



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال دوازدهم / شماره سوم / ۱۴۰۴ (۴۲ - ۲۹)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2025.9414



تأثیر تیمارهای پرایمینگ بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر جمعیت‌های گونه سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)

شهرزاد تیبانیان^{۱*}، حمیدرضا عسگری^۲، فرزانه بهادری^۳، محمدکیا کیانیان^۴، مریم شهبازی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۳۰

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، شوری خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه است. به‌کارگیری تکنیک‌هایی مانند پرایمینگ بذر می‌تواند نقش قابل توجهی در افزایش ظرفیت جوانه‌زنی گیاهان بومی مقاوم به شوری ایفا کند. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر پرایمینگ بذر با محلول‌های کلرید سدیم (NaCl) و نیترات پتاسیم (KNO₃) بر صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) می‌باشد. این آزمایش در قالب یک طرح کاملاً تصادفی با تیمارهای NaCl و KNO₃ در سه غلظت (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مول) و آب مقطر به‌عنوان شاهد انجام گردید. بذرهای شش جمعیت مختلف (۲۴۰، ۲۱۰، ۲۰۴، ۲۲۶، ۲۳۷ و ۱۰۶) جمع‌آوری، ضدعفونی و پیش از تیمارهای پرایمینگ تحت سرمایش مرطوب قرار گرفتند. آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از ژرمیناتور انجام شد. شاخص‌های جوانه‌زنی اندازه‌گیری شده شامل درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بنیه بذر، سرعت تجمع جوانه‌زنی و میانگین زمان جوانه‌زنی بودند. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام شد. نتایج نشان داد، که پرایمینگ بذر با کلرید سدیم (NaCl) و نیترات پتاسیم (KNO₃)، به‌ویژه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl، به طور قابل توجهی صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) را بهبود می‌بخشد. تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت ۲۴۰، درصد جوانه‌زنی را به ۷۰ درصد رساند و سرعت تجمع جوانه‌زنی را به ۱۷،۴۰ افزایش داد. بیشترین میانگین طول گیاهچه‌ها تحت تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت ۲۴۰ در کنار جمعیت ۱۰۶ مشاهده شد؛ طول گیاهچه جمعیت ۲۴۰ به ۲۳،۴ میلی‌متر و طول گیاهچه جمعیت ۱۰۶ به ۲۴،۴۷ میلی‌متر رسید. شاخص بنیه بذر در جمعیت ۲۴۰ با تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به ترتیب ۱۳۳۷ و ۱۳۳۲ ثبت شد. این نتایج نشان می‌دهد، که پرایمینگ نه تنها جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد، بلکه رشد گیاهچه و بنیه آن را نیز تقویت می‌کند و می‌تواند به عنوان یک روش عملی و کم‌هزینه برای بهبود موفقیت استقرار گیاهان مقاوم به شوری در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، تنوع جمعیتی درون یک گونه نقش مهمی در توانایی گیاه برای مقابله با تنش‌ها و آفات ایفا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ بذر، جوانه‌زنی بذر، جمعیت، *Salsola rigida*

shahrzad.tebiani@gmail.com

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

hras2011@gmail.com

۲- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران.

farbahadorri@gmail.com

۴- استادیار، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

m_kianian@semnan.ac.ir

۵- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

maryam_shahbazi@gau.ac.ir

*نویسنده مسئول: shahrzad.tebiani@gmail.com

مقدمه

بیابان‌ها، به دلیل ویژگی‌های نامساعد محیطی، یکی از چالش‌برانگیزترین اکوسیستم‌ها برای رشد گیاهان به شمار می‌آیند و شرایط سختی را برای بقا و رشد گیاهان فراهم می‌کنند. این مناطق، به‌ویژه در مناطق با شوری زیاد و خشکی شدید، از دشواری‌های خاصی برخوردارند، که سبب می‌شود گیاهان معمولی قادر به رشد و تکثیر در آن‌ها نباشند. شرایط محیطی بیابان‌ها شامل کمبود بارش، تبخیر زیاد، نوسانات دمایی شدید و شوری خاک است، که همگی تأثیرات زیادی بر رشد و توسعه گیاهان دارند (Izadi, 2013). شوری خاک، یکی از مشکلات عمده در کشاورزی است، که فرآیند جوانه‌زنی بذر را به‌طور منفی تحت تأثیر قرار می‌دهد. تجمع نمک‌ها در خاک فشار اسمزی را افزایش داده و جذب آب توسط بذر را دشوار می‌کند. این شرایط فعالیت آنزیم‌ها و متابولیسم سلولی را مختل کرده و در نهایت منجر به کاهش درصد جوانه‌زنی یا حتی مرگ بذر می‌شود. علاوه بر این، یون‌های سمی مانند سدیم و کلر می‌توانند به‌طور مستقیم ساختارهای داخلی بذر را آسیب زده، تعادل یونی را بر هم زنند و رشد طبیعی گیاهچه را مختل کنند (Saadat et al., 2023). یکی از راهبردهای کلیدی برای مقابله با این مشکل، انتخاب گیاهان متحمل به شوری است. این گیاهان دارای سازوکارهایی مانند تنظیم اسمزی، دفع نمک از طریق برگ‌ها، یا ذخیره آن در بافت‌های غیر حیاتی هستند، که به آن‌ها امکان می‌دهد شرایط شور را به‌خوبی تحمل کنند. کشت گیاهان متحمل به شوری نه تنها بهره‌وری اراضی شور را افزایش می‌دهد، بلکه به اصلاح خاک و کاهش تجمع نمک نیز کمک می‌کند (Alizadeh et al., 2025). سالسولا (*Salsola*، یکی از گونه‌های قابل توجه است، که در شرایط شور به خوبی رشد می‌کند و سازگاری بالایی با خاک‌های شور و مناطق خشک دارد. با ریشه‌های گسترده و سازوکارهای فیزیولوژیکی ویژه، این گیاه قادر به جذب و ذخیره نمک است و حتی در شرایط سخت نیز رشد می‌کند (Zarekia and Abolghasemi, 2020). گونه‌ی سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)، به‌صورت بوته‌ای یا درختچه‌ای رشد کرده و ارتفاع آن به حدود ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد. ساقه‌ها، منشعب، برگ‌ها، متناوب و استوانه‌ای شکل، دیده می‌شوند. گل‌ها، به‌صورت منفرد بر روی سنبله‌های مترکم یا باز ظاهر می‌شوند. رنگ

آن‌ها از سبز مایل به زرد تا ارغوانی یا قرمز متغیر است (Al-Charchafchi et al., 1987).

از راهبردهای مؤثر برای مقابله با تنش شوری و بهبود عملکرد گیاهان، استفاده از تکنیک پرایمینگ بذر است. پرایمینگ فرآیندی است، که طی آن بذر با مواد شیمیایی یا طبیعی خاصی تیمار می‌شوند، تا تحمل آن‌ها در برابر تنش‌های محیطی بهبود یابد (Cheheltanan et al., 2024). از جمله تیمارهای پرایمینگ رایج برای کاهش اثرات تنش شوری، خیساندن بذر در محلول‌های کلرید سدیم (NaCl) یا نیترات پتاسیم (KNO₃) است. این ترکیبات با کاهش آسیب اکسیداتیو و حفظ تعادل یونی، باعث بهبود جذب آب و مواد غذایی و تقویت رشد اولیه در شرایط شور می‌شوند (Fanaei and Najat Zadeh, 2017). عباسپور و همکاران (Abbaspour et al., 2022)، گزارش کردند، که اعمال سطوح مختلف شوری ۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌مولار سدیم کلرید، به‌طور معنی‌داری درصد و سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه را کاهش داده و زمان جوانه‌زنی بذرهای علف شور (*Salsola crassa*) را افزایش داد. همچنین، سعیدی‌پور (Saeedipour, 2024)، بیان کرد، که بذرهای پرایم‌شده با نیترات پتاسیم در دو رقم کلزا *Brassica napus*، درصد جوانه‌زنی بیشتری نسبت به بذرهای پرایم‌نشده داشتند. علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2025) نیز گزارش کردند، هرچند، سه جمعیت آویشن وحشی *Thymus kotschyanus*، اثر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه و شاخص بنیه نداشتند، اما اثر آن‌ها بر سرعت جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. مطالعات محدودی به بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان بومی مانند سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) پرداخته‌اند، در حالی‌که این گونه با تحمل ذاتی به شوری، گزینه‌ای مناسب برای توسعه پایدار است. به‌کارگیری پرایمینگ بذر می‌تواند موفقیت استقرار اولیه آن را افزایش دهد. تنوع ژنتیکی میان جمعیت‌ها در میزان پاسخ‌گویی نقش دارد. شناسایی جمعیت‌های برتر از نظر جوانه‌زنی و رشد اولیه، هم در انتخاب منابع ژنتیکی و هم در احیای مؤثر مناطق شور اهمیت دارد. اگرچه سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)، به عنوان گونه‌ای مقاوم به شوری شناخته می‌شود، اما مرحله جوانه‌زنی و استقرار اولیه آن، همچنان یکی از حساس‌ترین مراحل چرخه زندگی گیاه در شرایط تنش شوری محسوب می‌گردد. در بسیاری از

مواد و روش‌ها**منطقه مطالعه**

این پژوهش در اردیبهشت ۱۴۰۲، در آزمایشگاه تحقیقات بذر مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان انجام شد. بذرهای مورد استفاده در آزمایش از عرصه تحقیقاتی مرکز تهیه شدند و اطلاعات مربوط به شماره شناسایی و مختصات جغرافیایی محل‌های جمع‌آوری در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه، این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک است و بر اساس طبقه‌بندی گوسن، به‌عنوان اقلیم نیمه‌بیابانی شدید شناخته می‌شود. میانگین ارتفاع آن حدود ۱۱۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین بارش سالانه‌ی منطقه حدود ۱۳۹٫۸ میلی‌متر است. میانگین دمای سالانه بین ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است و حداکثر و حداقل مطلق دما به ترتیب به ۴۰+ و کمتر از ۱۰- درجه سانتی‌گراد می‌رسد (Nasrollahi et al., 2018).

اراضی شور و بیابانی، شکست در استقرار اولیه سبب کاهش موفقیت عملیات احیای پوشش گیاهی می‌شود. از این‌رو، بهبود ویژگی‌های جوانه‌زنی و افزایش بنیه بذر از طریق روش‌های ساده و کم‌هزینه‌ای مانند پرایمینگ، می‌تواند نقش مهمی در افزایش موفقیت استقرار این گونه ایفا نماید. مطالعه حاضر، با هدف ارزیابی پاسخ جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)، به تیمارهای پرایمینگ و شناسایی جمعیت‌های برتر از نظر بنیه جوانه‌زنی، به‌منظور کاربرد در برنامه‌های احیای مراتع شور و کنترل بیابان‌زایی انجام شد. در این تحقیق، اثر نیترات پتاسیم و کلرید سدیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بنیه بذر، سرعت تجمعی و میانگین زمان جوانه‌زنی در جمعیت‌های مختلف بررسی گردید و جمعیت‌های برتر از نظر بنیه جوانه‌زنی شناسایی شدند.

جدول ۱- شماره و مختصات جغرافیایی محل جمع‌آوری ژنوتیپ‌های سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)**Table 1- Number and geographical coordinates of collection sites of *Salsola rigida* genotypes**

کد مرکز تحقیقات Research center Code	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	نام جمعیت (منشا رویش و منطقه جمع آوری شده) Population name (habitat site)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude above sea level (m)	بارش سالانه Annual rainfall (mm)
237	" 26' 52" 35	" 28' 17" 53	Khuriyeh Rangeland, Lower Semnan مرتع خوریه، پایین سمنان	1140	130
240	" 26' 51" 35	" 28' 30" 54	Tabaqeh Rangeland, Semnan مرتع طبقه، سمنان	1130	135
106	" 28' 18" 36	" 30' 11" 54	Dozd Cheshmeh Rangeland, Damghan مرتع دزدچشمه، دامغان	1170	150
204	" 36.4' 51" 35	" 26.4' 28" 54	Haj Ali Gholi Desert, Well No. 5 کویر حاج‌علی‌قلی، چاه شماره ۵	1050	99
210	" 7.5' 27" 35	" 17.1' 20" 54	Khar Touran, Sand Dunes خارتوران، تپه‌های ماسه‌ای	1345	170
226	' 51" 35 " 54.7	" 28.1' 29" 54	Haj Ali Gholi Desert, Well No. 4 کویر حاج‌علی‌قلی، چاه شماره ۴	1050	99

شامل پنج مشاهده بود، تا دقت نتایج افزایش یابد. پیش از تیمار پرایمینگ، بذرها برای کاهش آلودگی میکروبی با محلول ۵ درصد هیپوکلریت سدیم ضدعفونی سطحی شدند. سپس به مدت ۳۶ ساعت در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد تحت تیمار سرمای مرطوب قرار گرفتند. پس از این مرحله، بذرها به مدت ۲۴ ساعت در محلول‌های پرایمینگ شامل NaCl

آزمایش به صورت فاکتوریل ۶×۷، شامل شش جمعیت بذر (۲۴۰، ۲۰۴، ۲۳۷، ۲۱۰، ۲۲۶ و ۱۰۶) و هفت تیمار پرایمینگ اجرا شد. تیمارها شامل کلرید سدیم (NaCl) و نیترات پتاسیم (KNO₃) در سه غلظت مختلف (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار) و شاهد (آب مقطر) بودند. طرح آزمایشی به صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و هر تکرار

مقطر برای حفظ رطوبت افزوده گردید. شمارش اولیه جوانه‌زنی در روز دوم و شمارش نهایی در پایان روز چهاردهم انجام گرفت (لازم به ذکر است، که انجام شمارش نهایی در روز چهاردهم به منظور ثبت حداکثر جوانه‌زنی بالقوه بوده و به معنای جوانه‌زنی تمامی بذرها در روز چهاردهم نیست، بلکه اغلب بذرها در روزهای ابتدایی آزمون جوانه زده‌اند). درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و سرعت تجمعی جوانه‌زنی بر اساس روش ماگویر (Maguire, 1974) محاسبه شد. میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT)، نیز با استفاده از فرمول ارائه‌شده توسط متیوز و خواجه‌حسینی (Matthews and Khajeh-Hosseini, 2007) محاسبه گردید (رابطه ۱ تا ۴).

$$100 * \text{تعداد کل بذر} / \text{تعداد بذر جوانه زده} = \text{درصد جوانه‌زنی} \quad (۱)$$

$$\text{درصد جوانه‌زنی} * \text{میانگین طول گیاهچه} = \text{شاخص بنیه بذر} \quad (۲)$$

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{تعداد گیاه چه در روز آخر شمارش} + \dots + \frac{\text{تعداد گیاه چه در روز اول شمارش}}{\text{تعداد روز تا شمارش اول}} = \text{سرعت تجمعی جوانه‌زنی}$$

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{MGT} = \frac{\sum(n_i \times t_i)}{\sum n_i}$$

n_i : تعداد بذرهایی که در زمان t_i جوانه زده‌اند

t_i : زمان از آغاز آزمایش تا جوانه‌زنی n_i بذر

$\sum n_i$: مجموع کل بذرهایی جوانه زده

واریانس (ANOVA) و آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ درصد ($P = 0.01$) استفاده گردید. همچنین، خوشه‌بندی با روش k-means انجام و جداول و نمودارها توسط نرم‌افزار Excel 2019 ترسیم شدند

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

نتایج جدول ۲ نشان داد، که اثر جمعیت، پرایمینگ و برهم‌کنش جمعیت \times پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، که بیانگر پاسخ‌های متفاوت جمعیت‌ها به تیمارهای پرایمینگ است. این تفاوت واکنش‌ها، به‌وضوح در شکل ۱ مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که تمامی تیمارهای نمکی در مقایسه با شاهد، موجب تغییر معنی‌دار درصد جوانه‌زنی در جمعیت‌های مورد بررسی شدند. در میان تیمارهای اعمال‌شده، پرایمینگ با ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl، مؤثرترین تیمار در افزایش درصد جوانه‌زنی بود و در چندین جمعیت برتری مشخصی نسبت

یا KNO_3 در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار خیسانده شدند (غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار KNO_3 و NaCl بر اساس مطالعات پیشین انجام‌شده بر گونه‌های جنس *Salsola* و سایر گیاهان مرتعی شورپسند انتخاب شدند، به‌گونه‌ای که دامنه‌ای از تنش ملایم تا متوسط را بدون ایجاد اثرات بازدارنده شدید بر جوانه‌زنی پوشش دهند). گروه شاهد نیز در آب مقطر با همان مدت قرار داده شد. ده عدد بذر از هر تیمار در پتری‌دیش‌های ۹ سانتی‌متری حاوی کاغذ صافی Whatman No. 42 (قطر ۱۲۵ میلی‌متر) قرار داده شدند. در هر پتری‌دیش، ۵ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده شد، تا رطوبت تأمین شود. ظروف پتری به مدت ۱۴ روز داخل ژرمیناتور با دمای ثابت (۲۵ درجه سانتی‌گراد) و میزان روشنایی ۱۶ ساعت و تاریکی ۸ ساعت در روز قرار داده شدند. در طول این مدت، روزانه ۱ تا ۲ میلی‌لیتر آب

رابطه (۱)

رابطه (۲)

رابطه (۳)

رابطه (۴)

همچنین خوشه‌بندی داده‌ها با استفاده از الگوریتم K میانگین (K-means) انجام شد. در این مطالعه، تعداد خوشه‌ها سه عدد ($K=3$) در نظر گرفته شد و الگوریتم با دو بار تکرار اجرا گردید. در هر تکرار، هر نمونه داده بر اساس فاصله اقلیدسی به نزدیک‌ترین مرکز خوشه تخصیص داده شد. پس از اتمام فرآیند تکراری، مرکز نهایی خوشه‌ها محاسبه شد و مشاهده شد، که مراکز خوشه‌ها در آخرین تکرار به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند. همچنین، فواصل بین مراکز خوشه‌ها پس از آخرین مرحله الگوریتم محاسبه و به صورت ماتریس پایین‌مثلثی نمایش داده شد، که روی قطر اصلی آن صفر مشاهده می‌شود. این محاسبات به منظور بررسی نزدیکی و تمایز خوشه‌ها انجام گرفت. برای تعیین اثربخشی خوشه‌بندی، تجزیه واریانس بین خوشه‌ای (ANOVA) برای هر صفت انجام شد. تمامی محاسبات با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از تجزیه

سازگاری این جمعیت با هر دو منبع یونی در غلظت‌های مشخص است. همچنین، در جمعیت ۲۰۴، تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl با ۵۳،۳۳ درصد جوانه‌زنی، به‌عنوان مؤثرترین تیمار شناخته شد و فاصله معنی‌داری با سایر تیمارهای این جمعیت ایجاد کرد.

دو تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl، بیشترین درصد جوانه‌زنی ۴۳،۳ درصد را در جمعیت ۱۰۶، رقم زدند، که نشان می‌دهد این جمعیت در دامنه وسیع‌تری از غلظت

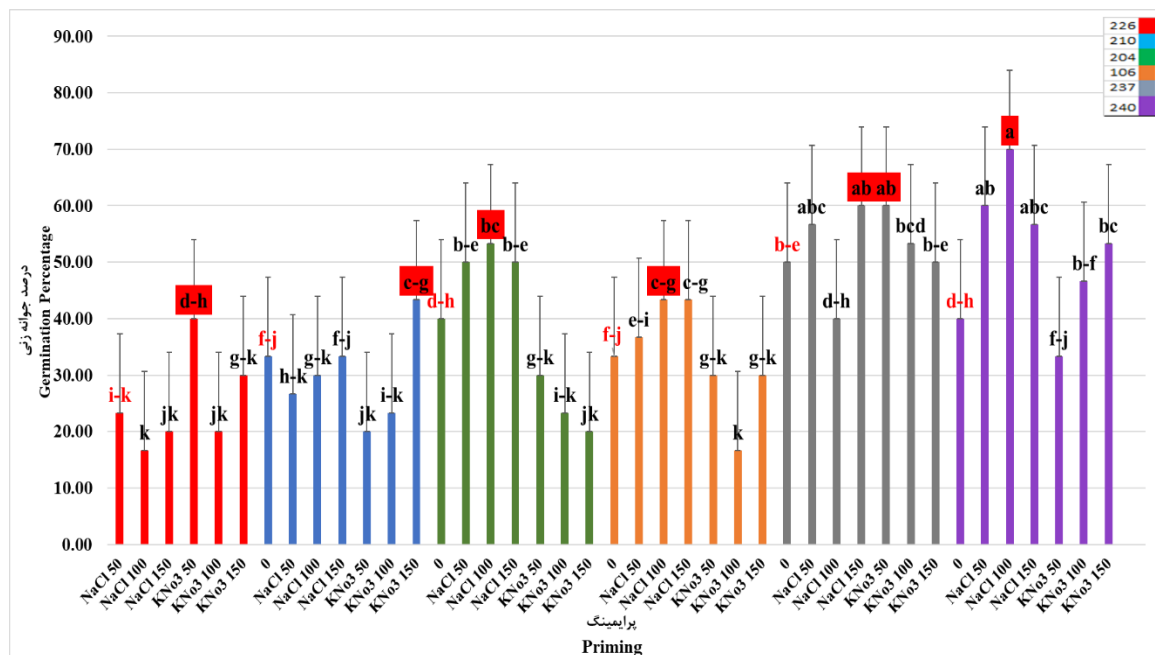
به سایر تیمارها نشان داد. به‌عنوان مثال، در جمعیت ۲۴۰، این تیمار با دستیابی به حداکثر درصد جوانه‌زنی (۷۰ درصد)، بالاترین مقدار ثبت‌شده در کل آزمایش را به خود اختصاص داد. این موضوع، بیانگر توان بالای این جمعیت در بهره‌گیری از پرایمینگ نمکی در غلظت متوسط NaCl است.

در جمعیت ۲۳۷، الگوی پاسخ متفاوت بود؛ به‌طوری‌که تیمارهای ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl و ۵۰ میلی‌مولار KNO₃، هر دو با ایجاد درصد جوانه‌زنی حدود ۶۰ درصد، عملکرد برتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند، که حاکی از

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر جمعیت و پرایمینگ بر صفات جوانه زنی

Table 2- Analysis of variance (ANOVA) for the effects of population and priming on germination traits

منابع تغییرات of Variation	درجه آزادی Degrees of Freedom (df)	میانگین مربعات				
		درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	میانگین طول گیاهچه Mean Seedling Length	شاخص بنیه بذر Seed Vigor Index	سرعت تجمعی جوانه‌زنی Cumulative Germination Rate	میانگین زمان جوانه‌زنی Mean Germination Time
جمعیت Population	5	2523.33**	155.87**	1417107.23**	174.61**	0.214ns
پرایمینگ Priming	2	216.67**	15.46**	1715.87**	20.33**	0.614 ns
تکرار Replication	6	387.83	111.65	456366.16	37.17	0.442
جمعیت × پرایمینگ Population × Priming	30	301.48**	14.60**	106191.71**	24.00**	0.395ns
خطا Error	82	59.76	3.65	5189.83	1.15	0.475



شکل ۱- اثر متقابل پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) (برای

مشخصات جمعیت‌ها رجوع شود به جدول یک)

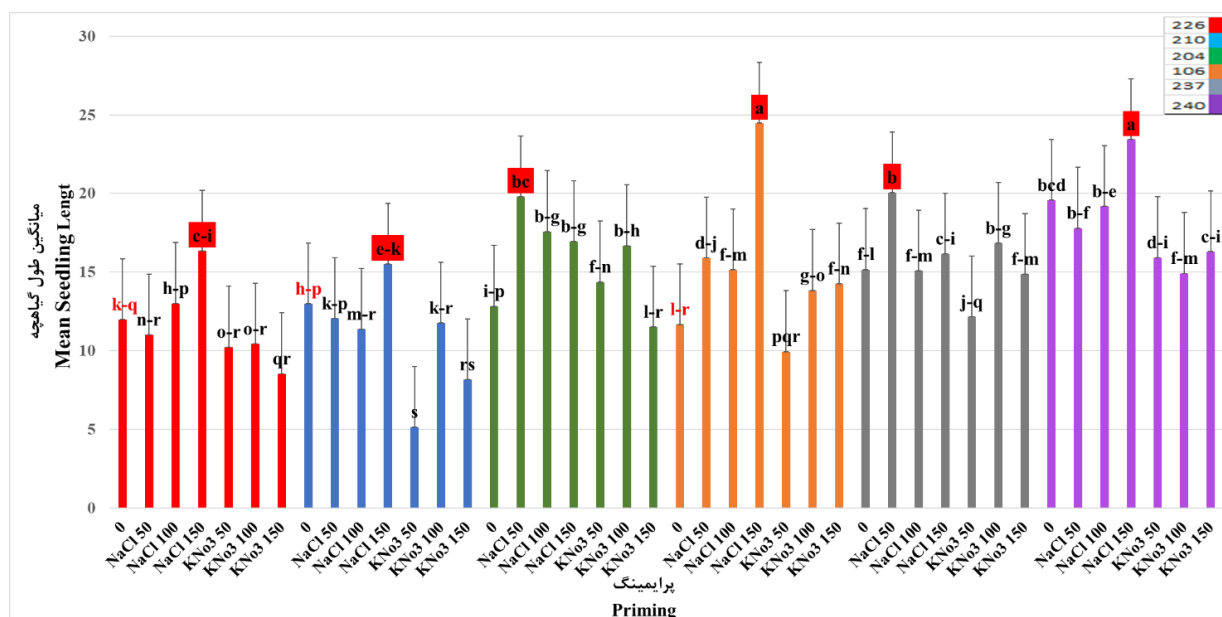
Figure 1 – Interaction effect of priming on the germination percentage of different *Salsola rigida* populations (for population characteristics, see table 1)

مطابق شکل ۲، تمامی تیمارهای املاح در مقایسه با شاهد موجب افزایش معنی‌دار طول گیاهچه در همه جمعیت‌ها شدند، هرچند شدت این پاسخ‌ها بین جمعیت‌ها متفاوت بود. در این میان، تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl در چندین جمعیت عملکرد برتری نشان داد؛ به طوری که در جمعیت‌های ۱۰۶ و ۲۴۰ به ترتیب با میانگین طول گیاهچه ۲۳٫۴ و ۲۴٫۵ میلی‌متر، بیشترین مقادیر ثبت شد. در مقابل، در جمعیت‌های ۲۳۷ و ۲۰۴، بیشترین افزایش طول گیاهچه تحت تأثیر ۵۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد، که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این جمعیت‌ها به غلظت‌های پایین‌تر نمک است. همچنین، در جمعیت‌های ۲۲۶ و ۲۱۰ نیز تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به ترتیب با ۱۶٫۳ و ۱۵٫۵ میلی‌متر، بیشترین اثر افزایشی را بر رشد گیاهچه اعمال کرد. به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد، که اگرچه پاسخ جمعیت‌ها به تیمارهای پرایمینگ متفاوت بود، اما غلظت بالاتر NaCl در برخی جمعیت‌ها، نقش مؤثرتری در تحریک رشد گیاهچه ایفا کرده است.

NaCl پاسخ مطلوبی به پرایمینگ نشان می‌دهد. در مقابل، بیشترین درصد جوانه‌زنی در جمعیت ۲۱۰ تحت تأثیر ۱۵۰ میلی‌مولار KNO₃ مشاهده شد، در حالی که در جمعیت ۲۲۶، ۵۰ میلی‌مولار KNO₃، بیشترین اثر را بر بهبود جوانه‌زنی اعمال کرد. به طور کلی، نتایج نشان داد، که اگرچه پاسخ جمعیت‌ها به تیمارهای پرایمینگ متفاوت بود، اما تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl در مقایسه با سایر تیمارها، بیشترین و پایدارترین اثر افزایشی بر درصد جوانه‌زنی داشت و به ویژه در جمعیت‌های ۲۰۴، ۲۴۰ و ۱۰۶ نقش برجسته‌تری ایفا کرد. این یافته‌ها بر اهمیت در نظر گرفتن تفاوت‌های ژنتیکی جمعیت‌ها در تعیین غلظت بهینه پرایمینگ تأکید می‌کند.

طول میانگین گیاهچه

نتایج جدول ۲ نشان داد، که اثر جمعیت، پرایمینگ و برهم‌کنش جمعیت × پرایمینگ، بر طول میانگین گیاهچه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، که بیانگر واکنش‌های متفاوت جمعیت‌ها به تیمارهای نمکی است.



شکل ۲- اثر متقابل پرایمینگ بر میانگین طول گیاهچه جمعیت‌های مختلف (*Salsola rigida*) برای مشخصات جمعیت‌ها رجوع شود به جدول یک)

Figure 2 – Interaction effect of priming on the average seedling length of different *Salsola rigida* populations (for population characteristics, see table 1)

تفاوت جمعیت‌ها به تیمارهای پرایمینگ است. این تفاوت‌ها در شکل ۳ به روشنی قابل مشاهده است؛ به گونه‌ای که تمامی تیمارها در مقایسه با شاهد موجب افزایش

شاخص بنیه بذر

بر اساس نتایج جدول ۲، اثر جمعیت، پرایمینگ و برهم‌کنش این دو عامل بر شاخص بنیه بذر در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود، که نشان‌دهنده پاسخ‌های

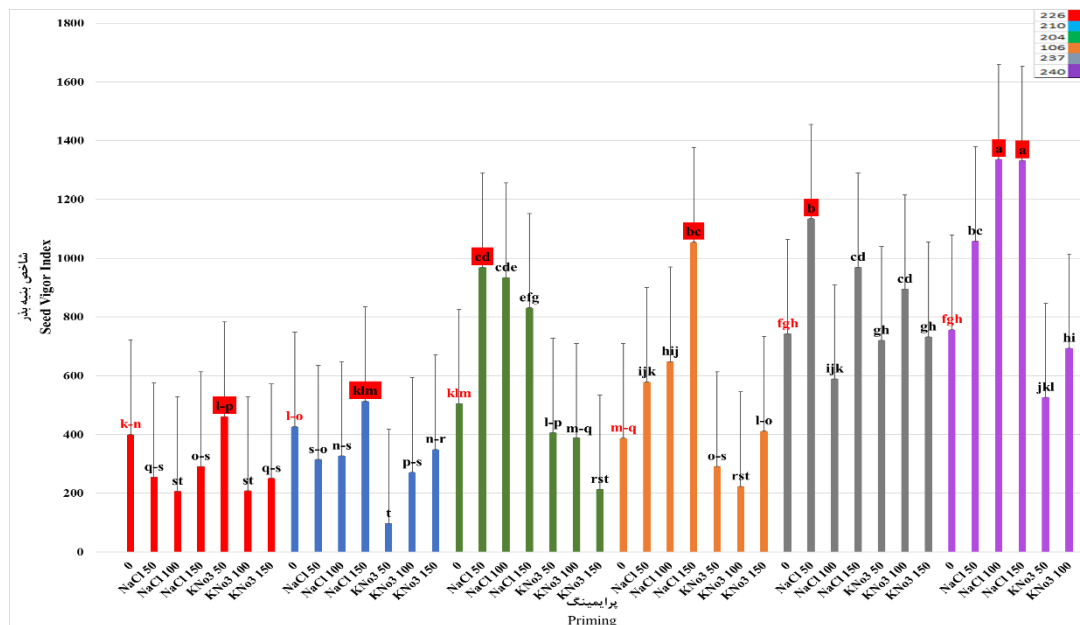
داد و تیمار ۱۵۰ میلی مولار NaCl با مقدار ۱۰۵۵ بیشترین تأثیر را بر بنیه بذر آن داشت، که می‌تواند حاکی از تحمل نسبی بالاتر این جمعیت به شوری باشد.

الگوی پاسخ در سایر جمعیت‌ها نیز یکنواخت نبود؛ به‌گونه‌ای که بیشترین شاخص بنیه بذر در جمعیت ۲۰۴ با تیمار ۵۰ میلی مولار NaCl، در جمعیت ۲۱۰ با تیمار ۱۵۰ میلی مولار NaCl و در جمعیت ۲۲۶ با تیمار ۵۰ میلی مولار KNO₃ مشاهده شد. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد، که واکنش جمعیت‌ها به نوع و غلظت پرایمینگ به شدت وابسته به ویژگی‌های ژنتیکی و بوم‌شناختی آن‌هاست. در مجموع، تیمار ۱۵۰ میلی مولار NaCl، به‌ویژه در جمعیت‌های ۲۴۰، ۱۰۶ و ۲۱۰، اثر برجسته‌تری در تقویت شاخص بنیه بذر نشان داد

معنی‌دار شاخص بنیه بذر شدند، اما شدت این افزایش به جمعیت و نوع تیمار وابسته بود.

در میان جمعیت‌های مورد بررسی، جمعیت ۲۴۰، بیشترین حساسیت و پاسخ مثبت را به پرایمینگ نمکی نشان داد؛ به‌طوری‌که تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی مولار NaCl با ثابت مقادیر ۱۳۳۷ و ۱۳۳۲، بالاترین شاخص بنیه بذر را در این جمعیت ایجاد کردند. این نتیجه، بیانگر توان بالای این جمعیت در بهره‌برداری از شرایط تنش ملایم نمکی برای بهبود بنیه بذر است.

در جمعیت ۲۳۷، بیشترین شاخص بنیه بذر تحت تأثیر ۵۰ میلی مولار NaCl ۱۱۳۴ به دست آمد، که نشان می‌دهد، این جمعیت در غلظت‌های پایین‌تر نمک عملکرد بهتری دارد. در مقابل، جمعیت ۱۰۶ واکنش متفاوتی نشان



شکل ۳- اثر متقابل پرایمینگ و جمعیت در شاخص بنیه بذر جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) (برای مشخصات جمعیت‌ها رجوع شود به جدول یک)

Figure 3 – Interaction effect of priming and population on the seedling vigor index of different *Salsola rigida* populations (for population characteristics, see table 1)

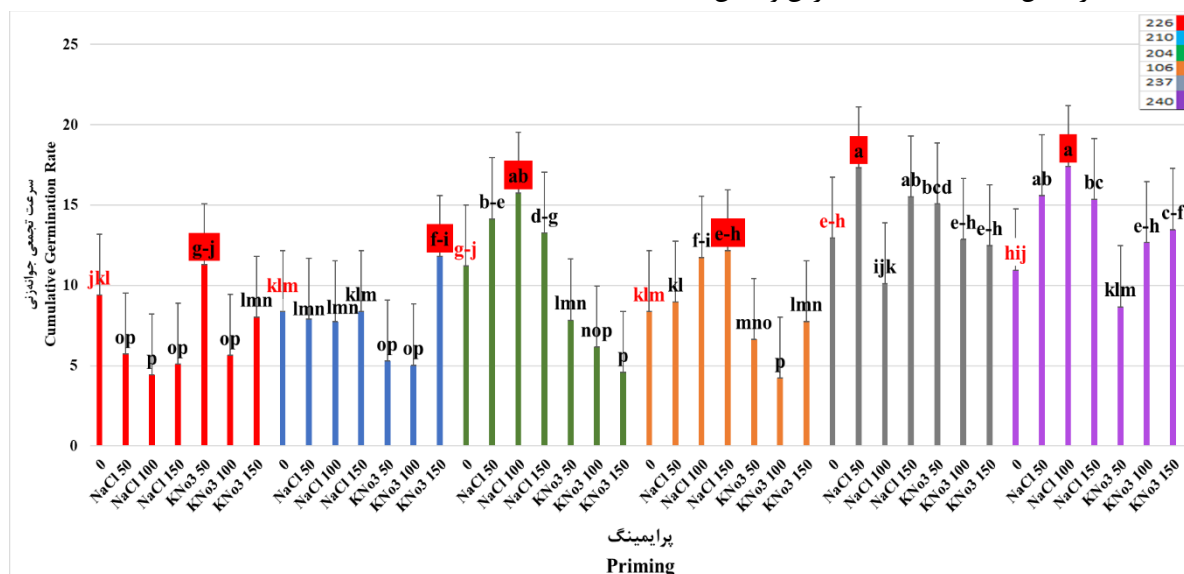
با تیمار شاهد شده است. با این حال، شدت پاسخ‌ها در میان جمعیت‌ها یکسان نبود. در جمعیت ۲۴۰، تیمار ۱۰۰ میلی مولار NaCl با ثابت مقدار ۱۷,۴۰، بیشترین افزایش سرعت تجمع‌ی جوانه‌زنی را رقم زد و عملکردی برتر نسبت به سایر تیمارها نشان داد. در جمعیت ۲۳۷، بیشینه این شاخص در غلظت پایین‌تر نمک مشاهده شد؛ به‌طوری‌که، تیمار ۵۰ میلی مولار NaCl با مقدار ۱۷,۳۰ مؤثرترین تیمار در تسریع جوانه‌زنی این جمعیت بود.

سرعت تجمع‌ی جوانه‌زنی

نتایج ارائه‌شده در جدول ۲ بیانگر آن است، که سرعت تجمع‌ی جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عامل جمعیت، تیمار پرایمینگ و برهم‌کنش این دو قرار گرفته است؛ به‌گونه‌ای که این اثرات در سطح احتمال ۱ درصد از نظر آماری تأیید شدند. این الگو در شکل ۴ به‌خوبی قابل مشاهده است و نشان می‌دهد، که اعمال تیمار نمک، در تمامی جمعیت‌ها موجب تسریع فرایند جوانه‌زنی در مقایسه

خود را در غلظت بالاتر نشان داد؛ به گونه‌ای که تیمار ۱۵۰ میلی مولار NaCl با مقدار ۱۲,۱۶ بیشترین سرعت جوانه‌زنی را در این جمعیت ایجاد کرد.

در جمعیت ۲۰۴، بیشترین سرعت تجمعی جوانه‌زنی تحت تأثیر ۱۰۰ میلی مولار NaCl و با مقدار ۱۵,۷۵ حاصل شد، که بیانگر پاسخ بهینه این جمعیت در غلظت‌های میانی نمک است. در مقابل، جمعیت ۱۰۶، بیشترین واکنش مثبت



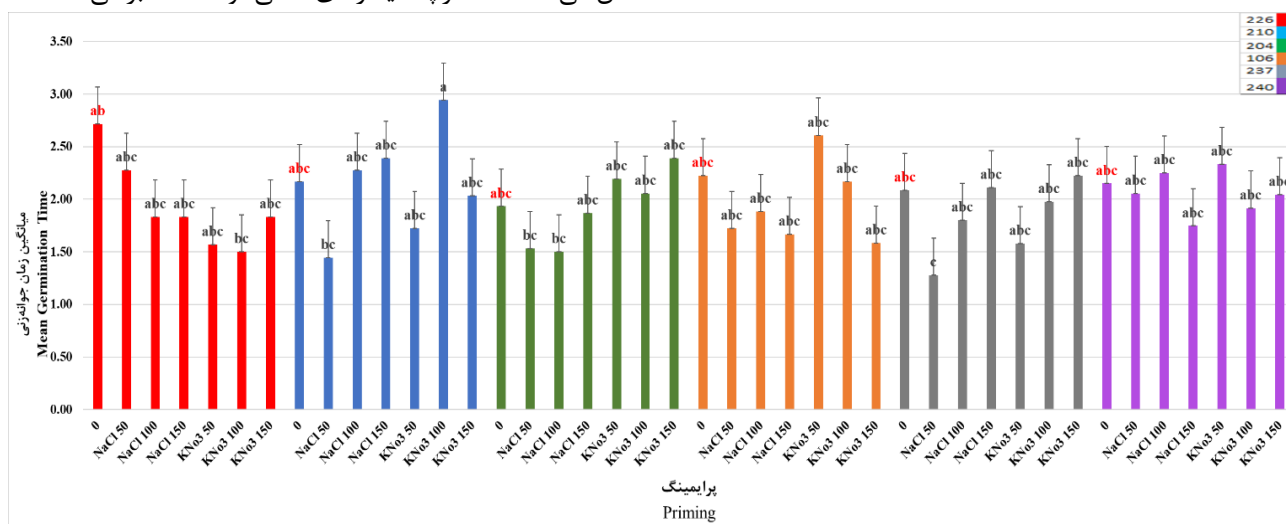
شکل ۴- اثر متقابل پرایمینگ و جمعیت در سرعت جوانه‌زنی جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) (برای مشخصات جمعیت‌ها رجوع شود به جدول یک)

Figure 4 – Interaction effect of priming and population on the germination rate of different *Salsola rigida* populations (for population characteristics, see table 1)

پرایمینگ و برهم‌کنش آن‌ها قرار نگرفت. مطابق با این یافته، شکل ۵ نیز، فقدان اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای نمکی و شاهد را در تمامی جمعیت‌ها تأیید کرد. این یافته‌ها نشان می‌دهد، که اگرچه تیمارهای نمکی توانسته‌اند برخی

میانگین زمان جوانه‌زنی

برخلاف سایر صفات جوانه‌زنی، نتایج جدول ۲ نشان داد، که میانگین زمان جوانه‌زنی تحت تأثیر جمعیت،



شکل ۵- اثر متقابل پرایمینگ و جمعیت در میانگین مدت جوانه‌زنی جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) (برای مشخصات جمعیت‌ها رجوع شود به جدول یک)

Figure 5 – Interaction effect of priming and population on the mean germination time of different *Salsola rigida* populations (for population characteristics, see table 1)

دلیل عدم معنی‌داری از تحلیل خوشه‌بندی حذف شدند. با توجه به جدول ۴، نتایج نشان می‌دهد، که هر جمعیت به کدام خوشه اختصاص یافته و فاصله آن از مرکز خوشه مربوطه چقدر است. به عنوان مثال، جمعیت‌های ۲۲۶ و ۲۰۴ به خوشه ۱ تعلق دارند و فاصله آن‌ها از مرکز خوشه ۰،۷۳۴ است، جمعیت‌های ۲۱۰ و ۱۰۶ به خوشه ۲ تعلق دارند و فاصله آن‌ها از مرکز خوشه ۱،۰۵۵ است و جمعیت‌های ۲۳۷ و ۲۴۰ به خوشه ۳ تعلق دارند و فاصله آن‌ها از مرکز خوشه ۱،۱۶۳ است. مقادیر کمتر فاصله بیانگر نزدیکی بیشتر جمعیت به مرکز خوشه و صحت بالاتر تخصیص آن است. جمعیت‌های ۲۲۶ و ۲۰۴ در خوشه ۱، جمعیت‌های ۲۱۰ و ۱۰۶ در خوشه ۲ و جمعیت‌های ۲۳۷ و ۲۴۰ در خوشه ۳ قرار گرفتند.

صفات جوانه‌زنی و رشدی را بهبود بخشند، اما تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش زمان آغاز جوانه‌زنی نداشته‌اند و در برخی موارد حتی روند افزایشی نشان داد. بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار KNO_3 و جمعیت ۲۱۰ (۲،۹۲) روز مشاهده شد، اما این افزایش زمان جوانه‌زنی از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها نشان نداد.

خوشه‌بندی صفات جوانه‌زنی

مطابق با نتایج جدول ۳ آمده، تجزیه واریانس بین خوشه‌ای (ANOVA) برای صفات مورد بررسی نشان داد، که درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر تفاوت معنی‌دار بین خوشه‌ها دارند، که نشان‌دهنده اثرگذاری بیشتر خوشه‌بندی در این صفات نسبت به سایر صفات است. سایر صفات به

جدول ۳- تجزیه واریانس متغیرهای گروه‌بندی در صفات جوانه‌زنی با روش k میانگین

Table 3 - Analysis of variance for grouping variables in germination traits using the k-means method

صفات جوانه‌زنی Germination Traits	خوشه Cluster		خطا Error		مقدار F-Value	سطح معنی‌داری Significance Level
	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی Degrees of Freedom	میانگین مربعات (Error) Mean Square (Error)	درجه آزادی (Error) Degrees of Freedom (Error)		
درصد جوانه‌زنی Germination Percentage	2.452	2	0.032	3	76.138	0.003
میانگین طول گیاهچه Mean Seedling Length	1.698	2	0.535	3	3.173	0.182
شاخص بنیه بذر Seed Vigor Index	2.481	2	0.012	3	200.683	0.001
سرعت تجمعی جوانه‌زنی Cumulative Germination rate	1.971	2	0.352	3	5.595	0.097
میانگین مدت جوانه‌زنی Mean Germination Duration	0.893	2	1.071	3	0.834	0.515

جدول ۴- عضویت خوشه‌ها در جمعیت‌های مختلف گونه سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)

Table 4- Cluster membership in different populations of the species *Salsola rigida*

Cluster Membership عضویت خوشه		
جمعیت Cluster	خوشه Population	فاصله Distance
226	1	0.734
210	2	1.055
204	1	0.734
106	2	1.055
237	3	1.163
240	3	1.163

بحث

تحمل القاشده در بذر ایجاد می کند (Paparella *et al.*, 2015; Farooq *et al.*, 2017).

به طور کلی، بذره‌های تیمار شده به دلیل بهینه‌سازی فاز دوم جوانه‌زنی، سرعت و درصد جوانه‌زنی بالاتری نسبت به بذره‌های تیمار نشده دارند. تیمار نمک با کاهش زمان مورد نیاز برای انجام فرآیندهای متابولیکی در این فاز، جوانه‌زنی را تسریع می‌کند. کلرید سدیم از طریق تنظیم پتانسیل اسمزی محیط، استرس آبی را کاهش داده و شرایط مناسب‌تری برای جوانه‌زنی فراهم می‌سازد. همچنین، عنصر سدیم با تنظیم تعادل یونی و افزایش فعالیت‌های متابولیکی بذر، موجب تسریع جوانه‌زنی می‌شود. علاوه بر این، NaCl می‌تواند با کاهش تنش‌های اکسیداتیو و بهبود جذب عناصر غذایی، شرایط مساعدتری برای جوانه‌زنی ایجاد کند (Pedram *et al.*, 2019).

برخلاف درصد جوانه‌زنی که بیشتر نشان‌دهنده توان بذر برای آغاز رشد است، طول گیاهچه بازتاب‌دهنده موفقیت بذر در تداوم رشد پس از جوانه‌زنی می‌باشد. افزایش طول گیاهچه در اثر تیمار نمک نشان می‌دهد، که اثر این تیمارها محدود به مرحله آغاز جوانه‌زنی نبوده و رشد اولیه گیاهچه را نیز تحت تأثیر قرار داده است (Farhudi and Khoraki, 2020). نتایج این پژوهش نشان داد، که تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl نقش برجسته‌ای در تحریک رشد گیاهچه ایفا کرده و در جمعیت‌های ۲۴۰، ۱۰۶، ۲۱۰ و ۲۲۶ بیشترین افزایش طول گیاهچه مشاهده شد. به نظر می‌رسد افزایش سرعت جوانه‌زنی در بذره‌های تیمار شده موجب تولید گیاهچه‌هایی با رشد سریع‌تر و بنیه بالاتر نسبت به شاهد شده است (Mousavi Bazzaz & Nemati, 2023).

بهبود شاخص بنیه بذر ارتباط مستقیمی با افزایش درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه دارد. در این مطالعه نیز تیمار نمک بذر منجر به افزایش هم‌زمان این دو صفت و در نتیجه ارتقای شاخص بنیه بذر شد، که با گزارش صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2022) همخوانی دارد. همچنین، یلدریم و یلماز (Yıldırım and Yılmaz, 2023) بیان کردند، که افزایش رشد گیاهچه و درصد جوانه‌زنی به‌طور مستقیم باعث افزایش شاخص بنیه بذر می‌شود. بیشترین مقدار این شاخص در پژوهش حاضر در جمعیت ۲۴۰ و تحت تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl مشاهده شد، که بیانگر نقش مثبت تیمار نمک در بهبود کیفیت جوانه‌زنی است.

تنش شوری، یکی از عوامل مهم محدودکننده جوانه‌زنی بذر است، که با کاهش پتانسیل اسمزی محیط، جذب آب توسط بذر را مختل کرده و رشد گیاهچه را کاهش می‌دهد. با این حال، تیمار نمک بذر با غلظت‌های مناسب می‌تواند اثرات منفی شوری را تا حد زیادی تعدیل کرده و حتی موجب بهبود صفات جوانه‌زنی شود (Aydınoglu *et al.*, 2019).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، که اثر جمعیت، تیمار نمک و برهم‌کنش آن‌ها بر اکثر صفات جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بنیه بذر و سرعت تجمع جوانه‌زنی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این نتایج، بیانگر واکنش متفاوت جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) به تیمار نمک است. در حالی که اثر جمعیت، تیمار نمک و برهم‌کنش آن‌ها بر چهار صفت جوانه‌زنی معنی‌دار بود، اثر این عوامل بر زمان متوسط جوانه‌زنی معنی‌دار نشد. این نتیجه با گزارش موسوی و امید (Omid and Mousavi, 2020) در گونه کینوا (*Chenopodium quinoa*)، که معنی‌داری زمان متوسط جوانه‌زنی را گزارش کردند، همخوانی ندارد و می‌تواند ناشی از تفاوت در شرایط آزمایش یا ویژگی‌های گونه‌ای باشد (DeRose-Wilson and Gaut, 2011).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، که الگوی پاسخ جمعیت‌ها به تیمارهای نمک متفاوت بوده و نوع و غلظت نمک نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود درصد جوانه‌زنی ایفا کرده است. در مقایسه با شاهد، تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl در جمعیت‌های ۲۰۴، ۲۴۰ و ۱۰۶ بیشترین اثر مثبت را بر افزایش درصد جوانه‌زنی نشان داد. افزون بر این، در جمعیت‌های ۲۴۰ و ۲۰۴، این تیمار موجب افزایش معنی‌دار سرعت تجمع جوانه‌زنی نیز گردید، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت تیمار نمک بر یکنواختی و سرعت جوانه‌زنی است.

برتری تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl در افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در اغلب جمعیت‌ها نشان می‌دهد، که تنش شوری ملایم می‌تواند به‌جای ایجاد محدودیت، به‌عنوان یک محرک فیزیولوژیکی عمل کند. گزارش شده است، که تیمار نمک با فعال‌سازی زود هنگام مسیرهای متابولیکی، افزایش جذب آب و بهبود بسیج ذخایر بذر، نوعی

قابل توجهی صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه جمعیت‌های مختلف سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*) را بهبود می‌بخشد. نتایج حاصل از درصد جوانه‌زنی، طول گیاهچه، شاخص بنیه بذر و سرعت تجمع‌ی جوانه‌زنی نشان‌دهنده واکنش متفاوت جمعیت‌ها به تیمارهای پرایمینگ بود و بیانگر نقش تعیین‌کننده ویژگی‌های ژنتیکی و بوم‌شناختی جمعیت‌ها در پاسخ به این تیمارها است. به طور مشخص، تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl درصد جوانه‌زنی جمعیت ۲۴۰ را به ۷۰ درصد رساند، که بالاترین مقدار ثبت‌شده در کل آزمایش بود. طول گیاهچه در این جمعیت تحت تیمار ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به ۲۳٫۴ میلی‌متر رسید، در حالی که جمعیت ۱۰۶ با همان تیمار طول گیاهچه‌ای معادل ۲۴٫۴۷ میلی‌متر داشت، که بیشترین مقدار بین جمعیت‌ها بود. شاخص بنیه بذر در جمعیت ۲۴۰ تحت تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به ترتیب ۱۳۳۷ و ۱۳۳۲ ثبت شد، که بالاترین مقادیر در میان تمام جمعیت‌های مورد بررسی بودند و سرعت تجمع‌ی جوانه‌زنی در تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl به ۱۷٫۴۰ رسید، که بهترین عملکرد نسبت به سایر تیمارها را نشان داد.

این یافته‌ها نشان می‌دهد، که پرایمینگ نه تنها توانایی بذر در آغاز جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد، بلکه رشد گیاهچه و شاخص بنیه بذر را نیز تقویت می‌کند و در نتیجه موفقیت استقرار اولیه گیاه در شرایط شور و خشک بهبود می‌یابد. اهمیت این موضوع در استفاده از روش‌های ساده، کم‌هزینه و عملیاتی مانند پرایمینگ بذر برای احیای مراتع شور و کنترل بیابان‌زایی مشهود است. در نهایت، با توجه به کمبود آب در ایران، پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های تنش خشکی همراه با تنش شوری با استفاده از شاخص‌های کلیدی اندازه‌گیری، به منظور تعیین مقاومت جمعیت‌های مختلف گونه سالسولا ریجیدا (*s.rigida*) انجام شود. همچنین توصیه می‌شود از سایر نمک‌ها مانند کلرید کلسیم، کلرید پتاسیم و غیره استفاده شود، تا مشخص گردد این نمک‌ها تا چه میزان بر درصد جوانه‌زنی این گونه تأثیرگذار هستند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مسئولین مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان قدردانی می‌شود.

نتایج این مطالعه با یافته‌های دادمند (*Dadmand et al. 2022*) در گونه هالوکنوم (*Halocnemum strobilaceum*) همخوانی دارد؛ به‌طوری که تیمار ۱۰۰ میلی‌مولار کلرید سدیم بیشترین تأثیر مثبت را بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، طول گیاهچه و شاخص بنیه بذر نشان داد. همچنین دربالی و همکاران (*Derbali et al., 2021*) با بررسی اثر غلظت‌های مختلف NaCl (۰ تا ۲۰۰ میلی‌مولار) در پنج رقم از گونه کینوا (*Chenopodium quinoa*) گزارش کردند، که بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تمامی ارقام در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در مقابل، پژوهش فرزین و کریمیان (*Farzin and Karimian, 2023*) نشان داد، که تنش شوری ناشی از کلرید سدیم (در غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ میلی‌مول) در گونه های قیچ (*Zygophyllum eurypterum*) و سالسولا (*Salsola rigida*, *Salsola orientalis*) منجر به بالاترین مقادیر صفات جوانه‌زنی در تیمار شاهد شد، که با نتایج مطالعه حاضر متفاوت است. تفاوت معنی‌دار پاسخ جمعیت‌های مختلف به تیمارهای نمک، نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در میان این جمعیت‌هاست. چنین تنوعی باعث می‌شود، که جمعیت‌ها از نظر میزان تحمل و کارایی جوانه‌زنی در شرایط شور عملکرد یکسانی نداشته باشند. وجود این اختلافات ژنتیکی، فرصت مناسبی را برای شناسایی و انتخاب جمعیت‌هایی فراهم می‌کند، که از نظر صفات جوانه‌زنی و بنیه بذر در شرایط تنش شوری عملکرد برتری دارند (*DeRose-Wilson and Gaut, 2011*).

شناسایی جمعیت‌های برتر گونه سالسولا ریجیدا (*Salsola rigida*)، از نظر تحمل شوری می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌های اصلاحی، تولید بذر و احیای اراضی شور و مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا کند. استفاده از این جمعیت‌ها، احتمال استقرار موفق گیاهچه‌ها را در شرایط نامساعد محیطی افزایش داده و موجب بهبود کارایی طرح‌های احیایی و تثبیت پوشش گیاهی می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر نشان داد، که پرایمینگ بذر با کلرید سدیم (NaCl) و نیترات پتاسیم (KNO_3)، به ویژه در غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار کلرید سدیم، به طور

منابع

- Abbaspour, N., Mosayebi, M., Mohammadhani, N., and Rahmani, F. 2022. Effect of salinity on seed germination and biochemical characteristics of *Salsola crassa* seedlings. *Plant Research Journal (Iranian Biology Journal)*, 35(1), 137–148. 2360115ja (In Persian)(**Journal**)
- Al-Charchafchi, F. M. R., Clor, M. A., and Al-Feki, M. S. 1987. Some characteristics of seed germination in *Salsola rigida* in relation to aridity. *Journal of Arid Environments*, 13(2), 113–117. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)31130-3](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)31130-3) (**Journal**)
- Alizadeh, M. A., Forozesh, M., Sobhanian, H., Bachshi Khaneki, G., and Jafari, A. A. 2025. Enhancing the emergence characteristics of three populations of mountain thyme (*Thymus kotschyanus*) using different priming methods. *Journal of Rangeland Science (JRS)*, 15(1), 1–7. <https://dx.doi.org/10.57647/j.jrs.2025.1501.09> (In Persian)(**Journal**)
- Arrekhi, A., Niknahad, H., Bachinger, J., and Bloch, R. 2020. Optimization treatments for seed germination of *Salsola turcomanica* Litv and the effects of different salinity and drought levels. *Journal of Range Science*, 10(3), 315–324. <https://www.magiran.com/p2129722>. (In Persian)(**Journal**)
- Aydinoğlu, B., Shabani, A., and Safavi, S. M. 2019. Impact of priming on seed germination, seedling growth and gene expression in common vetch under salinity stress. *Cellular and Molecular Biology*, 65(3), 18–24. <https://doi.org/10.14715/cmb/2019.65.3.3> (**Journal**)
- Cheheltanan, L., Tehrani-Far, A., Shour, M., Ne'mati, S. H., and Khosravi, S. 2024. The effect of priming with gibberellic acid on improving the germination of seeds obtained from self-pollinated of different varieties of *Petunia hybrida*. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.22092/ijst.2024.364475.1510> (In Persian)(**Journal**)
- Dadmam, M., Salehi Shanjani, P., Rasoulzadeh, L., Asadi, M., and Falah Hosseini, L. 2022. Evaluation of the effect of storage and different priming methods on germination traits on *Halocnemum strobilaceum* accessions exist in the Natural Resources Gene Bank of Iran. *Iranian Journal of Seed Sciences and Research*, 9(2), 1–12. <https://doi.org/10.22124/jms.2022.6148> (In Persian)(**Journal**)
- Derbali, I., Manaa, A., Derbali, W., and Slama, I. 2021. Effects of osmotic stress on *Chenopodium quinoa* seed germination. *Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development*, 3(3), 30–35. <https://doi.org/10.56027/JOASD.spiss052021>(**Journal**)
- DeRose-Wilson, L., and Gaut, B. S. 2011. Mapping salinity tolerance during *Arabidopsis thaliana* germination and seedling growth. *PLOS ONE*, 6(8), e22832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022832> (**Journal**)
- Fanaei S, N., and Najat Zadeh, F. 2017. The role of seed priming in alleviating the effects of salt stress in the medicinal plant marjoram. *Journal of Cell and Molecular Biotechnology Advances*, 7(28), 41–44. <http://ncmbjpiu.ir/article-1-1031-fa.html> (**Journal**)
- Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., and Siddique, K. H. M. 2017. Salt stress in wheat: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(1), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-9> (**Journal**)
- Farzin, M., and Karimian, V. 2023. The effect of environmental stresses on germination and growth characteristics of seeds from three rangeland species (*Kochia*, *Salsola*, and *Halocnemum*) in the semi-arid regions of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Desert Management Journal*, 11(2), 17–34. <https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.2006339.1423> (**Journal**)
- Izadi, Z. 2013. Desert ecosystem: A case study of Iran. *Sepehr Journal of Geographic Information Research*, 22(1), 33–39. <https://doi.org/20.1001.1.25883860.1392.22.851.5.4> (In Persian)(**Journal**)
- Khorki, M., and Farhudi, R. 2020. Effects of halopriming on germination and seedling growth of single cross 704 maize under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 7(4), 447–461. <https://doi.org/10.22124/jms.2020.4642> (In Persian)(**Journal**)
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination: In selection and evaluation for seedling vigour. *Crop Science*, 2, 176–177. 140080ja (**Journal**)
- Manousaki, E., and Kalogerakis, N. 2011. Halophytes—An emerging trend in phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 13(10), 959–969. <https://doi.org/10.1080/15226514.2010.532241> (**Journal**)

- Matthews, S., and Khajeh-Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science and Technology*, 35(1), 200–212. <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.1.18> (**Journal**)
- Mousavi Bazzaz, A., and Nemati, H. 2023. Effect of seed priming on germination indices and plant growth of periwinkle (*Catharanthus roseus L.*) under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 10(3), 33–47. <https://doi.org/10.22124/jms.2023.7673> (In Persian)(**Journal**)
- Nasrollahi, M., Khosravi, H., and Moghaddamnia, A. 2018. Assessment of drought risk index using drought hazard and vulnerability indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(20). <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3971-y> (**Journal**)
- Omidi, H., and Mousavi, S. I. 2020. Evaluation of germination and growth indices of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) under salt stress. *Seed Research*, 10(1), pp.25–32. <https://sanad.iau.ir/Journal/seedresearch/Article/980743> (**Journal**)
- Paparella, S., Araujo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M., Carbonera, D., and Balestrazzi, A. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports*, 34(8), 1281–1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y> (**Journal**)
- Pedram, A., Tajebakhsh, M., Taleghani, D., and Ghiyasi, M. 2019. Effect of seed priming on sugar beet (*Beta vulgaris L.*) seedlings growth under salinity stress. *Journal of Sugar Beet*, 35(1), 45–62. <https://doi.org/10.22092/jsb.2019.121576.1189> (**Journal**)
- Saadat, S., Esmailnejad, L., Rezaei, H., and Mirkhani, R. 2023. A review of soil salinity status in rainfed lands of Iran. *Land Management*, 11(2), 147–160. <https://doi.org/10.22092/lmj.2023.361458.326> (**Journal**)
- Sabzi, M., Naseri, H., Azarneyvand, H., and Jafari, M. 2014. The effect of different salinity levels on germination and seed recovery of three rangeland species in Markazi Province (*Salsola rigida*, *Kochia prostrata*, *Eurotia ceratoides*). *Seed Research*, 4(10), pp.66–75. <https://sanad.iau.ir/Journal/seedresearch/Article/981005> (**Journal**)
- Saeedipour, S. 2024. Investigating the effect of pretreatment on germination and seedling growth of two rape cultivars (*Brassica napus L.*) under salt stress conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 13(3), 19–36. <https://doi.org/10.22092/ijst.2023.362784.1493> (In Persian)(**Journal**)
- Safari, A. R., Sadeghzadeh Hemayati, S., Moghafi, M., and Jalilian, A. 2022. The effect of seed processing methods on germination and establishment of sugar beet plants in the field. *Sugar Beet*, 38(1), 83-93. <https://doi.org/10.22092/jsb.2023.352161.1251> (**Journal**)
- Tavili, A., Ghanbari, N., and Yazdanshenas, H. 2015. The effect of salinity and drought stress on germination traits and seedling growth of *Salsola crassa* under laboratory and greenhouse conditions. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 2(1), 15–25. <https://doi.org/10.1001.1.24763780.1394.2.1.2.9> (In Persian)(**Journal**)
- Yıldırım, G. H., and Yılmaz, N. 2023. Germination physiology and optimum values in cereals. *Muş Alparslan (Journal)*
- Zarekia, S., and Abolghasemi, M. 2020. The genus *Salsola*: Capabilities and potentials (with an emphasis on the restoration of degraded rangelands and forage provision). *Nature of Iran*, 5(3), 79–86. <https://doi.org/10.22092/irn.2020.122117> (**Journal**)



Effect of priming treatments on seed germination traits of *Salsola rigida* populations

Shahrzad Tebyanian^{*1}, Hamidreza Asgari², Farzaneh Bahadori³, Mohammad Kia Kianian⁴,
Maryam Shahbazi⁵

Received: November 13, 2025

Accepted: December 21, 2025

Abstract

In arid and semi-arid regions, soil salinity is one of the most critical factors limiting seed germination and plant growth. The application of techniques such as seed priming can play a significant role in enhancing the germination capacity of native salt-tolerant plants. This study aimed to investigate the effects of seed priming with sodium chloride (NaCl) and potassium nitrate (KNO₃) solutions on the germination characteristics and early growth of *Salsola rigida*. The experiment was conducted using a completely randomized design (CRD) with NaCl and KNO₃ treatments at three concentrations (50, 100, and 150 mM), along with distilled water as a control. Seeds from six different populations were collected, disinfected, and subjected to moist stratification prior to priming treatments. Laboratory experiments were performed using a germinator. Measured germination indices included germination percentage, seedling length, seed vigor index, cumulative germination speed, and mean germination time. Data analysis was performed using SPSS software (version 27). The results indicated that seed priming with NaCl and KNO₃, particularly at concentrations of 100 and 150 mM NaCl, significantly improved the germination traits and early growth of various *Salsola rigida* populations. The 100 mM NaCl treatment in population 240 increased the germination percentage to 70% and the cumulative germination speed to 17.40. The highest mean seedling length was observed under the 150 mM NaCl treatment in population 240 (23.4 mm) and population 106 (24.47 mm). The seed vigor index for population 240 with 100 and 150 mM NaCl treatments was recorded at 1337 and 1332, respectively. These results demonstrate that priming not only increases seed germination but also strengthens seedling growth and vigor. Therefore, it can be used as a practical and low-cost method to improve the establishment success of salt-tolerant plants in arid and semi-arid regions. Furthermore, intra-specific population diversity plays a crucial role in the plant's ability to cope with stresses and pests.

Keywords: Seed Priming; Seed germination; Population; *Salsola rigida*

How to cite this article

Tebyanian, S., Asgari, H.R., Bahadori, F., Kianian, M.K. and Shahbazi, M. 2025. Effect of priming treatments on seed germination traits of *Salsola rigida* populations. Iranian Journal of Seed Science and Research, 12(3): 29-42. (In Persian)(Journal)

DOI: [10.22124/jms.2025.9414](https://doi.org/10.22124/jms.2025.9414)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0)

License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. MSc student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. shahrzad.tebani@gmail.com
2. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. hras2011@gmail.com
3. Research Assistant Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Semnan, Iran. farbahadorii@gmail.com
4. Assistant Professor, Faculty of Desert Study, Semnan University, Semnan, Iran. m_kianian@semnan.ac.ir
5. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. maryam_shahbazi@gau.ac.ir

*Corresponding author: shahrzad.tebani@gmail.com