

## Evaluation of seed germination of *Salicornia persica* under iso osmotic conditions using hydrotime and halotime models

Tayebeh Ataei Nasab<sup>1</sup>, Hamidreza Balouchi<sup>2\*</sup>, Ali Moradi<sup>3</sup>, Mohsen Movahhedi Dehnavi<sup>4</sup>

1. M.Sc. student of Seed Science and Technology, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
2. Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.
4. Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Iran.

**Citation:** Ataei Nasab, T., Balouchi, H., Moradi, A., & Movahhedi Dehnavi, M. (2023). Evaluation of Seed Germination of *Salicornia persica* under ISO Osmotic Conditions Using Hydrotime and Halotime Models. *Plant Productions*, 46(1), 79-90.

### Abstract

#### Introduction

Seedling germination and establishment are one of the most sensitive stages of plant life that play a role in plant production, proper plant establishment, plant density, and uniformity and management goals. Osmotic stress has a significant effect on germination percentage and rate. *Salicornia persica* is an annual halophyte plant that can grow in saline environments. According to the studies and the importance of determining the tolerances of salinity and drought tolerance in germination and plant establishment, this study aimed to investigate the effect of osmotic potentials of polyethylene glycol and sodium chloride on germination and fit of time-moisture and time-salinity models of *Salicornia* seeds.

#### Materials and Methods

In order to investigate the effect of osmotic potentials caused by polyethylene glycol and sodium chloride on germination and fit of Hydrotime and Halotime models of *Salicornia* seeds, two experiments were conducted based on a completely randomized design at Yasouj University in 2020. The first experimental in drought stress treatments included 13 levels of osmotic potential (zero, -0.3, -0.6, -0.9, -1.2, -1.5, -1.8, -2.1, -2.4, -2.7, -3, 3.3 and -3.6 MPa) which were made of polyethylene glycol 6000 and second in salinity stress included 13 levels of sodium chloride concentration that was iso-osmotic with first experiment (Zero, 62, 122, 187, 249, 311, 368, 435, 498, 560, 622, 684 and 745 mM). After the end of the germination period, the characteristics of germination rate and percentage were calculated and the hydrotime model was used to describe the relationship between germination and water potential, and the halotime model was used to describe the

---

\* Corresponding Author: Hamidreza Balouchi  
E-mail: balouchi@yu.ac.ir

relationship between germination and salinity. To select the best model among the osmotic potentials, root mean square parameters and  $R^2$  were used.

### Results and Discussion

The results of mean comparison of effect of osmotic potentials on the percentage of germination showed that in PEG and NaCl treatment, it was almost 100% up to the level of -1.2 and -1.5 MPa, respectively, and after that, a decreasing trend was observed, so that at the level of -3.3 MP showed a decrease of about 90 and 85%, respectively. The output results of the models showed that the coefficient of the hydrotime and halotime models were 96.8 MPa.h and 16181.87 mM.h, respectively, and the drought and salinity tolerance thresholds were -3.28 MPa and 714.62 mM, respectively. The halotime model quantified the germination of *Salicornia* seeds better than the hydrotime model. Drought stress limits the absorption of water by seeds and affects germination by reducing the movement and transfer of seed reserves or by directly affecting the structure and synthesis of protein in the embryo. Salinity increases the osmotic pressure of the solution and reduces water absorption through the seeds. On the other hand, high salinity causes toxicity and disturbs the ionic balance and reduces seed germination by affecting the vital interactions of the seed.

### Conclusion

The rate of decrease in germination rate and percentage in drought stress was higher than salinity stress. Based on the results of this study, using the halotime model in biological studies of halophyte plants under osmotic stress, the tolerance threshold and the time required for germination at different salt concentrations can be well determined.

**Keywords:** Germination index, Halotime model, Hydrotime model, Polyethylene glycol, Sodium chloride



## ارزیابی جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا (*Salicornia persica*) در شرایط ایزو اسمزی با استفاده از مدل‌های زمان رطوبتی و زمان شوری

طیبه عطایی نسب<sup>۱</sup>، حمیدرضا بلوچی<sup>۲\*</sup>، علی مرادی<sup>۳</sup>، محسن موحدی دهنوی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.
۲. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.
۴. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، ایران.

### چکیده

به منظور تعیین اثر پتانسیل‌های اسمزی ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول و کلرید سدیم بر جوانه‌زنی و برازش مدل‌های زمان-رطوبتی و زمان-شوری بذرهای سالیکورنیا دو آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه یاسوج در سال ۱۳۹۸ اجرا گردید. آزمایش اول تنش خشکی که شامل ۱۳ سطح پتانسیل اسمزی (صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲، ۱/۵، ۱/۸، ۲/۱، ۲/۴، ۲/۷، ۳، ۳/۳، ۳/۶- مگاپاسکال) و برای ایجاد آنها از پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ استفاده شد و آزمایش دوم تنش شوری که شامل ۱۳ سطح غلظت کلرید سدیم با اسمز مشابه آزمایش اول (صفر، ۶۲، ۱۲۲، ۱۸۷، ۲۴۹، ۳۱۱، ۳۶۸، ۴۳۵، ۴۹۸، ۵۶۰، ۶۲۲، ۶۸۴ و ۷۴۵ میلی‌مولار) بود. نتایج خروجی مدل‌ها نشان داد که ضریب مدل زمان-رطوبتی و زمان-شوری به ترتیب ۹۶/۸ مگاپاسکال ساعت و مدل ۱۶۱۸۱/۸۷ میلی‌مولار ساعت و آستانه تحمل به خشکی و شوری به ترتیب ۳/۲۸- مگاپاسکال و ۷۱۴/۶۲ میلی‌مولار بود و مدل زمان-شوری بهتر از مدل- زمان رطوبتی جوانه‌زنی بذرهای سالیکورنیا را کمی‌سازی کرد. روند کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی در تنش خشکی بیشتر از تنش شوری بود. براساس نتایج این تحقیق با استفاده از مدل زمان شوری در مطالعات بیولوژیکی گیاهان هالوفیت تحت تنش اسمزی می‌توان حد آستانه تحمل و مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی را در غلظت‌های مختلف نمک به خوبی مشخص کرد.

کلیدواژه‌ها: پلی‌اتیلن گلیکول، شاخص جوانه‌زنی، کلرید سدیم، هالوتایم، هیدروتایم



### مقدمه

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از حساس‌ترین مراحل زندگی گیاهان است که در تولید گیاه، استقرار مناسب گیاه، تراکم بوته، یکنواختی و اهداف مدیریتی نقش دارند، همچنین تعیین‌کننده عملکرد و زمان رسیدگی می‌باشند (Windauer et al., 2007). از این‌رو هر عاملی که منجر به استقرار نامناسب و تراکم پایین گیاهچه از طریق کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی شود، عملکرد را کاهش می‌دهد (Yanegh and Khaje Hosseini, 2014).

تنش‌های محیطی در نقاطی از کره زمین به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد محصولات کشاورزی در سطح جهان هستند. عوامل تنش‌زا تأثیر منفی در تولید محصولات کشاورزی دارد و کشاورزی در آن مناطق هزینه بیشتر و بازده کمتری دارد (Aini et al., 2015). یکی از تنش‌های محیطی شایع در جهان خشکی می‌باشد که سبب کاهش محصولات کشاورزی می‌شود. تنش اسمزی به‌طور معنی‌داری روی درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار است. جوانه‌زنی بذر به‌شدت متأثر از پتانسیل آب است و درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری با منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی کاهش می‌یابد (Ahmed et al., 2015). سرعت جوانه‌زنی با قابلیت دسترسی به آب به‌صورت خطی افزایش می‌یابد و با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Ansari et al., 2012). شوری یکی از عامل‌های محیطی است که منجر به کاهش و یا تاخیر در جوانه‌زنی بذرهای گیاهان می‌شود. همچنین بر استقرار و رشد گیاهان هالوفیت و گلیکوفیت موثر می‌باشد (Shariat and Heydari Sharifabad, 2012). شوری جوانه‌زنی بذر را از طریق تنش اسمزی ناشی از وجود نمک و سمیت یونی ناشی از تجمع نمک در محیط اطراف بذر تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rahnama et al., 2013). همچنین شوری یکی از جدی‌ترین و قدیمی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی جهان است که باعث به هم خوردن ساختار پروتئین‌ها و مختل ساختن ساختار آنزیم‌ها می‌شود و همچنین با کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش پتانسیل فشاری و تجمع انواع اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های هیدروکسید، پراکسید هیدروژن و سوپر اکسید می‌شود (Lee et al., 2011). در نتیجه شوری موجب کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی و افزایش متوسط زمان جوانه‌زنی می‌گردد (parmon et al., 2015). به دلیل اینکه ایران کشوری نیمه بیابانی و دارای

خاک‌های شور فراوانی است (Momeni, 2010)، استفاده از آب‌وخاک شور در جهت تولید محصولات کشاورزی از جمله غذا، علوفه و ایجاد فضای سبز راه‌حلی مناسب برای حل بحران پیش‌رو است (Ventura et al., 2011). سالیکورنیا با کاربردهای مختلفی که دارد گزینه مناسبی برای زراعت با آب‌های شور است (Khoshkhalq sima et al., 2021). سالیکورنیا (*Salicornia persica*) گیاهی است هالوفیت یک‌ساله از خانواده Chenopodiaceae که در محیط‌های شور قادر به رشد است. این ویژگی باعث شده که برای کشت این گیاه نیازی به زمین زراعی و آب کشاورزی نباشد در نتیجه صرفه اقتصادی خوبی دارد. سالیکورنیا گیاهی با اهداف چندگانه و از گونه‌های مهم تأمین‌کننده سبزی، علوفه حیوانی و دانه‌های روغنی است. درصد روغن و پروتئین سالیکورنیا قابل‌مقایسه با گیاهان زراعی است و کیفیت روغن آن مشابه با گلرنگ و دارای ۷۵ درصد اسید لینولئیک و لینولنیک است (Salehi et al., 2017). از زمان معرفی مدل‌های ریاضی زمان دمایی، زمان رطوبتی و زمان رطوبت دمایی به‌طور موفقیت‌آمیزی در جوانه‌زنی گونه‌های وحشی، از بین بردن خواب و افزایش عملکرد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم زیستی هستند (Bakhshandeh et al., 2012). در طول چند دهه گذشته میزان جوانه‌زنی بسته به پتانسیل آب با استفاده از مدل‌های رگرسیونی اندازه‌گیری شده است. این مدل‌ها تغییر خطی در سرعت جوانه‌زنی را در شرایط مختلف نشان می‌دهند (Gummerson, 1986). علی‌رغم استفاده زیاد این روش‌ها نمونه‌های اندکی از کاربرد این مدل‌های زمانی برای جوانه‌زنی بذر هالوفیت‌ها در شرایط شور وجود دارد (Seal et al., 2018). عدم استفاده از این مدل‌ها برای جوانه‌زنی بذر هالوفیت‌ها موجب سردرگمی و عدم اطلاع دقیق از پتانسیل آب مورد نیاز برای جوانه‌زنی شده و شرایط شور می‌تواند به‌عنوان وجود سم یا عامل ایجاد خواب بذر در نظر گرفته شود، در صورتی که ممکن است بذر زنده باشد و در معرض شرایط نامطلوب برای جوانه‌زنی باشد. برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و پتانسیل آب از مدل هیدروتایم استفاده می‌شود (Soltani et al., 2008). همچنین در تحقیقی (Seal et al., 2018) برای بررسی اثر شوری بر جوانه‌زنی بذر گیاه *Suaeda maritima* از مدل هالوتایم استفاده کردند. (Ansari et al., 2017) نشان دادند استفاده از مدل هیدروتایم جهت کمی‌سازی پاسخ

در این رابطه  $\pi$  پتانسیل اسمزی برحسب بار،  $i$  ضریب یونی‌زاسیون ماده حل شونده،  $M$  مولاریته محصول،  $R$  ثابت جهانی گازها ( $0.083 \text{ bar/ml mol k}$ ) و  $T$  دما برحسب کلوین می‌باشد.

### نحوه اجرای آزمایش

بذر سالیکورنیا از موسسه تحقیقات شوری یزد تهیه شد و آزمون اولیه جوانه‌زنی انجام شد و خواب نداشتند. پس از تهیه غلظت‌های مختلف محلول پلی‌اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ و کلرید سدیم آزمون جوانه‌زنی انجام شد. در ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۳۰ ثانیه ضدعفونی شدند. از پتری‌هایی با قطر ۱۲ سانتی‌متر و با قرار گیری یک عدد کاغذ صافی واتمن ۵۰ عدد بذر درون آن در نظر گرفته شد. جهت تأمین رطوبت موردنیاز بذرها تقریباً پنج میلی‌لیتر از محلول‌های تهیه‌شده به محیط هر پتری اضافه شد. پس از بسته شدن ظروف به‌وسیله سلفون درون دستگاه با دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. اولین شمارش بذر جوانه‌زده ۱۲ ساعت پس از کشت انجام شد و به مدت ۱۴ روز به‌صورت روزانه و هر هشت ساعت یک‌بار شمارش ادامه داشت (Karimi et al., 2006). بذرهایی با طول ریشه‌چه حداقل دو میلی‌متر به‌عنوان بذر جوانه‌زده در نظر گرفته شدند. پس از پایان دوره جوانه‌زنی سرعت (رابطه ۲) و درصد (رابطه ۳) جوانه‌زنی محاسبه شد (Sharma et al., 2013).

$$GR = \sum ni/Ti \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$ni$ : تعداد بذرهایی جوانه‌زده در ساعت و  $Ti$ : تعداد ساعت پس از آزمایش است.

$$GP = n/N \times 100 \quad \text{(رابطه ۳)}$$

$N$ : تعداد کل بذرها و  $n$ : تعداد بذرهایی جوانه‌زده است.

### برآورد مدل زمان رطوبتی

برای توصیف رابطه جوانه‌زنی با پتانسیل آب از مدل زمان-رطوبتی استفاده شد (Gummerson, 1986).

$$\theta_H = (\Psi - \Psi_{b(g)})t_g \quad \text{(رابطه ۴)}$$

$$GR = (\Psi - \Psi_{b(g)})/\theta_H \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه ( $\theta_H$ ) ثابت زمان-رطوبتی، ( $\Psi$ ) پتانسیل واقعی بذر، ( $\Psi_{b(g)}$ ) پتانسیل پایه یا آستانه برای جوانه‌زنی کسر خاصی از بذرها ( $g$ ) و ( $t_g$ ) زمان برای خروج ریشه‌چه کسر خاصی از بذرها می‌باشد.

جوانه‌زنی بذر پنیرک (*Malva sylvestris* L.) به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف دارای نتایج قابل قبولی می‌باشد. در تحقیقی (Zhang et al., 2012) از مدل هیدروتایم برای بررسی تأثیر شوری بر سرعت جوانه‌زنی بذر هالوفیت از *Digitaria sanguinalis* و *Chloris virgate* استفاده کردند که در *D. sanguinalis* نسبت به *C. virgate* این مدل پتانسیل آبی مورد نیاز جوانه‌زنی بذر را به‌خوبی برآورد کرد. نتایج حاصل از بررسی مدل هالوتایم برای توصیف جوانه‌زنی بذر کاملینا (*Camelina sativa* L.) به تنش شوری توسط Bakhshandeh et al., (2020) نشان دادند که این مدل به‌خوبی قادر است پاسخ جوانه‌زنی این گیاه در شرایط تنش شوری را کمی‌سازی کند. با بررسی اثر ترکیب شوری و درجه حرارت بر میزان جوانه‌زنی بذر هالوفیت *Sueda maritima* استفاده از مدل هالوترمال‌تایم مشخص شد که حداکثر غلظت نمک برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی ۱۲۸ میلی‌مولار در ۵ درجه سلسیوس بود که با افزایش دما کاهش یافت (Seal et al., 2018). با توجه به مطالعات صورت گرفته و اهمیت تعیین آستانه‌های تحمل به شوری و خشکی در جوانه‌زنی و استقرار گیاه، این پژوهش با هدف بررسی صفات مربوط به جوانه‌زنی بذرهایی سالیکورنیا (*Salicornia persica*) و کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی آن با استفاده از مدل‌های زمان-رطوبتی و زمان-شوری انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه تکنولوژی بذر گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج به‌صورت دو آزمایش جداگانه در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش اول شامل ۱۳ سطح پتانسیل اسمزی (صفر، -۰/۳، -۰/۶، -۰/۹، -۱/۲، -۱/۵، -۱/۸، -۲/۱، -۲/۴، -۲/۷، -۳، -۳/۳ و -۳/۶- مگاپاسکال) برای مدل زمان رطوبتی و آزمایش دوم شامل ۱۳ سطح غلظت کلرید سدیم (صفر، ۶۲، ۱۲۲، ۱۸۷، ۲۴۹، ۳۱۱، ۳۶۸، ۴۳۵، ۴۹۸، ۵۶۰، ۶۲۲، ۶۸۴ و ۷۴۵ میلی‌مولار) با اسمز مشابه آزمایش اول برای مدل زمان شوری بودند که برای ایجاد آن‌ها از رابطه وانت هوف (Vant Hoff, 1887) (رابطه ۱) در دمای ۲۵ درجه سلسیوس استفاده شد (Khoshkhalq sima et al., 2021)

$$\pi = iMRT \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این اینجا P مقدار جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده از طریق مدل و O مقدار جوانه‌زنی مشاهده‌شده و n تعداد مشاهدات هستند. هرچه مقدار RMSE محاسبه‌شده کمتر باشد دقت مدل در پیش‌بینی بیشتر می‌شود.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSG} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در اینجا SSE و SSG به ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل هستند. هرچه مقدار  $R^2$  بیشتر باشد دقت مدل در پیش‌بینی بیشتر است.

### تجزیه آماری داده‌ها

جهت ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا تحت تأثیر پتانسیل‌های اسمزی مختلف از نرم‌افزار SAS، جهت تجزیه و تحلیل واریانس داده‌ها از رویه Proc glm و برای مقایسه میانگین داده‌ها در سطح احتمال پنج درصد از آزمون LSD و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. تخمین پارامترهای مربوط به مدل و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۶ انجام شد.

## نتایج و بحث

### درصد و سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارهای کلرید سدیم و پلی‌اتیلن گلیکول بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۱).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر پتانسیل‌های اسمزی بر درصد جوانه‌زنی نشان داد که در تیمار با PEG و NaCl به ترتیب تا سطح ۱/۲- و ۱/۵- مگاپاسکال جوانه‌زنی تقریباً ۱۰۰ درصد بوده و پس‌از آن روند کاهشی مشاهده شد به طوری که در سطح ۳/۳- مگاپاسکال جوانه‌زنی به ترتیب حدود ۹۰ و ۸۵ درصد کاهش نشان داد (شکل ۱).

با افزایش سطح پتانسیل اسمزی هم در تیمار PEG و هم در تیمار NaCl سرعت جوانه‌زنی روند کاهشی داشت. در هر دو بیشترین و کمترین میزان سرعت جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به سطح صفر و ۳/۳- مگاپاسکال بود و به ترتیب ۳/۲۲ و ۰/۱ بذر جوانه زده در ساعت مشاهده شد که در سطح ۳/۳- مگاپاسکال در PEG حدود ۷۷ درصد و در NaCl حدود ۶۹ درصد از سرعت جوانه‌زنی کاسته شد (شکل ۱).

درصد‌های جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده از طریق رابطه (۶) با استفاده از پارامترهای به‌دست‌آمده از این قسمت ( $\sigma_{\Psi_b}$ ,  $\Psi_{b(50)}$ ) در مقیاس پروبیت از مقادیر پتانسیل در مقابل  $\Psi - (\theta_H/t_g)$  رگرسیون شدند و مقادیر  $\theta_H$  تا زمانی که بهترین برازش به‌دست آمد، تغییر کردند. توده‌های قوی و ضعیف بذرها را می‌توان با داشتن پارامترهای معادله هیدروتایم ( $\sigma_{\Psi_b}$ ,  $\Psi_{b(50)}$ ) از هم تفکیک کرد.

$$\text{probit} = \left[ \varphi - \left( \frac{\theta_H}{t_g} \right) - \varphi_{b(50)} \right] / \sigma_{\varphi_b} \quad \text{رابطه ۶}$$

### برآورد مدل زمان شوری

برای توصیف رابطه جوانه‌زنی با شوری از مدل زمان-شوری (رابطه ۷) استفاده شد (Bakhshandeh et al., 2020).

$$\theta_{\text{Halo}} = (\text{NaCl}_b(g) - \text{NaCl})t_g \quad \text{رابطه ۷}$$

که در آن،  $\theta_{\text{Halo}}$ : ثابت هالوتایم (میلی‌مولار بر ساعت) یعنی مقدار شوری آب بالاتر از پتانسیل شوری پایه که باید به‌صورت تجمعی برای رسیدن به کسر خاصی از جوانه‌زنی جمع شوند، NaCl: سطح شوری محیط (میلی‌مولار) و  $\text{NaCl}_b(g)$ : پتانسیل شوری پایه (میلی‌مولار) برای کسر خاصی (g) از بذرها جوانه‌زده در یک توده بذر هستند.

درصد‌های جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده از طریق رابطه (۸) با استفاده از پارامترهای به‌دست‌آمده از این قسمت ( $\sigma_{\text{NaCl}_b}$ ,  $\theta_{\text{Halo}}$ ,  $\text{NaCl}_{b(50)}$ ) در مقیاس پروبیت از مقادیر پتانسیل در مقابل  $\text{NaCl} + (\theta_{\text{Halo}}/t_g)$  رگرسیون شدند و مقادیر  $\theta_{\text{Halo}}$  تا زمانی که بهترین برازش به دست آمد، تغییر کردند. توده‌های قوی و ضعیف بذرها را می‌توان با داشتن ضرایب معادله هالوتایم ( $\sigma_{\text{NaCl}_b}$ ,  $\text{NaCl}_{b(50)}$ ,  $\theta_{\text{Halo}}$ ) از هم تفکیک کرد.

$$\text{probit}(g) = [\text{NaCl} - (\theta_{\text{Halo}}/t_g) - \text{NaCl}_b(g)] / \sigma_{\text{NaCl}_b} \quad \text{رابطه ۸}$$

$\sigma_{\text{NaCl}_b}$ : انحراف معیار پتانسیل شوری پایه (میلی‌مولار) درون توده بذر و  $t_g$  زمان برای رسیدن به کسر خاصی از جوانه‌زنی (ساعت) هستند.

### انتخاب مدل برتر

برای انتخاب مدل برتر از بین پتانسیل‌های اسمزی از پارامترهای جذر میانگین مربعات (رابطه ۹) و ضریب تبیین (رابطه ۱۰) استفاده شد.

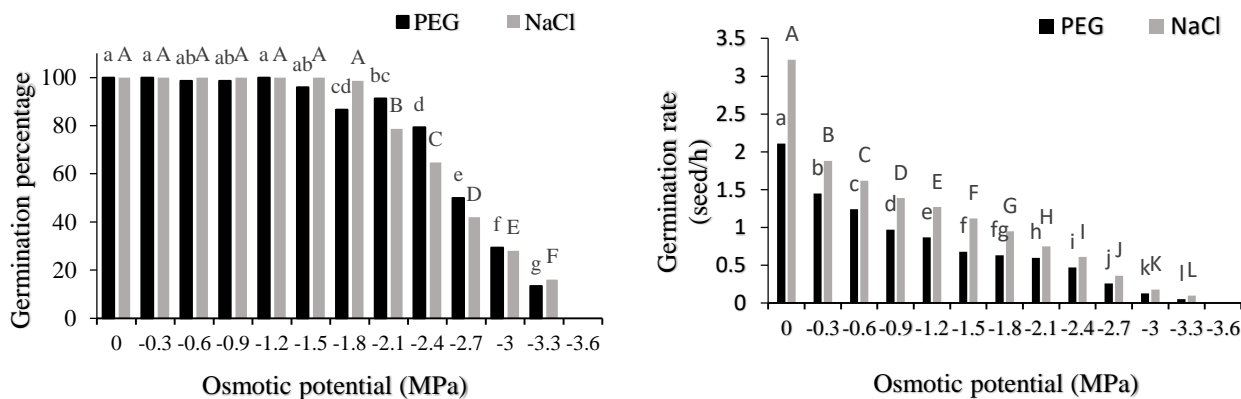
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum(P-O)^2}{n-1}} \quad \text{رابطه ۹}$$



**Table 1. Analysis of variance (ANOVA) osmotic potential effect (NaCl and PEG) on germination indices of *Salicornia* seeds**

S. O. V	df	Means square			
		drought stress (PEG)		Salinity stress (NaCl)	
		Germination percentage	Germination rate	Germination percentage	Germination rate
<b>Treatment</b>	12	3979.74**	1.102**	4142.41**	1.49**
<b>Error</b>	26	21.33	0.0018	18.56	0.003
<b>CV (%)</b>		6.36	5.93	6.031	6.00

\*\* Indicates significance at probability of level 0.01.



**Figure 1. The mean comparison of effect of osmotic potential salinity stress-induced (NaCl) and drought stress (PEG) on *salicornia* seed germination percentage and rate based on LSD test.**

In each stress, in drought stress (lowercase letters) and in salinity stress (uppercase) the common letters indicate a significant difference in the level of five percent error probability.

بذرهای سالیکورنیا (*Salicornia brachiata*) در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار و سطح خشکی ۱۰- بار بیشترین درصد جوانه‌زنی را داشتند که نشان‌دهنده توانایی ذاتی سالیکورنیا برای تحمل تنش‌های غیرزنده بخصوص شوری است (Amiri et al., 2020). همچنین در مطالعه‌ای (Jacob et al., 2012) گزارش کردند که سالیکورنیا قادر است در شوری‌های ۲۰ تا ۳۰ دسی‌زیمنس حدود ۶۰ درصد جوانه‌زنی داشته باشد. شوری و خشکی به‌طور معنی‌داری باعث کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در دو گونه علف شور *Salsola imbricate* و *Salsola tomentosa* شد و بیشترین درصد جوانه‌زنی در تیمار صفر و کمترین آن در تیمار ۱/۰۳- مگاپاسکال به دست آمد (Mosleh Arai et al., 2014).

تنش خشکی جذب آب توسط بذر را محدود کرده و با کاهش حرکت و انتقال ذخایر بذر و یا با تأثیر مستقیم بر ساختمان و سنتز پروتئین در جنین جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Dodd and Danovan, 1999). شوری فشار اسمزی محلول را افزایش داده و باعث کاهش جذب آب از طریق بذر می‌شود. از طرفی دیگر شوری زیاد باعث ایجاد سمیت و به هم خوردن تعادل یونی می‌شود و با تأثیر روی فعل‌وانفعالات حیاتی بذر جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد (Mosleh Arai et al., 2014). سطوح تنش شوری و خشکی بر سرعت و درصد جوانه‌زنی بذر ماریتیغال (*Salybum marianum*) اثر معنی‌دار داشت. همچنین بذر گیاه ماریتیغال قادرند تا ۳۰۰ میلی‌مولار پتانسیل شوری و ۲۰- بار پتانسیل اسمزی جوانه‌زنی داشته باشند (Balandari et al., )

شرایط تنش خشکی از قبیل سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی را دارد. با استفاده از مدل‌های زمان رطوبتی می‌توان زمان استقرار هر گیاه در شرایط مختلف محیطی را پیش‌بینی کرد (Ansari et al., 2017). در تحقیقی مدل زمان رطوبتی به‌خوبی توانست جوانه‌زنی بذور زیره سبز را در پتانسیل‌های اسمزی مختلف بررسی کند بطوری که این مدل را می‌توان یکی از آزمون‌های قدرت بذر بیان کرد. در این تحقیق مقدار ثابت هیدروتایم ( $\theta_H$ )، پتانسیل آب پایه ( $\Psi_{b(50)}$ ) و انحراف استاندارد ( $\sigma_{\Psi_b}$ ) به ترتیب ۹۵/۴۹ مگاپاسکال بر ساعت، ۰/۴۶۱- مگاپاسکال و ۰/۳۸۵ به دست آمد (Ebadi et al., 2020). در بررسی پاسخ جوانه‌زنی با دسترسی به آب در جمعیت‌های فستوکا (*Festuca pallescens*) بر اساس پارامترهای مدل هیدروتایم گزارش دادند که مقدار پتانسیل آب پایه برای همه جمعیت‌ها ۲/۷۹- مگاپاسکال به دست آمد اما ثابت هیدروتایم به‌طور قابل توجهی در جمعیت‌ها متفاوت بود که نشان‌دهنده سازگاری‌های فیزیولوژیکی به محیط‌های محلی می‌باشند (Lopez et al., 2021).

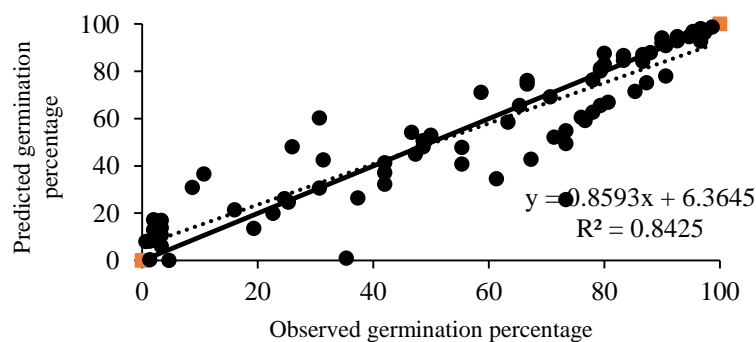
**مدل زمان-شوری:** مدل زمان-شوری برآزش داده‌شده به داده‌ها در بذر سالیکورنیا (شکل ۳) نشان داده‌شده است. درصد جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده در پتانسیل‌های اسمزی مختلف به‌خوبی به داده‌های واقعی برآزش داده شده است به‌صورتی که مقدار ضریب تبیین برابر ۰/۹ بود.

یکی از خروجی‌های مدل زمان-شوری ثابت زمان-شوری ( $\theta_{Halo}$ ) است که نشان‌دهنده زمان برای جوانه‌زنی کسر خاصی از جمعیت بذر بوده و به اختلاف بین غلظت کلرید سدیم پایه با غلظت کلرید سدیم جذب محیط بستگی داشت.

## کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرها سالیکورنیا در شرایط پتانسیل اسمزی

**مدل زمان رطوبتی:** مدل زمان رطوبتی برآزش داده‌شده به داده‌ها در بذر سالیکورنیا (شکل ۲) نشان داده‌شده است. درصد جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده در پتانسیل‌های اسمزی مختلف به‌خوبی به داده‌های واقعی برآزش داده‌شده است به‌صورتی که مقدار ضریب تبیین برابر ۰/۸۴ بود.

یکی از خروجی‌های مدل زمان-رطوبتی ثابت زمان-رطوبتی ( $\theta_H$ ) است که مقدار آن برابر ۹۶/۸ مگاپاسکال ساعت برآورد شد. ثابت زمان-رطوبتی نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی است. با افزایش مقدار این پارامتر مدت‌زمان شروع جوانه‌زنی افزایش و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Braddford and Still, 2004). دومین خروجی مدل زمان-رطوبتی مقدار پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی ( $\Psi_{b(50)}$ ) می‌باشد که برای بذرها سالیکورنیا، ۳/۲۸- مگاپاسکال محاسبه شد. این پارامتر نشان‌دهنده سطحی از پتانسیل است که درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر کمتر از آن کمتر از ۵۰ درصد خواهد بود. مقادیر کمتر ( $\Psi_{b(50)}$ ) نشان‌دهنده مقاومت بیشتر بذرها در برابر تنش خشکی می‌باشد (Braddford and still, 2004). خروجی سوم مدل زمان-رطوبتی انحراف استاندارد پتانسیل آب پایه در زیر جمعیت‌های مختلف ( $\sigma_{\Psi_b}$ ) است که تعیین‌کننده توزیع پتانسیل آبی بین زیر جمعیت‌های مختلف بوده و مقادیر کمتر آن بیانگر یکنواختی بیشتر جوانه‌زنی است. مقدار انحراف استاندارد در مدل زمان-رطوبتی برای بذرها سالیکورنیا ۰/۶۶- مگاپاسکال به دست آمد (جدول ۲). به‌طورکلی خروجی مدل زمان رطوبتی توانایی پیش‌بینی برخی از شاخص‌های مهم جوانه‌زنی مرتبط با تحمل گیاه به



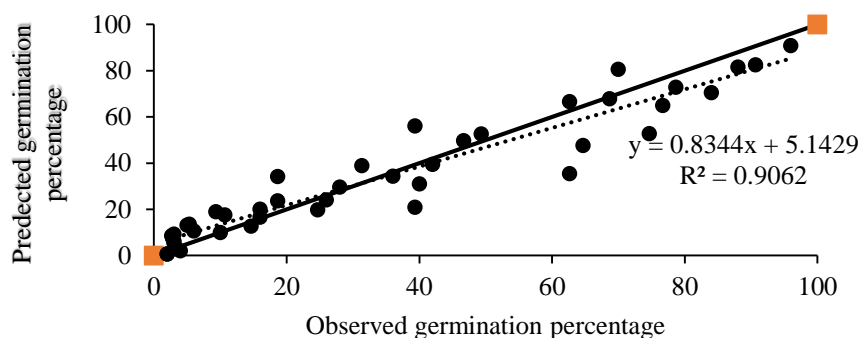
**Figure 2. Examining the compliance of the predicted germination percentage in different osmotic potentials compared to the observed germination percentage in *Salicornia* seeds.**

The solid line represents 1:1 line and dashed line show simple linear regression fitted to data.

**Table 2. Parameters of the time-moisture model of *Salicornia* seed germination (*Salicornia persica*) in the range of different osmotic potentials and temperature of 25 ° C.**

Seed	R <sup>2</sup>	RMSE	$\theta_H$ (MPa.h)	$\sigma_{\Psi_b}$ (MPa)	$\Psi_{b(50)}$ (MPa)
Salicornia	0.84	12.73	96.80	0.66	-3.28

$\Psi_{b(50)}$  (mean base water potential),  $\sigma_{\Psi_b}$  (standard deviation of base water potential), R<sup>2</sup> (explanation coefficient),  $\theta_H$  (hydrotime constant, RMSE (mean root Error squares).



**Figure 3. Examining the compliance of the predicted germination percentage in different salt concentrations compared to the observed germination percentage in *Salicornia* seeds.**

The solid line represents 1:1 line and dashed line show simple linear regression fitted to data.

اسمزی را قادر می‌سازد که شیب پتانسیل آب را حفظ کرده و امکان جذب آب در طول جوانه‌زنی را فراهم می‌کند (Bakhshandeh et al., 2020). Seal et al., (2018) نتایج مشابهی ارائه دادند که تجمع  $Na^+$  در بذره‌های سیاه شور (*Suaeda maritima*) منجر به جذب بیشتر آب توسط بذر می‌شود. بنابراین، مقدار NaCl پایه پیش‌بینی شده توسط مدل ممکن است در بذره‌های گیاهانی مثل سالیکورنیا و سیاه شور (هالوفیت‌ها) با پوشش نفوذپذیر (شامل یون نمک) بیشتر از بذرهایی با پوشش غیرقابل نفوذ (حذف کننده یون نمک) باشد.

در نتیجه، تفاوت‌های بین گونه‌ها از نظر توانایی آن‌ها در گنجاندن و یا حذف یکی از یون‌های سدیم و کلرید در بذر، توانایی مدل هالوتایم را نشان می‌دهد. استفاده از مدل‌های زمان شوری و زمان رطوبتی به ما در مدیریت بهتر تولید گیاهان در شرایط مختلف محیطی و تعیین گستره جغرافیایی آنها کمک می‌کند (Bakhshandeh et al., 2020). مدل زمان-شوری همچنین به خوبی توانست جوانه‌زنی بذر کاملینا (Bakhshandeh et al., 2020)، سیاه شور (Seal et al., 2018)، کاسنی (Bakhshandeh et al., 2020) و خیار (Bakhshandeh et al., 2021) را کمی‌سازی کند.

مقدار ثابت زمان-شوری برای بذر سالیکورنیا برابر ۱۶۱۸۱/۸۷ میلی‌مولار ساعت محاسبه شد. دومین خروجی مدل زمان-شوری مقدار غلظت کلرید سدیم پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی می‌باشد که نشان‌دهنده سطحی از غلظت کلرید سدیم است که درصد جوانه‌زنی بذر در مقادیر بیشتر از آن کمتر از ۵۰ درصد خواهد بود. مقادیر بیشتر ( $NaCl_{b(50)}$ ) نشان‌دهنده مقاومت بیشتر بذرها در برابر تنش شوری می‌باشد. برای بذره‌های سالیکورنیا مقدار غلظت کلرید سدیم پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی در مدل زمان-شوری، ۷۱۴/۶۲ میلی‌مولار محاسبه شد که طبق رابطه وانت هوف برابر ۳/۴۵-مگاپاسکال می‌باشد. خروجی سوم مدل زمان-شوری انحراف استاندارد غلظت کلرید سدیم پایه در زیر جمعیت‌های مختلف ( $\sigma_{NaCl_b}$ ) است که تعیین کننده توزیع غلظت کلرید سدیم بین زیر جمعیت‌های مختلف بوده و مقادیر بیشتر آن بیانگر یکنواختی بیشتر جوانه‌زنی است. مقدار انحراف استاندارد در مدل زمان-شوری برای بذره‌های سالیکورنیا ۱۴۲/۵۶ میلی‌مولار به دست آمد (جدول ۳). همانطور که مشخص است سالیکورنیا بیشتر تحت تاثیر تغییرات در پتانسیل آب با پلی اتیلن گلایکل در مقایسه با غلظت نمک بوده که احتمالاً به دلیل جذب یون‌های نمک توسط بذر می‌باشد که تنظیم

**Table 3. Parameters of the halotime model of *Salicornia* seed germination (*Salicornia persica*) in a range of different osmotic potentials and temperature of 25 ° C.**

Seed	R <sup>2</sup>	RMSE	$\theta_{Halo}$ (mM.h)	$\sigma_{NaClb}$ (mM)	NaCl <sub>b(50)</sub> (mM)
Salicornia	0.90	9.46	16181.87	142.56	714.62

NaCl<sub>b50</sub> (mean base sodium chloride concentration),  $\sigma_{NaClb}$  (standard deviation of base concentration), R<sup>2</sup> (coefficient of determination),  $\theta_{Halo}$  (halotime constant), RMSE (root mean square error).

PEG درصد و سرعت جوانه‌زنی، روندی کاهشی نشان دادند که این روند در تنش خشکی بیشتر به چشم می‌خورد چون سالیکورنیا گیاهی هالوفیت است به تنش خشکی حساسیت بیشتری نسبت به تنش شوری داشت. در کمی‌سازی اثر پتانسیل آب ناشی از پلی‌اتیلن گلیکول و غلظت کلرید سدیم نتایج به این صورت بود که هر دو مدل زمان شوری و زمان رطوبتی به خوبی توانستند جوانه‌زنی بذر سالیکورنیا را نسبت به پتانسیل‌های اسمزی کمی‌سازی کنند. براساس نتایج این تحقیق با استفاده از مدل زمان شوری در مطالعات بیولوژیکی ارقام مختلف سالیکورنیا تحت تنش اسمزی می‌توان حدآستانه تحمل و مدت زمان لازم برای جوانه‌زنی را در غلظت‌های مختلف نمک به خوبی مشخص کرد.

### سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از عوامل دانشکده کشاورزی و کارکنان آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه یاسوج که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی می‌شود.

**برتری مدل:** برای تعیین برتری مدل و میزان دقت آن اولین پارامتر جذر میانگین مربعات ریشه خطا یا انحراف معیار خطا (RMSE) است که هرچه مقدار آن کمتر باشد دقت مدل بیشتر است. در مدل زمان رطوبتی و زمان شوری مقدار میانگین مربعات ریشه خطا محاسبه‌شده به ترتیب برابر ۱۲/۷۳ و ۹/۴۶ بود. دومین پارامتر برای تعیین برتری مدل، میزان همبستگی بین درصد جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده می‌باشد. ضریب تباین یا مربع ضریب همبستگی خطی (r<sup>2</sup>) دقت پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد. هر چه نقاط مربوط به جوانه‌زنی‌ها به نقطه ۱:۱ نزدیک‌تر باشد مقدار ضریب همبستگی بیشتر بوده و پیش‌بینی مدل دقیق‌تر است. در مدل زمان رطوبتی و زمان شوری مقدار ضریب همبستگی به ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۹۰ به دست آمد که نشان می‌دهد هر دو مدل هیدروتایم قادر به پیش‌بینی جوانه‌زنی بذرهای سالیکورنیا می‌باشند.

### نتیجه‌گیری

در رابطه با شاخص‌های جوانه‌زنی نتایج به این صورت بود که با افزایش سطح پتانسیل اسمزی در هر دو تیمار NaCl و

### References

- Ahmed, A., Opena, J.L., & Chauhan, B.S. 2015. Seed germination ecology of doveweed (*Murdannia nudiflora*) and its implication for management in dry-seeded rice. *Weed Science*, 63(2), 491-501.
- Aini, M., Khodakarmian, G., Mirzaei, H., & Ismailzadeh, S.A. 2015. *Biological and abiotic stresses in plants*. National Conference on Climate Change and Engineering for Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Tolo Farzin Science and Technology Company. [In Persian]
- Allen, S.G., Dobrenz, A.K., Schonhorst, M.H., & Stoner, J.E. 1985. Heritability of NaCl tolerance in germinating alfalfa seed. *Agronomy Journal*, 77(1), 99-101.
- Amiri, B., Asareh, M.H., Jafari, M., Rassoli, B., & Jafari, A.A. 2012. Effect of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on germination and seedling growth of *Salicornia herbacea* and *Alhagi persarum*. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(2), 233-243. [In Persian]
- Ansari, O., Choghazardi, H.R., Sharif Zadeh, F., & Nazarli, H. 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 150(2), 43-48.

- Ansari, O., Gherekhloo, J., Ghaderi-Far, F., & Kamkar, B. 2017. Application of hydro time model for quantification of *Malva sylvestris* L. germination response to water potential. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(1), 67-77. [In Persian]
- Bakhshandeh, A., Ghadirian, R., Galshi, S., & Soltani, A. 2012. Modelling the effects water stress and temperature on seed germination of Soybean (*Glycine max* L.) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* med.). *Journal of Plant Production Research*, 18(1), 29-48. [In Persian]
- Bakhshandeh, A., Jamali, M., Jokari, A., Hosseini Sanekhorri, F., & Nobakht Langri, A.A. 2020. Modeling of *Camelina sativa* (Germination) seed germination using the halotime model. 16th Iranian Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding, 5-7 February.
- Bakhshandeh, E., Abdellaoui, R., & Boughalleb, F. 2021. Modeling the effects of salt stress and temperature on seed germination of cucumber using halothermal time concept. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33(1), 79-93.
- Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., Vahabinia, F., & Gholamhossieni, M. 2020. Quantification of the effect of environmental factors on seed germination and seedling growth of Eruca (*Eruca sativa*) using mathematical models. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(1), 190-204.
- Bakhshandeh, E., Bradford, K.J., Pirdashti, H., Vahabinia, F., & Abdellaoui, R. 2020. A new halothermal time model describes seed germination responses to salinity across both sub- and supra-optimal temperatures. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(8), 137.
- Balandari, A., Rezvani Moghaddam, P., Khazaei, H.R., Ghorbani, R., & Astaraei, A. 2010. Effects of salinity and drought stresses on germination characteristics of milk thistle (*Silybum marianum*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1), 12-19. [In Persian]
- Bradford, K.J., & Still, D.W. 2004. Applications of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technology*, 26(1), 75-85.
- Brar, G.S., Gomez, J.F., McMichael, B.L., Matches, A.G., & Taylor, H.M. 1991. Germination of twenty forage legumes as influenced by temperature. *Agronomy Journal*, 83(1), 173-175.
- Chauhan, B., Gill, G., & Preston, C. 2006. Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. *Weed Science*, 54(5), 854-860.
- Dodd, G.L., & Danovan, L.A. 1999. Water potential and ion effects on germination and seedling growth of two cold deserts shrubs. *American Journal of Botany*, 86(8), 1146-1153.
- Ebadi, A., parmoon, G., Ahmadnia, F., Godarzy, M., & Ghahremani, S. 2020. Quantifying cardinal temperature and hydro time germination of *Cuminum cyminum* seeds. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 9(2), 61-74. [In Persian]
- Gummerson, R.J. 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*, 37(6), 729-741.
- Hardegree, S.P., & Emmerich, W.E. 1990. Partitioning water potential and specific salt effect on seed germination of four grasses. *Annals of Botany*, 66(5), 587-595.
- Jacob, P.T., Siddiqui, S.A., & Rathore, M.S. 2020. Seed germination, seedling growth and seedling development associated physiochemical changes in *Salicornia brachiata* (Roxb.) under salinity and osmotic stress. *Aquatic Botany*, 166, 103272.
- Khoshkhalq Sima, N., Ebadi, A., Riahi Samani, N., & Spiritual Dervishes, B. 2021. *Salicornia, applications, economic potential, cultivation and exploitation*. Publication of Agricultural Education, First Edition, 156 p. [In Persian]
- Lee, D.H., Kim, Y.S., & Lee, C.B. 2001. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Physiology*, 158(6), 737-745.

- Lopez, A., Lopez, D.R., Arana, M.V., Batlla, D., & Marchelli, P. 2021. Germination response to water availability in populations of *Festuca pallescens* along a Patagonian rainfall gradient based on hydrotime model parameters. *Scientific Report*, 11, 10653.
- Momeni, A. 2010. Geographical distribution and salinity levels of Iran's soil resources. *Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 24(3), 203-215. [In Persian]
- Mosleh Arai, A., Bakhshi Khanigi, G.R., & Arab, F. 2014. Effects of salinity and drought stress on germination, seedling growth and ionic content in two species (*Salsola tomentosa* var Spach ex Moq and *Salsola imbricata* var Forssk). *Iranian Journal of Plant Ecophysiological Research*, 8(32), 1-11. [In Persian]
- Parmon, Q., Ebadi, A., & Asadi Aghbalaghi, M. 2015. Effects of salinity stress on some characteristics of germination and seedling growth of mick thistle (*Silybum marianum*) and Thistle (*Echinops candidus*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 4(1), 39-52. [In Persian]
- Rahnama, A., Poustini, K., & Tavakkol Afshari, R. 2013. Short-term responses of stomatal conductance for screening wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) differing in salt tolerance for osmotic stress tolerance. *Plant Productions*, 36(3), 93-105. [In Persian]
- Rajpar, I., Khanif, Y.M., Soomro, F.M., & Suthar, J.K. 2006. Effect of NaCl salinity on the growth and yield of Inqlab wheat (*Triticum aestivum* L.) variety. *American Journal of Plant Physiology*, 1(1), 34-40.
- Salehi, M., Dehghani, F., & Ebrahimi, N.Q. 2017. Successful salicornia seed production using saline water. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 37-46. [In Persian]
- Seal, C., Barwella, L., Flowersb, T., Wadea, E.L., & Pritcharda, H. 2018. Seed germination niche of the halophyte *Suaeda maritima* to combined salinity and temperature is characterized by a halo thermal time model. *Environmental and Experimental Botany*, 155, 177-184.
- Shariat, A., & Heydari Sharifabad, H. 2012. Study of salinity tolerance in salad burnet (*Poterium sanguisorba*) through physiological characteristics. *Plant Productions*, 34(2), 1-12. [In Persian]
- Sharma, P., Sardana, V., & Kandhola, S.S. 2013. Effect of sowing dates and harvesting dates on germination and seedling vigor of groundnut (*Arachis hypogaea*) cultivars. *Research Journal of Seed Science*, 6(1), 1-15.
- Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B., & Akramghaderi, F. 2008. Modeling seed aging effects on the responds of germination to temperature in wheat. *Seed Science and Biotechnology*, 2(1), 32-36.
- Vant Hoff, J.H. 1887. The role of osmotic pressure in the analogy between solution and gases. *Zeitschrift für Physikalische Chemi.* 1, 481-508.
- Ventura, Y., Wuddineh, W.A., Shpigel, M., Samocha, T.M., Klim, B.C., Cohen, S., & Sagi, M. 2011. Effects of day length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species. *Scientia Horticulturae*, 130(3), 510-516.
- Windauer, L., Altuna, A., & Benech-Arnold, R. 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops and Products*, 25(1), 70-74.
- Yanegh, A.J., & Khaje Hoseini, M. 2014. Investigating some environmental factors affecting the greening and establishment of different canola stands in the fields of Khorasan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(1), 9-16. [In Persian]
- Zhang, H., Irving, L.J., Tian, Y., & Zhou, D. 2012. Influence of salinity and temperature on seed germination rate and the hydrotime model parameters for the halophyte, *Chloris virgata*, and the glycophyte, *Digitaria sanguinalis*. *South African Journal of Botany*, 78, 203-210.