳**	۱۰.۳۹۲/۳۹**
کیفیت آب	۲	۵۷/۹**	۱۲۳/۹**	۲۵۴۸/۲**	۱۳۶۶۹**
گونه‌های گیاهی × کیفیت آب	۳۰	۹**	۱۵/۹**	۱۷۴/۶**	۱۰.۳۳/۸**
خطا	-	۳۳	۳۵/۷	۲/۱	۴/۴۴
ضریب تغییرات (CV)	-	۴۵	۲۹/۲	۹/۶	۱۵/۲

زیمنس بر متر) نیز درصد جوانه‌زنی ناچیز مشاهده شد. علت این رویداد، می‌تواند به کاهش پیدا نمودن قوه نامیه بذور مورد استفاده و یا دیگر عوامل محیطی موثر در جوانه‌زنی مربوط دانست. کاهش درصد جوانه‌زنی تحت شرایط شوری عمدتاً به دلیل تنش اسمزی، سمیت یونی و عدم تعادل هورمونی است. غلظت‌های بالای نمک، پتانسیل آب را کاهش می‌دهند و جذب آب را برای بذرها دشوار می‌کنند، که این امر جوانه‌زنی را به تأخیر انداخته یا مهار می‌کند (Hasanuzzaman et al., 2021). علاوه بر این، تنش یونی ناشی از تجمع Na<sup>+</sup> و Cl<sup>-</sup> فرآیندهای متابولیکی را مختل می‌کند و منجر به آسیب اکسیداتیو و کاهش فعالیت آنزیم‌های لازم برای جوانه‌زنی می‌شود (Balasubramaniam et al., 2023). کینوا مکانیسم‌های تحمل به شوری برتری را تکامل داده است، از جمله ذخیره واکوئلی Na<sup>+</sup> و هموستاز K<sup>+</sup>، که به آن اجازه می‌دهد تحت شرایط شوری به‌طور مؤثرتری نسبت به سالیکورنیا جوانه بزند (Naheed et al., 2022; Gonzales et al., 2024). در مقابل، برخی از گونه‌های سالیکورنیا به شرایط شوری خاص‌تری نیاز دارند تا جوانه‌زنی بهینه رخ دهد، که در برخی موارد منجر به درصد جوانه‌زنی پایین‌تر می‌شود (Li et al., 2023).

بررسی درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف کیفیت آب نشان می‌دهد با افزایش شوری آب از ۲ (تیمار شاهد) به ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر، درصد جوانه‌زنی به طور معنی‌داری کاهش یافته است (جدول ۳). درصد کاهش در جوانه‌زنی گیاهان مختلف تحت تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به طور میانگین ۳۲/۸ درصد بوده که این متغیر برای تیمار ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به کاهش ۵۴/۴ درصدی منجر شد (شکل ۲). ارقام مختلف گیاه کینوا تحت آزمایش شامل صدوق، رحمت و تیتیکا با میانگین‌های به ترتیب ۱۰۰، ۹۶/۹ و ۹۴/۲ درصد جوانه‌زنی، بیشترین مقادیر را به خود اختصاص دادند و میانگین کلی آنها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد در مورد این پارامتر نداشتند. هرچند که با افزایش سطح شوری به ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش درصد جوانه‌زنی در توده تیتیکا بیش از توده رحمت یا صدوق بود. در مرتبه بعدی، میانگین درصد جوانه‌زنی سالیکورنیا توده بوشهر، جو دوسر و سالیکورنیا توده ارومیه به ترتیب با میانگین‌های ۶۴/۹، ۶۴/۸ و ۶۰/۹ درصد قرار گرفتند (شکل ۲). از طرف دیگر گیاهان آستراگالوس و قره‌داغ پایین‌ترین میانگین‌های جوانه‌زنی را نشان دادند. اگرچه با قطعیت نمی‌توان این مطلب را بیان داشت، زیرا در تیمار شاهد (۲ دسی‌

جدول ۳- درصد جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف ارقام گیاهی و کیفیت آب

گونه‌ها و ارقام گیاهی	تیمارهای کیفیت آب (ds/m)		
	۴۰	۲۰	۲
اسپرس	۱۶/۴ <sup>g</sup>	۰	۴۹/۳
سالیکورنیا (بوشهر)	۶۴/۹ <sup>b</sup>	۴۹/۳	۷۶
سالیکورنیا (پرسیکا)	۴۹/۳ <sup>c</sup>	۳۷/۳	۴۴
آتریپلکس	۳۸/۷ <sup>d</sup>	۰	۲۱/۳
قره داغ	۰/۴ <sup>h</sup>	۰	۱/۳
سالیکورنیا (گلستان)	۳۲ <sup>e</sup>	۱۳/۳	۳۲
سوئدا (کاکل)	۲/۲ <sup>h</sup>	۰	۱/۳
کینوا (رحمت)	۶۹/۹ <sup>a</sup>	۹۰/۷	۱۰۰
پانیکوم	۲۴ <sup>f</sup>	۰	۱/۳
سالسولا (امبریکاتا)	۱۶/۹ <sup>g</sup>	۰	۵/۳
سالیکورنیا (ارومیه)	۶۰/۹ <sup>b</sup>	۵۲	۶۰
سالیکورنیا (بیگیلوی)	۳۷/۸ <sup>de</sup>	۲۰	۳۷/۹
کینوا (صدوق)	۱۰۰ <sup>a</sup>	۱۰۰	۱۰۰
جو دوسر	۶۴/۸ <sup>b</sup>	۲/۷	۹۱/۸
آستراگالوس	۰ <sup>h</sup>	۰	۰
کینوا (تیتیکاکا)	۹۴/۲ <sup>a</sup>	۸۴	۹۸/۷
میانگین	۲۸/۱ <sup>c</sup>	۴۱/۴ <sup>b</sup>	۶۱/۶ <sup>a</sup>



شکل ۲- درصد تفاوت در جوانه‌زنی تحت تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد

به تیمار شاهد در پارامتر سرعت جوانه‌زنی رخ داد (شکل ۳). نتایج تجزیه آماری پارامتر سرعت جوانه‌زنی نشان می‌دهد، پارامتر سرعت جوانه‌زنی در گیاه کینوا (صدوق) با ۶۴/۱ (تعداد بذر جوانه زده بر روز) بیشترین مقدار را داشته است (جدول ۳). اگرچه ارقام کینوای رحمت و تیتیکاکا به ترتیب با ۴۳ و ۴۱/۷ (تعداد بذر جوانه زده بر روز) اختلاف

پارامتر سرعت جوانه‌زنی نیز با افزایش شوری آب از تیمار شاهد به تیمار ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (جدول ۴). تیمار ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد به طور میانگین با کاهش ۳۰/۲ درصدی در سرعت جوانه‌زنی مواجه شد. تحت تیمار ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر نیز کاهش ۶۸/۷ درصدی نسبت

و آغاز جوانه‌زنی به طبقه‌بندی دمایی یا سطوح رطوبتی خاص نیاز داشته باشند (Hayat et al., 2020).

جدول (۵) ارتفاع ساقه‌چه تحت تیمارهای مختلف کیفی و گونه‌های گیاهی را نشان می‌دهد. کاهش کیفیت آب موجب کاهش اندازه ساقه‌چه در تمامی گونه‌ها می‌گردد.

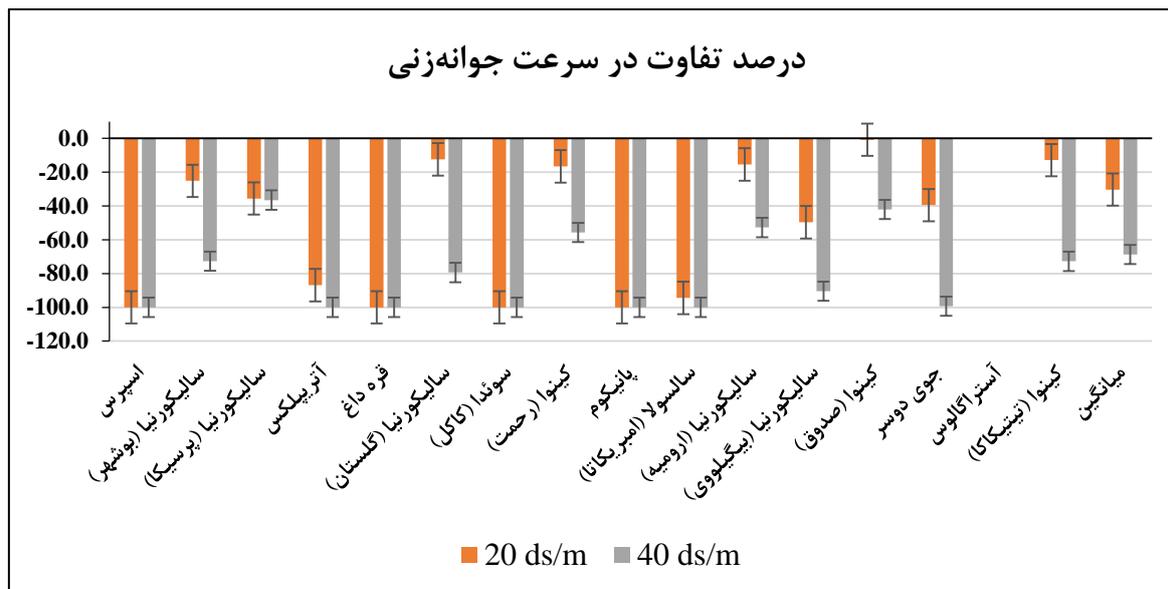
میانگین کلی ارتفاع ساقه‌چه در تیمار شاهد  $3/8$  سانتی‌متر بود که با اختلاف معنی‌دار در تیمار  $20$  و  $40$  دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب  $1/8$  و  $0/6$  سانتی‌متر شد. تحت تیمار شاهد، گیاه جو دوسر با  $15/7$  سانتی‌متر بیشترین طول ساقه‌چه را دارا بود و این درحالی است که با افزایش شوری به  $20$  و  $40$  دسی‌زیمنس بر متر، گیاهان کینوا صدوق و سالیکورنیا ارومیه به ترتیب با  $4/8$  و  $1/9$  سانتی‌متر بیشترین رشد ساقه‌چه را داشتند.

با درنظر گرفتن اثرات متقابل ارقام و سطوح شوری در میانگین‌های رشد ساقه‌چه، می‌توان دریافت؛ گیاه جو دوسر با  $6/2$  سانتی‌متر بیشترین مقدار طول ساقه‌چه را به خود اختصاص داد. بیشتر بودن میانگین طول ساقه‌چه این گیاه نسبت به ارقام دیگر به علت بیشتر بودن رشد آن تحت تیمار شاهد (کیفیت  $2$  دسی‌زیمنس بر متر) بود. همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود، در دیگر سطوح شوری، این گیاه با افت شدید ساقه‌چه و عدم رشد آن مواجه بوده است. گیاه کینوا صدوق با  $3/9$  سانتی‌متر و کینوا رحمت با  $3/3$  سانتی‌متر در مراتب بعدی به لحاظ طول ساقه‌چه قرار گرفتند.

معینداری با یکدیگر نداشتند، ولی با توده صدوق این اختلاف معنی‌دار بود. کمترین سرعت جوانه‌زنی نیز در گیاهان آستراگالوس، قره‌داغ و سوئدا (کاکل) مشاهده شد. مشابه پارامتر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی نیز متأثر از سطوح شوری بود، بدین معنی که با افزایش این سطوح، میزان سرعت جوانه‌زنی غالباً کاهش می‌یافت. سرعت جوانه‌زنی در تیمار کیفی  $40$  دسی‌زیمنس بر متر برای گیاهان سالیکورنیا پرسیکا ( $36/5\%$ )، کینوا صدوق ( $42/1\%$ )، سالیکورنیا ارومیه ( $52/7\%$ ) و کینوا رحمت ( $55/7\%$ ) کمترین اختلاف را با تیمار شاهد نشان می‌دهند (شکل ۳). با مقایسه مستقل تیمارهای کیفی آب می‌توان دریافت، تیمار شاهد ( $2$  دسی‌زیمنس بر متر) با  $22/1$  (تعداد بذر جوانه زده بر روز) به‌طور معنی‌داری بیشترین سرعت جوانه‌زنی را نسبت به دیگر تیمارهای کیفی داشتند (جدول ۳). تیمار دوم کیفی آب با  $15/4$  و تیمار سوم با  $7/5$  (تعداد بذر جوانه زده بر روز) به ترتیب در سطوح معنی‌داری بعدی قرار گرفتند. در مجموع کینوا صدوق با  $54/9$  (تعداد بذر جوانه زده بر روز) به‌طور معنی‌داری میانگین بالاتری را نسبت به بقیه ارقام و شرایط کیفی مختلف به خود اختصاص داد. آستراگالوس و قره‌داغ به شرایط اکولوژیکی خاصی سازگار شده‌اند که ممکن است جوانه‌زنی تحت شوری بالا را تسهیل نکند. بذرهایی آستراگالوس اغلب به دلیل پوسته سخت، خواب فیزیکی دارند و برای جوانه‌زنی بهینه نیاز به خراش‌دهی یا نوسانات دمایی خاص دارند (Pompelli et al., 2024). از سوی دیگر، گونه‌های قره‌داغ به محیط‌های خشک سازگار شده‌اند و ممکن است برای شکستن خواب

جدول ۴- سرعت جوانه‌زنی تحت تیمارهای مختلف ارقام گیاهی و کیفیت آب

میانگین	تیمارهای کیفیت آب (ds/m)			گونه‌ها و ارقام گیاهی
	۴۰	۲۰	۲	
h ۴/۲	۰	۰	۱۲/۵	اسپرس
e ۱۵	۶/۱	۱۶/۷	۲۲/۳	سالیکورنیا (بوشهر)
e ۱۶	۱۳/۴	۱۳/۶	۲۱/۱	سالیکورنیا (پرسیکا)
f ۸/۹	۰	۳/۱	۲۳/۵	آتربیلکس
I ۰	۰	۰	۰/۱	قره‌داغ
g ۶/۷	۲	۸/۵	۹/۷	سالیکورنیا (گلستان)
I ۰/۴	۰	۰	۱/۱	سوئدا (کاکل)
b ۴۳	۲۵/۱	۴۷/۳	۵۶/۷	کینوا (رحمت)
h ۳/۷	۰	۰	۱۱/۲	پانیکوم
h ۳/۱	۰	۰/۵	۸/۹	سالسولا (امبریکاتا)
e ۱۵/۵	۹/۵	۱۷	۲۰/۱	سالیکورنیا (ارومیه)
g ۶/۱	۱/۱	۵/۸	۱۱/۵	سالیکورنیا (بیگیلوی)
a ۵۴/۹	۳۷/۱	۳۶/۶	۶۴/۱	کینوا (صدوق)
d ۱۷/۱	۰/۲	۱۹/۳	۳۱/۹	جو دوسر
I ۰	۰	۰	۰	آستراگالوس
b ۴۱/۷	۱۵/۹	۵۰/۹	۵۸/۴	کینوا (تیتیکاکا)
	c ۷/۵	b ۱۵/۴	a ۲۲/۱	میانگین



شکل ۳- درصد تفاوت در سرعت جوانه‌زنی تحت تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد

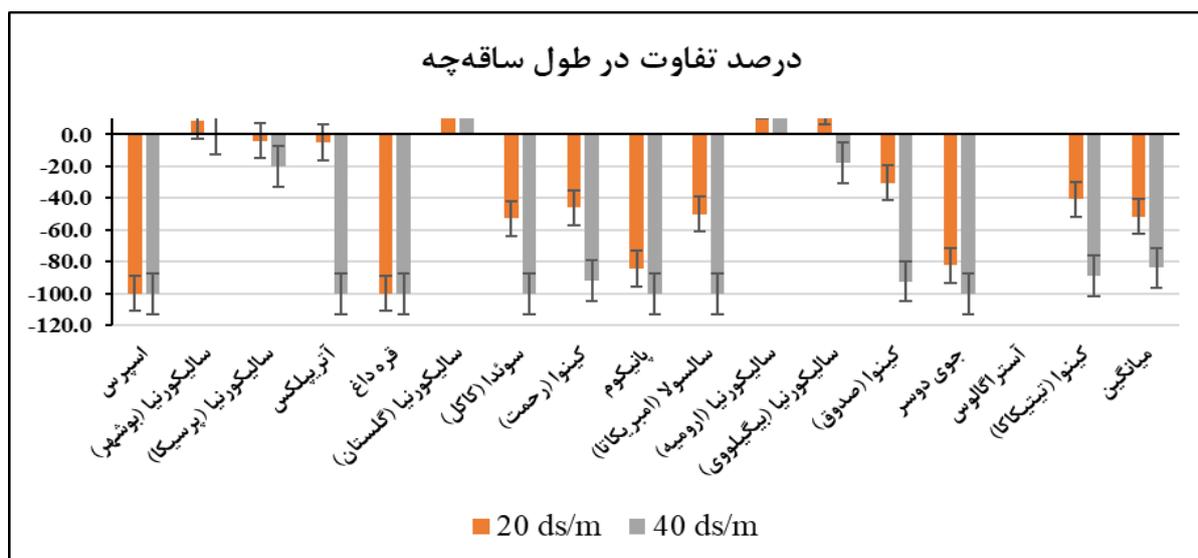
جدول ۵- ارتفاع ساقه‌چه (سانتی‌متر) تحت تیمارهای مختلف ارقام گیاهی و کیفیت آب

گونه‌ها و ارقام گیاهی	تیمارهای کیفیت آب (ds/m)		
	۴۰	۲۰	۲
اسپرس	۰	۰	۵/۱
سالیکورنیا (بوشهر)	۱/۲	۱/۳	۱/۲
سالیکورنیا (پرسیکا)	۲	۲/۴	۲/۵
آتریپلکس	۰	۳/۸	۴
قره داغ	۰	۰	۰/۴
سالیکورنیا (گلستان)	۱/۷	۱/۸	۱/۳
سوئدا (کاکل)	۰	۰/۸	۱/۷
کینوا (رحمت)	۰/۵	۳/۳	۶/۱
پانیکوم	۰	۱	۶/۴
سالسولا (امبریکاتا)	۰	۰/۷	۱/۴
سالیکورنیا (ارومیه)	۱/۹	۱/۷	۱/۴
سالیکورنیا (بیگیلوی)	۱/۴	۲	۱/۷
کینوا (صدوق)	۰/۵	۴/۶	۶/۶
جوی دوسر	۰	۲/۸	۱۵/۷
آستراگالوس	۰	۰	۰
کینوا (تیتیکاکا)	۰/۶	۳/۲	۵/۴
میانگین	c ۰/۶	b ۱/۸	a ۳/۸

مختلف گیاه سالیکورنیا این موضوع با کاهش جزئی و یا حتی با افزایش در طول ساقه‌چه همراه بوده است. توده گلستان از گیاه سالیکورنیا با ۳۸/۵٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد بیشترین مقدار و توده ارومیه این گیاه در تیمار کیفی ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر با ۳۵/۷٪ افزایش نسبت به تیمار شاهد، بیشترین افزایش‌ها را دارا بودند.

گیاهان آستراگالوس و قره داغ نیز پایین‌ترین حدود را به ترتیب با صفر و ۰/۱ سانتی‌متر نشان دادند.

شکل (۴) نیز درصد تفاوت در رشد ساقه‌چه نسبت به تیمار شاهد را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، اگرچه به طور کلی با افزایش شوری، طول ساقه‌چه کاهش می‌یابد، ولی در توده‌های



شکل ۴- درصد تفاوت در طول ساقچه تحت تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد

از گیاه سالیکورنیا نیز با ۱۸/۸ و ۱۶/۷ درصد به ترتیب در مرتبه بعدی افزایش این مولفه قرار می‌گیرند. تنوع ژنتیکی بین گونه‌های سالیکورنیا پاسخ‌های آن‌ها به شوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی گونه‌ها تحت شوری متوسط، رشد تحریک‌شده‌ای نشان می‌دهند، در حالی که برخی دیگر به دلیل تفاوت در مکانیسم‌های انتقال یون و سازگاری‌های متابولیکی، بلافاصله تحت تنش قرار می‌گیرند و رشد آن‌ها مهار می‌شود. (Li et al., 2023) علاوه بر این، شوری شدید ممکن است از آستانه تحمل برخی گونه‌ها فراتر رود و از تحریک رشد جلوگیری کند. (Hasanuzzaman et al., 2021)

با بررسی تیمار ۴۰ دسی زمینس بر متر می‌توان دریافت توده بوشهر و توده ارومیه از گیاه سالیکورنیا با افزایش قابل توجهی در طول ریشه‌چه مواجه بوده‌اند، به طوری که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب با افزایش ۳۳/۳ و ۱۳۳ درصدی همراه بوده‌اند.

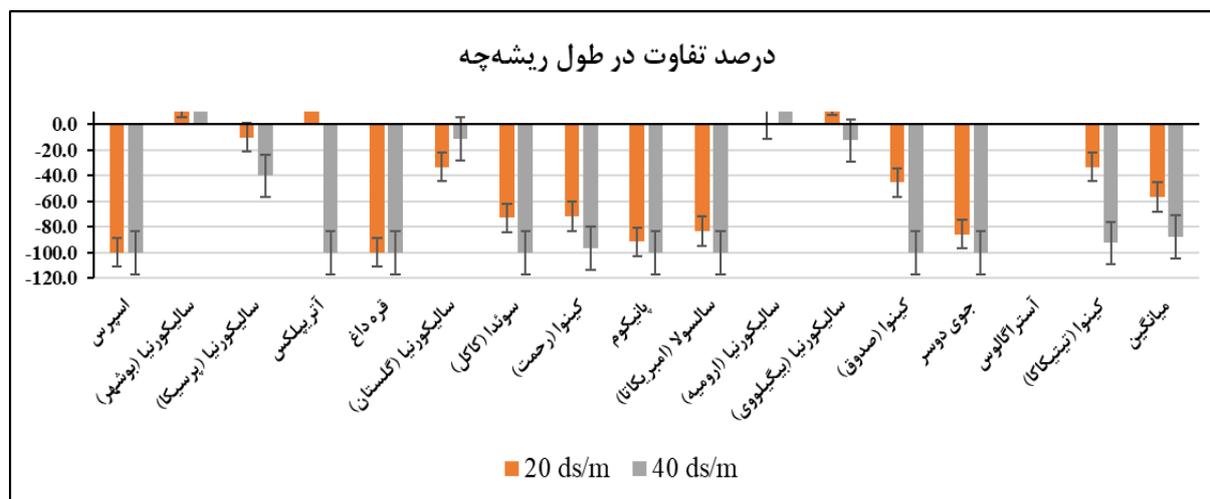
به طور کلی گیاه جو دوسر با میانگین ۴ سانتی‌متر به طور معنی‌داری در میان ارقام و شرایط مورد بررسی بیشترین طول ریشه‌چه را داشته است که بیشتر بودن آن نیز به دلیل بالاتر بودن طول ریشه‌چه تحت تیمار شاهد می‌باشد. پس از آن گیاه کینوا صدوق با ۲/۹ سانتی‌متر سانتی‌متر قرار داشت کمترین آن نیز به گیاهان آستارا گالوس و قره داغ برمی‌گردد. در بین تیمارهای کیفی نیز تیمار شاهد با دو و نیم سانتی‌متر به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای دیگر به لحاظ طول ریشه‌چه مقدار بالاتری داشته است.

گیاهان کینوا صدوق، کینوا رحمت و آتریپلیکس به ترتیب با ۲/۹، ۲/۶ و ۲/۷ سانتی‌متر بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر در مرتبه بعدی قرار گرفتند. گیاهان آستراگالوس و قره داغ نیز با میانگین صفر در انتهای لیست طول ریشه‌چه رده بندی می‌شوند.

پژوهش‌های دیگر نشان داده است که جو به دلیل حساسیت بیشتر به جیبرلین‌ها و تخصیص کارآمد مواد مغذی تحت شرایط مطلوب، رشد اولیه قوی‌تری در بخش هوایی دارد (Verma et al., 2024). برخلاف گیاهان شورپسند، جو به تنش شوری سازگار نیست، که این امر ممکن است به طول بیشتر ساقچه آن در شرایط غیرشور کمک کند (Al-Khafaji et al., 2024). جو یک گیاه گلیکوفیت (شیرین رست) با تحمل کم به شوری است و رشد بخش هوایی آن به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد. این امر به دلیل عدم تعادل یونی، تنش آبی و کاهش تقسیم سلولی است (Sulaiman et al., 2023). شوری، جذب مواد مغذی را مختل می‌کند و منجر به کمبود عناصر ضروری مانند پتاسیم و کلسیم می‌شود که برای گسترش و طولیل شدن سلول‌ها حیاتی هستند (Verma et al., 2024). برخی از گونه‌های سالیکورنیا تحت شوری متوسط رشد بهتری نشان می‌دهند، زیرا طبیعت شورپسند به آن‌ها اجازه می‌دهد از  $Na^+$  به عنوان یک اسمولیت برای حفظ فشار تورژسانس و افزایش گسترش سلولی استفاده کنند. (Calone et al., 2021) علاوه بر این، فعال‌سازی ژن‌های خاص توسط نمک، پاسخ‌های رشد را تحت شرایط شوری بهینه تقویت می‌کند (Wang et al., 2023).

بیشترین طول ریشه‌چه، در گیاه جو دوسر با ۱۰/۴ سانتی‌متر مشاهده شد (جدول ۶). این در حالی است که در تیمار کیفی ۲۰ دسی زمینس بر متر، رشد ریشه‌چه این گیاه با ۱/۵ سانتی‌متر به میزان ۸۵/۶ درصد کاهش یافت (شکل ۵) و تحت این تیمار کیفی، گیاه آتریپلیکس با ۴/۶ سانتی‌متر، بیشترین طول را به خود اختصاص داد که حاکی از افزایش ۳۱/۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد برای این گیاه می‌باشد. توده بیگلوی (۱/۴ سانتی‌متر) و بوشهر (۰/۸ سانتی‌متر)

گونه‌ها و ارقام گیاهی	تیمارهای کیفیت آب (ds/m)		
	۴۰	۲۰	۲
اسپرس	c ۱/۶	.	۴/۸
سالیکورنیا (بوشهر)	d ۰/۷	-۰/۸	۰/۶
سالیکورنیا (پرسیکا)	d ۰/۸	-۰/۶	۱
آتریپلکس	b ۲/۷	.	۴/۶
قره داغ	e ۰	.	۰/۱
سالیکورنیا (گلستان)	d ۰/۸	-۰/۸	۰/۶
سوئدا (کاکل)	de ۰/۵	.	۰/۳
کینوا (رحمت)	b ۲/۶	-۰/۲	۱/۷
پانیکوم	de ۰/۴	.	۰/۱
سالسولا (امبریکاتا)	de ۰/۲	.	۰/۱
سالیکورنیا (ارومیه)	de ۰/۴	-۰/۷	۰/۳
سالیکورنیا (بیگیلووی)	c ۱/۶	۱/۴	۱/۹
کینوا (صدوق)	b ۲/۹	-۰/۲	۳
جو دوسر	a ۴	.	۱/۵
آستراگالوس	e ۰	.	.
کینوا (تیتیکاکا)	c ۱/۶	-۰/۲	۱/۸
میانگین	c ۰/۳	b ۱/۱	a ۲/۵



شکل ۵- درصد تفاوت در طول ریشه‌چه تحت تیمارهای مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد

پرویلین و گلیسین بتائین را القا کند که به حفظ تورژسانس سلولی و افزایش جذب آب کمک می‌کنند. این فرآیند از طولیل شدن ریشه‌چه و ساقچه‌چه حمایت می‌کند (Hasanuzzaman et al., 2021). همچنین در این گیاهان سطح مناسب شوری بر سطح هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین‌ها (GA) و اسید آبسزیک (ABA) تأثیر می‌گذارد. افزایش متوسط جیبرلین تحت شرایط خاص شوری می‌تواند باعث طولیل شدن نهال، از جمله رشد ریشه‌چه و ساقچه‌چه شود (Li et al.,

صرف نظر از نوع گیاهان و با میانگین‌گیری از مقادیر ریشه‌چه در هر تیمار کیفی آب مشاهده می‌شود، تیمار شاهد (۲ دسی‌زیمنس بر متر) با ۲/۵ سانتی‌متر به طور معنی‌داری بیشترین طول ریشه‌چه را به خود اختصاص داده است. بعد از آن تیمار شوری دوم (۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) با ۱/۱ سانتی‌متر قرار می‌گیرد. در نهایت نیز تیمار سوم (۴۰ دسی‌زیمنس بر متر) با تنها ۰/۳ سانتی‌متر قرار دارد. شوری بهینه در گیاهان هالوفیت تولید اسمولیت‌هایی مانند

نمک‌ها در واکنش‌ها قرار دارد. تحت شرایط شوری متوسط، طولی شدن ریشه‌چه به دلیل بهبود تنظیم اسمزی تحریک می‌شود، در حالی که شوری بیش از حد به دلیل سمیت یونی، رشد را مهار می‌کند (Naheed et al., 2022; Gonzales et al., 2024). گونه‌های آتریپلکس نیز تحت شرایط شوری ملایم، رشد ریشه‌چه بهتری نشان می‌دهند. این امر به دلیل مکانیسم‌های ترشح نمک و جذب کارآمد مواد مغذی است. با این حال، تحت تنش شوری شدید، طولی شدن ریشه‌چه به دلیل تنش اکسیداتیو و محدودیت‌های متابولیکی کاهش می‌یابد (Li et al., 2023; Hasanuzzaman et al., 2021).

### آزمایش گلخانه‌ای

نتایج آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که در هیچ یک از تیمارها حتی تیمار شاهد، به علت سطوح بالای شوری جوانه‌زنی رخ نداد (شکل ۶). با انجام کشت نشایی و کسب استقرار اولیه گیاه (۱۰ روز بعد از کشت)، مجدداً پس از انتقال به محیط گلخانه طی یک هفته پژمردگی و افول گیاهان مشاهده گردید.



شکل (۶) وضعیت گلخانه‌ای تحت آزمایش و تجمع بلورهای نمک در مراحل آزمایش

آمده از فاز یک نشان داد؛ ارقام مختلف گیاه کینوا بهترین نتایج را در درصد و سرعت جوانه‌زنی داشتند. ولی در مورد پارامترهای طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، ارقام سالیکورنیا (ارومیه) و سالیکورنیا (بیگیلوی) بیشترین مقادیر رشد را به خود اختصاص دادند. به بیان دیگر، در حالی که سطوح بالای شوری به‌طور کلی رشد بذور را به ویژه در گیاهان شیرین رست، مهار می‌کند؛ شوری بهینه می‌تواند طول ریشه‌چه و ساقه‌چه سالیکورنیا، کینوا و آتریپلکس را از طریق سازگاری‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی افزایش دهد. مطالعات مرور شده نشان می‌دهند که این پدیده ناشی از تنظیم اسمزی، جذب کارآمد یون‌ها، تنظیم هورمونی و تقویت دفاع آنتی‌اکسیداتیو است. با این حال،

(2023) اما به‌طور کلی تنش شوری، تنش اکسیداتیو را در گیاهان القا می‌کند، که این رخداد در گونه‌های مقاوم به شوری با تکامل سیستم‌های دفاعی آنتی‌اکسیداتیو همراه است. این سازگاری آسیب سلولی را به حداقل رسانده و از عملکردهای متابولیکی ضروری برای رشد نهال حمایت می‌کند (Hasanuzzaman et al., 2021). شبکه‌های خاصی از ژن‌ها در پاسخ به شوری فعال می‌شوند که منجر به افزایش تحمل به تنش و رشد می‌گردند. برخی از این ژن‌ها، ناقل‌های یونی و پروتئین‌های پاسخ‌دهنده به تنش را تنظیم می‌کنند که در رشد طولی شدن نهال‌های سالیکورنیا، کینوا و آتریپلکس نقش دارند. (Wang et al., 2023)

افزایش طول ساقه‌چه و ریشه‌چه برای گیاه سالیکورنیا در آستانه‌های خاصی از شوری رخ می‌دهد. این امر از طریق تحریک مکانیسم‌های انتقال یون و تعادل اسمزی اتفاق می‌افتد. با این حال، در سطوح بالاتر شوری، رشد ریشه‌چه به دلیل تنش یونی بیش از حد و کمبود آب مهار می‌شود. به بیان دیگر، گیاه ابتدا پاسخ تحریکی نشان می‌دهد و سپس در سطوح بالاتر شوری، با بازدارندگی مواجه می‌شود (Calone et al., 2021; Balasubramaniam et al., 2023; Wang et al., 2023). کینوا به‌طور قابل توجهی به شوری مقاوم است و رشد ریشه‌چه آن تحت تأثیر توانایی آن در ذخیره

### نتیجه‌گیری

آزمایش‌های جوانه‌زنی و گلخانه‌ای به دلیل ماهیت شبیه‌سازی محیط، مزیت‌های فراوانی از جمله ارائه دورنمایی از وضعیت مقاومت و توانایی رشد گیاهان، با توجه به عناصر موجود در آب و خاک هر منطقه، صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها دارند. بر همین اساس با انتخاب ۱۵ مورد از گیاهان مقاوم به شوری، این پژوهش، در دو فاز: (۱) جوانه‌زنی در محیط آزمایشگاهی (با سه سطح آب رقیق‌شده از منطقه مورد مطالعه) و (۲) کشت در گلخانه در محیط گلخانه (با خاک منطقه و مجدداً غلظت‌های فاز یک) مورد سنجش قرار گرفت. نتایج به‌دست

سنجش از دورچند طیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین. *جغرافیا و پایداری محیط*. ۱۰(۱): ۳۷-۵۲.

Akram, M. and Sotoodehnia, A. 2011. Monitoring plan of interceptor drain in Qazvin. *Company Reports, Kamab Pars Saman Abrah*.

Ahmadi F, Mohammadkhani N. and Servati M. 2022. Halophytes play important role in phytoremediation of salt-affected soils in the bed of Urmia Lake, Iran. *Scientific Reports*. 12:12223. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16266-4>

Al-Khafaji AH, Kwao S, Gómez Galindo F, Sajeevan RS. (2024). Germination and stress tolerance of oats treated with pulsed electric field at different phases of seedling growth. *Bioelectrochemistry*, 158:108692. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2024.108692>

Balasubramaniam T, Shen G, Esmaeili N, Zhang H. (2023). Plants' Response Mechanisms to Salinity Stress. *Plants*, 12:1-22. <https://doi.org/10.3390/plants12122253>

Ben Gaied R, Brígido C, Sbissi I, Tarhouni M. (2024). Sustainable Strategy to Boost Legumes Growth under Salinity and Drought Stress in Semi-Arid and Arid Regions. *Soil Systems*, 8:84. <https://doi.org/10.3390/soilsystems8030084>

Calone R, Bregaglio S, Sanoubar R, et al. (2021). Physiological Adaptation to Water Salinity in Six Wild Halophytes Suitable for Mediterranean Agriculture. *Plants*, 10(2):309. <https://doi.org/10.3390/plants10020309>

Gonzales V, Huallpan M, Ramirez X, et al. (2024). Rhizosphere bacteria from the Bolivian highlands improve drought tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Applied Microbiology*, 135:296. <https://doi.org/10.1093/jambio/txae296>

Hasan H, Shloul T, Alomari B, et al. (2024). Phytoremediation ability of *Panicum maximum* and *Salicornia europaea* irrigated with treated wastewater for salt elements in the soil. *Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23:451-457. <https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2024.04.006>

Hasanuzzaman M, Raihan MRH, Masud AAC, et al. (2021). Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. *International Journal of Molecular Sciences*, 22:9326. <https://doi.org/10.3390/ijms22179326>

Hayat K, Bundschuh J, Jan F, et al. (2020). Combating soil salinity with combining saline agriculture and phytomanagement with salt-accumulating plants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50:1085-1115. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1646087>

Kalanaki M, Ritzema H, Bamshad R, et al. (2020).

پاسخ‌های گونه‌ای به‌طور قابل توجهی متفاوت است، به‌طوری که کینوا جوانه‌زنی بهتری تحت شوری بالاتر نشان داد و جو در شرایط غیرشور ساقه‌چه بلندتری داشت. آسترگالوس و قره‌داغ هم به دلیل مکانیسم‌های خواب، جوانه‌زنی ضعیفی نشان دادند. اگرچه براساس این نتایج، گونه‌های احتمالی مناسب برای بررسی در شرایط میدانی انتخاب شدند، لکن در شرایط انجام فاز دوم این پژوهش، به دلیل خاصیت تجمع‌ی شوری در خاک و اثرات مضاعف آن، رشد و جوانه‌زنی در دو حالت کشت مستقیم و یا کشت نشایی در شرایط گلخانه‌ای موفقیت آمیز نبود. درک بیشتر مکانیسم‌های تقابلی روابط تبادل یونی در خاک و گیاه و همچنین استفاده تلفیقی از روش‌های دیگر همانند اصلاح‌کننده‌های خاک، برای بررسی‌های بعدی ضروری است.

## تقدیر و تشکرها

ستاد توسعه زیست فناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به دلیل حمایت مالی از این پژوهش خانم مهندس فرحناز احمد سلطانی کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، منابع طبیعی استان قزوین کارکنان دانشکده کشاورزی دانشگاه امام خمینی (ره) به دلیل همکاری در انجام کشت گلخانه‌ای اعضای هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری یزد به دلیل همکاری در تامین بذور شورپسند

## منابع

بی‌نام. ۱۳۹۳. مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع حوضه آبریز دریاچه نمک. شرکت مدیریت منابع آب ایران. وزارت نیرو

بی‌نام. ۱۳۹۸. مطالعات زهکشی دشت قزوین. سازمان جهاد کشاورزی استان قزوین.

ستوده‌نیا، ع. جعفری، م. و دانش‌کارآراسته، پ. ۱۳۹۳. نقش زهکش حایل شوره‌زار مرکزی قزوین در کنترل شوری. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۵(۴): ۴۴۷-۴۵۲.

رضایی، گ.، سرمیدیان، ف.، محمدی ترکشوند، ع.، سید محمدی، ج. و مرعی علی‌آبادی، م. ۱۴۰۲. نقشه‌برداری رقومی تغییرات سطحی و زیرسطحی کربن آلی و شوری خاک در بخشی از اراضی دشت قزوین (مطالعه موردی: مناطق آبیک و نظر آباد). *آب و خاک*. doi: 37(2). 315-331. [10.22067/jsw.2023.80369.1238](https://doi.org/10.22067/jsw.2023.80369.1238)

یوسف‌گمرکچی، الف.، اکبری، م.، حسن‌اقلی، ع. و یونسی، م. ۱۳۹۹. پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های

- 44:1409–1424. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01165-w>
- Pompelli MF, García Castaño S, Vásquez Bettin A, et al. (2024). Desert species: seed germination, ecological achievement, and land area protection. *Brazilian Journal of Development*, 10:e76092. <https://doi.org/10.34117/BJDV10N12-060>
- Razanov S, Tkachuk O, Lebedieva N, et al. (2024). Phytoremediation of heavy metal contamination by perennial legumes. *International Journal of Environmental Studies*, 81:216–222. <https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2296764>
- Sulaiman, Ullah S, Saud S, et al. (2023). Germination response of Oat (*Avena sativa* L.) to temperature and salinity using halothermal time model. *Plant Stress*, 10:100263. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100263>
- Verma M, Pandove G, Kalia A, Singh TP. (2024). Insight of salinity stress amelioration in oats by use of plant growth promoting bacteria. *Cereal Research Communications*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s42976-024-00612-5>
- Wang S, Liu J, Wang Y, et al. (2023). Performance of halophytes in soil desalinization and its influencing factors: a meta-analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 11:1198540. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1198540>
- Xu Q, Liu H, Li M, et al. (2024). Optimizing water and nitrogen management for saline wasteland improvement: A case study on *Suaeda salsa*. *Agriculture and Water Management*, 301:108930. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108930>
- Application of bio-desalinization for reclamation of salt-affected soil under composted cow manure and deficit irrigation with saline water. *Paddy and Water Environment*, 18:469–479. <https://doi.org/10.1007/s10333-020-00795-7>
- Li CY, He R, Tian CY, Song J. (2023). Utilization of halophytes in saline agriculture and restoration of contaminated salinized soils from genes to ecosystem: *Suaeda salsa* as an example. *Marine Pollution Bulletin*, 197:115728. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115728>
- Li J, Chang Y, Al-Huqail AA, et al. (2021). Effect of manure and compost on the phytostabilization potential of heavy metals by the halophytic plant wavy-leaved saltbush. *Plants*, 10(1):1–13. <https://doi.org/10.3390/plants10102176>
- Li M, Heng Q, Hu C, et al. (2024). Phytoremediation efficiency of poplar hybrid varieties with diverse genetic backgrounds in soil contaminated by multiple toxic metals (Cd, Hg, Pb, and As). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283:116843. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116843>
- Moreira MH, They NH, Rodrigues LR, et al. (2023). Salty freshwater macrophytes: the effects of salinization in freshwaters upon non-halophyte aquatic plants. *Science of the Total Environment*, 857:159608. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159608>
- Naheed N, Abbas G, Naeem MA, et al. (2022). Nickel tolerance and phytoremediation potential of quinoa are modulated under salinity: multivariate comparison of physiological and biochemical attributes. *Environmental Geochemistry and Health*,

## Assessment of Seed Germination in Halophytic Species under Saline Conditions of Qazvin Plain

M. Kalanaki<sup>\*1,2</sup>, H. Ramezani Etedali<sup>3</sup>, A. Kalanaki<sup>4</sup>, P. Van Oel<sup>5</sup>

Received: May.12, 2025

Accepted: Aug.07, 2025

### Abstract

The expansion of saline lands in various regions, including the Allahabad Plain in Qazvin Province, has mainly resulted from human-induced factors, leading to reduced soil fertility and environmental degradation. This study was conducted to evaluate the feasibility of biological desalination using salt-tolerant plant species. A two-factor factorial germination experiment was carried out on 16 accessions of *Onobrychis* (sainfoin), *Nitraria* (Ghara-Dagh), *Atriplex*, oat (*Avena sativa*), *Astragalus*, *Salicornia* (populations from Bushehr, Golestan, Urmia, and Beiglouvi), *Chenopodium quinoa* (Sadough, Titicaca, and Rahmat varieties), *Salsola*, *Suaeda*, and *Panicum*, under three salinity levels: 2, 20, and 40 dS/m, prepared by diluting drainage water from the region. For each population, 25 seeds were placed in sterile Petri dishes and incubated for 14 days with three replications. Germination percentage, germination rate, and radicle and plumule lengths were measured. Results showed that *Chenopodium quinoa*, especially the Sadough variety, had 100% germination across all salinity levels and an average germination rate of 54.9 seeds per day, showing a significant advantage over other accessions. Among *Salicornia* populations, the longest plumule (1.9 cm) was observed in the Urmia population, and the longest radicle (1.4 cm) in the Beiglouvi population. However, greenhouse cultivation in the silty clay soil of the region, with a salinity of 91 dS/m, indicated that the growth of Quinoa and *Salicornia*, whether by transplanting or direct seeding, was not favorable. Therefore, due to the high soil salinity, phytoremediation using these species alone will not be effective. It is recommended that integrated approaches, such as the use of soil amendments along with environmental impact assessments, be considered before field implementation.

**Keywords:** Biological desalination, Germination test, Halophytic plants, Salinity, Unconventional water

- 
- 1- Working Group on Sustainable Use of Water Resources for Agricultural Production, National Committee on Irrigation and Drainage of Iran
  - 2- R & D researcher, Karizab Rayan Pegah, Qazvin, Iran
  - 3- Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
  - 4- Chairman of the Board of Directors, Karizab Rayan Pegah Co., Qazvin, Iran
  - 5- Associate Professor, Water Resources Management Group, Wageningen University and Research, The Netherlands  
(\*- Corresponding Author Email: [kalanaki\\_mahdi@yahoo.com](mailto:kalanaki_mahdi@yahoo.com))