



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۲ | اسفند ۱۴۰۰ (ص ۳۰۰۰-۲۹۸۵)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.335338.669154>

(مقاله علمی - پژوهشی)

Quantitative Assessment of Camelina (*Camelina sativa* L.) Response to Salinity at Early Growth Stage

MANSOURE BAYRAM¹, MEHDI HOMAEI^{2*}, ALI MOKHTASIBIDGOLF³

1. Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Department of Mining, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

3. Department of Agronomy, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: Dec. 12, 2021- Revised: Jan. 12, 2022- Accepted: Jan. 15, 2022)

ABSTRACT

Germination plays a vital role in crop establishment and its yield. Most oilseeds are sensitive to salinity at germination, so cannot be irrigated with saline water. Although camelina is considered as a tolerant crop to water stress, but its tolerance to salinity must be investigated. To quantitatively evaluate camelina response to salinity at germination stage, an experiment with a completely randomized design was conducted including 17 water salinity levels of 0.85, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 dS m⁻¹, each with three replicates. Germination indicators were calculated using the SeedCalc package in R software and MATLAB. The optimization procedure was carried out with frequent changes in the model parameters based on reduced RMSE and minimizing least squares error. Then, parameters of salinity models including Maas-Hoffman, van Genuchten-Hoffman, Dirksen-Augustijn and Homaei et al. were derived and compared. The obtained threshold values of germination rate (GSI), seed vigor (SV), SeedCalc seed vigor (SV-S) were 2, 12 and 12 dS m⁻¹, respectively; the corresponding reduction slope for these variables were 2.4, 7.7 and 1.7%, respectively. Based on the obtained EC* and the slope, it was concluded that camelina is very tolerant to salinity at this growth stage. So that, it can be established quickly and produce strong seedlings at very high salinity levels. Further analyses of model performance statistics indicated that the examined nonlinear models provide better performance. Best performance of fitted models was obtained by HVG and H models, respectively. Germination indices were decreased by increasing the salinity levels, a lower GSI was associated with decreased seeds water uptake. The higher the seed vigor, the higher the GSI and seedling growth, as well as the lower MGT. Overall, camelina can be considered as a suitable alternative for oilseed cultivation in semi-arid regions.

Keywords: Camelina, Germination Rate, Modeling, Oilseed.

ارزیابی کمی پاسخ گیاه کاملینا (*Camelina sativa L.*) به تنش شوری در مراحل آغازین رشد

منصوره بایرام^۱، مهدی همائی^{۲*}، علی مختصی بیدگلی^۳

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی معدن و محیطزیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۰/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵

چکیده

جوانه‌زنی نقشی حیاتی در استقرار گیاه و عملکرد آن دارد. بیشتر گیاهان دانه روغنی در مرحله‌ی جوانه‌زنی به شوری حساس هستند و نمی‌توان آن‌ها را با آب شور آبیاری کرد. کاملینا گیاهی دانه روغنی است که هرچند به کم آبی مقاوم بوده لیکن مقاومت آن به شوری باید ارزیابی شود. برای بررسی کمی پاسخ کاملینا به شوری در مرحله‌ی جوانه‌زنی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل ۱۷ سطح شوری ۰/۸۵، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۲ dS/m با سه تکرار انجام شد. پارامترهای جوانه‌زنی با استفاده از بسته SeedCalc در نرم‌افزار R محاسبه و از MATLAB برای کد نویسی و برازش مدل‌ها استفاده شد. بهینه‌سازی با تغییر مکرر پارامترهای مدل بر پایه‌ی کاهش RMSE و حداقل مربعات خطا انجام شد. سپس مدل‌های شوری ماس-هافمن (MH)، ون گنوختن-هافمن (HVG)، دیرکسن-آگوستین (DA) و همایی (H) با هم مقایسه گردیدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام شد. آستانه‌ی کاهش شاخص‌های سرعت جوانه‌زنی (GSI)، بنیه بذر (SV)، بنیه بذر (SV-S) به ترتیب ۲، ۱۲ و ۱۲ dS/m و شیب کاهش آن‌ها ۲/۴، ۷/۷ و ۱/۷ به دست آمد. بر پایه‌ی EC* و شیب کاهش شاخص GSI و SV-S، نتیجه‌گیری گردید که کاملینا به شوری بسیار مقاوم بوده و قابلیت استقرار سریع و تولید گیاهچه‌ی قوی در سطوح بالای شوری را دارد. بررسی آماره‌های کارآیی مدل‌ها نشان داد که مدل‌های غیرخطی عملکرد بهتری دارند. بهترین عملکرد مدل‌ها توسط مدل‌های HVG و H حاصل شد. شاخص‌های جوانه‌زنی با افزایش سطوح شوری کاهش یافته و کاهش GSI به کاهش جذب آب در بذرها مربوط است. هر چه بنیه بذر بیشتر باشد، GSI و رشد گیاهچه بیشتر و MGT کمتر می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاملینا می‌تواند جایگزینی مناسب برای گیاهان دانه روغنی آب‌بر در مناطق نیمه‌خشک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: دانه‌های روغنی، سرعت جوانه‌زنی، کاملینا، مدل‌سازی.

مقدمه

نتیجه استخراج آب با سطوح شوری بالاتر در کشور می‌شود (Werner, 2019). با افزایش شوری در محیط ریشه، پتانسیل اسمزی محلول خاک کاهش یافته و مقدار انرژی که باید صرف فعل و انفعالات گیاه مانند فتوسنتز شود، صرف جذب آب توسط گیاه خواهد شد و بدین ترتیب عملکرد کاهش می‌یابد. افزون بر این، شوری منجر به سمیت ویژه یونی و عدم تعادل تغذیه‌ای گیاه می‌شود (Islam et al., 2017; Homaei et al., 2002). با گذشت زمان اثر سمیت یونی نیز در گیاه نمایان می‌گردد (Munns, 2011). اثر شوری بر گیاه به عواملی همچون نوع شوری، محصول، شدت تنش، مدت زمان تنش، مدیریت آبیاری، شرایط اقلیمی و کود بستگی دارد (Munns & Tester, 2008). از سوی دیگر، کاهش منابع آب شیرین ایجاب می‌کند که با مصرف آب کمتر و

تنش شوری دومین تنش محیطی محدودکننده رشد گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک (FAO, 2015) است و پس از تنش کم‌آبی، مهم‌ترین و متداول‌ترین تنش محیطی به شمار می‌آید (Koushfar et al., 2011). بر اساس تخمین‌ها، شوری یک میلیارد هکتار از اراضی (Dustnazarova et al., 2021) و بیش از ۱۰۰ کشور جهان را تحت تأثیر قرار داده است (Wang et al., 2017). همچنین سالانه، حدود ۱۰ میلیون هکتار از اراضی قابل کشت به دلیل شوری غیر قابل کشت می‌شوند (FAO, 2021). حدود ۷ میلیون هکتار از اراضی در ایران با مشکل شوری خاک مواجه است و شوری یکی از عوامل محدود کننده تولید محصول است. کمبود روزافزون منابع آب نیز باعث حفاری عمیق‌تر و در

اخیر به دلیل ترکیب خاص روغن آن (Lu & Kang, 2008) از جمله مقدار زیاد امگا ۳ (Sarv, 2016) و هزینه‌ی کم تولید هستند، ارزیابی کمی واکنش گیاهان به تنش شوری در مراحل اولیه رشد از اهمیتی ویژه برخوردار است. به علاوه، Al- & Tester (2019) و Thaker *et al.* (2021) یکی از راهبردهای مدیریت تنش شوری را انتخاب گیاهان مقاوم معرفی کرده اند که بسیار کارآمد و اقتصادی می‌باشد.

بی‌گمان، یکی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاه نسبت به تنش شوری، مرحله‌ی جوانه‌زنی است (Gholizadeh *et al.*, 2021)؛ زیرا این مرحله، مبنای استقرار اولیه گیاه بوده، در عملکرد نهایی تأثیر زیادی داشته (Tuan *et al.*, 2019) و وقوع تنش در این مرحله خسارت جبران‌ناپذیری برای گیاه به همراه دارد (Rauf *et al.*, 2007). جوانه‌زنی پدیده‌ای پیچیده مشتمل بر تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بوده که حاصل فعال شدن جنین است (Parihar *et al.*, 2014) شوری در ابتدا سبب کاهش جذب آب توسط بذرها به دلیل پتانسیل اسمزی پایین شده و سپس باعث سمیت و ایجاد تغییر در فعالیت‌های آنزیمی می‌شود (Mwando *et al.*, 2020). نخستین اثر شوری بر گیاه، تأخیر در جوانه زدن و ایجاد گیاهچه است (Uçarlı, 2020). همچنین در شوری‌های بالاتر، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه به‌گونه‌ای معنی‌دار در مقایسه با شاهد کاهش می‌یابد (Mohammadi *et al.*, 2018).

شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر، معیارهایی بسیار مهم در تشخیص تحمل گیاهان به شوری در مرحله جوانه‌زنی می‌باشند (Bybordi, 2010). بر پایه برخی مطالعات، شوری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی، کاهش سرعت جوانه‌زنی (Warwick & Francis, 2006; Sanchez *et al.*, 2014) و افزایش زمان جوانه‌زنی (Dai *et al.*, 2009) می‌شود. Baalbaki *et al.* (2009)، شاخص بنیه بذر را در شناسایی میزان جوانه‌زنی بذر در مزرعه، موفق دانسته‌اند. طول گیاهچه نیز راهنمای مهمی برای ارزیابی پاسخ گیاه به تنش شوری است (Jamil & Rha, 2004). شاخص بنیه بذر به‌عنوان شاخص تحمل به شوری و برای ارزیابی اثر شوری بر رشد گیاهچه کاربرد دارد (Ashkan & Jalal, 2013). سرعت جوانه‌زنی نیز از ویژگی‌های بسیار مهم برای بررسی رفتار گیاهچه نسبت به تنش شوری است؛ زیرا مقدار بالای آن موجب می‌شود که گیاهچه بلافاصله پس از کاهش غلظت نمک بر اثر آبیاری و یا بارش، بتواند درصد جوانه‌زنی و استقرار خود را کامل کند (Debez *et al.*, 2004).

اثرات شوری بر متابولیسم گیاه می‌تواند عملکرد محصول را محدود کند (Pakar, 2016) و یا در شورهای زیاد، جوانه‌زنی را به طور کامل متوقف کند (Sanchez *et al.*, 2014). بر پایه پژوهش (Yadav *et al.*, 2017)، جوانه‌زنی بذر تا سطح شوری ۱۳ دسی زیمنس بر متر نه تنها تأثیری بر گیاه کاملینا نداشته، بلکه سبب افزایش رشد نیز می‌شود. (Matthees *et al.*, 2018) گزارش کرده اند که گیاه کاملینا در مرحله جوانه‌زنی به شوری نسبتاً مقاوم است. آن‌ها حد آستانه را در ۸ دسی زیمنس بر متر و کاهش ۲۵٪ عملکرد را در ۳۵/۳ دسی زیمنس بر متر به دست آوردند و این گیاه را مقاوم‌تر از سایر دانه‌های روغنی (کوفیا، گل‌گاو زبان و گل همیشه بهار) به شوری دانستند.

با توجه به نیاز آبی پایین کاملینا نسبت به سایر دانه‌های روغنی و همچنین تأمین ۹۰ درصد روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات، بررسی کمی پاسخ این گیاه به شرایط واقعی حاکم بر کشور بسیار ضروری است. افزون بر این، بررسی پاسخ گیاه در مرحله‌ی جوانه‌زنی در استقرار گیاه و دستیابی به عملکرد بهینه نقشی اساسی دارد. محاسبه‌ی پارامترهای جوانه‌زنی، بررسی اثر شوری بر این پارامترها، تعیین حد آستانه و شیب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی کاملینا، برازش مدل‌های خطی و غیرخطی جذب آب به‌عنوان تابعی از هدایت الکتریکی و در نهایت انتخاب بهترین مدل از اهداف پژوهش حاضر است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی کمی مدل‌های تخمین‌گر و بررسی تأثیر شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی کاملینا، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آب شور به‌منظور اعمال

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (Vafaei *et al.*, 2010). کشت گیاه دانه روغنی کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) در سال‌های

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (Vafaei *et al.*, 2010). کشت گیاه دانه روغنی کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) در سال‌های

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (Vafaei *et al.*, 2010). کشت گیاه دانه روغنی کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) در سال‌های

دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند (Vafaei *et al.*, 2010). کشت گیاه دانه روغنی کاملینا با نام علمی (*Camelina sativa* L.) در سال‌های



دقیقه ضدغفونی و سه بار با آب مقطر شستشو شدند. تعداد ۲۵ عدد بذر درون هر پتری دیش دارای کاغذ صافی واتمن نمره ۴۲ قرار داده شد. به هر پتری دیش، ۱۰ میلی‌لیتر از تیمارهای آب شور اضافه شد. پس از اعمال تیمارها، ظروف توسط پارافیلیم پوشیده شدند و پتری‌ها در ژرمیناتور در دمای ۲۵ درجه سانتی-گراد به مدت ۷ روز قرار داده شدند (Anonymous, 2014). شمارش بذرها هر ۲۴ ساعت و به مدت هفت روز انجام گرفت. معیار بذور جوانه‌زده، خروج ریشه‌چه به‌اندازه یک میلی‌متر بود. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شد.

تنش شوری، از رقیق کردن آب‌شور تهیه‌شده از دریاچه‌ی حوض سلطان قم به وسیله‌ی آب چاه ($EC=0/85 \text{ dS m}^{-1}$) حاصل شد. سطوح شوری شامل (S_1) ۰/۸۵، (S_2) ۲، (S_3) ۴، (S_4) ۶، (S_5) ۸، (S_6) ۱۰، (S_7) ۱۲، (S_8) ۱۴، (S_9) ۱۶، (S_{10}) ۱۸، (S_{11}) ۲۰، (S_{12}) ۲۲، (S_{13}) ۲۴، (S_{14}) ۲۶، (S_{15}) ۲۸، (S_{16}) ۳۰، (S_{17}) ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر بودند. برخی از ویژگی‌های آب شور پیش از رقیق کردن اندازه‌گیری و در جدول (۱) ارائه شده‌اند. غلظت شوری در هر تیمار به وسیله‌ی دستگاه شوری‌سنج کالیبره شده (Conductivity-meter SensoDirect CON200) تعیین شد. بذرها با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت دو

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب‌شور برداشت شده پیش از رقیق کردن

B	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻¹	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	EC	SAR	pH
mmol _e L ⁻¹								dS m ⁻¹		
۱۳/۱۵	۰/۲۸۸	۵/۳۷	۲۷/۶	۰/۶۶	۳۸/۶۴	۲/۰۶	۸۱/۹۶	۱۴۴	۱۱/۶	۸/۱۵

که در آن، S_{max} حداکثر مقدار آب جذب شده به وسیله‌ی ریشه گیاه در واحد حجم خاک و زمان ($L^3L^{-3}T^{-1}$)، Z_r عمق توسعه ریشه (L) و T_p تعرق پتانسیل (LT^{-1}) است. اگر خاک نتواند نیاز آبی گیاه را برای حداکثر تعرق (T_p) فراهم آورد، به‌اندازه α که به آن تابع کاهش (Reduction Function) گویند از تعرق کاسته می‌شود:

$$S = \alpha S_{max} = \alpha \frac{T_p}{Z_r} \quad (\text{رابطه ۳})$$

معمولاً α تابعی از پتانسیل ماتریک خاک بوده و آن را به‌صورت $\alpha(h_0)$ نشان می‌دهند. به‌هنگام وجود شوری، α تابعی از پتانسیل اسمزی محلول خاک (h_0) بوده و مقدار جذب آب توسط گیاه در این شرایط به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \alpha(h_0) S_{max} = \alpha(h_0) \frac{T_p}{Z_r} \quad (\text{رابطه ۴})$$

مدل‌هایی چند برای $\alpha(h_0)$ توسط پژوهشگران ارائه شده است. (MH) (Maas & Hoffman (1977)) تابعی خطی و دو تکه ارائه داده‌اند که بر مبنای آن تا پیش از h_0^* هیچ‌گونه کاهش در جذب آب پدید نمی‌آید؛ لیکن با افزایش پتانسیل اسمزی، مقدار جذب به‌طور خطی کاهش می‌یابد:

$$Y_r = \alpha(h_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } h \leq h_0^* \\ 1 - \frac{a}{360}(h_0^* - h_0) & \text{if } h \leq h_0^* \end{cases} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن a شیب خط کاهش و ۳۶۰ ضریبی است که شوری خاک ($dS m^{-1}$) را به پتانسیل اسمزی متناظر خود برحسب سانتی‌متر آب تبدیل می‌کند.

از آنجاکه فرض خطی بودن معادله‌ی MH در شرایط واقعی در مزرعه صادق نیست (van Genuchten & Hoffman (1984))

تئوری مدل‌ها

معمولاً با افزایش شوری تا حد آستانه گیاهان (h_0^*) عملکرد کاهش نمی‌یابد، لیکن پس از آن روندی کاهشی آغاز می‌شود. در این راستا، مناسب‌ترین روش ارزیابی پاسخ گیاه، استفاده از رابطه‌ی کمی جذب آب توسط گیاه می‌باشد که خود از معادله کلی جریان یا معادله ریچاردز به دست می‌آید:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial z} + K(h) \right] - S(h) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن θ رطوبت حجمی خاک (L^3L^{-3})، t زمان (T)، C اندوزۀ تفاضلی آب در خاک (L^{-1}) و برابر با شیب منحنی رطوبتی خاک $d\theta/dh$ ، h پتانسیل ماتریک (L)، Z عمق (L)، K ضریب آبگذری غیراشباع خاک (LT^{-1}) و $S(h)$ مقدار آب جذب شده به وسیله ریشه گیاه در واحد حجم خاک و زمان ($L^3L^{-3}T^{-1}$) است. تابع S بخش مهمی از بیلان آبی را در اراضی زیر کشت تشکیل می‌دهد و تخمین آن به‌صورت کمی، هم از نقطه نظر تولید محصولات زراعی و هم از دیدگاه مدل‌سازی اهمیت به‌سزایی دارد (Homaei et al., 2002).

مدل‌هایی چند برای بیان کمی S توسط پژوهشگران پیشنهاد شده‌اند که به دو گروه مدل‌های خرد و کلان تقسیم می‌شوند. در مدل‌های کلان، مقدار آب جذب شده توسط گیاه برابر با مقدار تعرق واقعی (T_a) و در شرایطی که هیچ‌گونه محدودیت آبی در خاک وجود نداشته باشد، برابر تعرق پتانسیل (T_p) در نظر گرفته می‌شود که معادله کلی آن به صورت زیر است (Feddes et al., 1978):

$$S = S_{max} = \frac{T_p}{Z_r} \quad (\text{رابطه ۲})$$

ورودی شامل تعداد دانه‌های جوانه‌زده در روز، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه است و نرم‌افزار قادر است درصد، سرعت، زمان جوانه‌زنی و بنیه بذر را محاسبه کند. همچنین بنیه بذر از رابطه‌ی ارائه شده توسط Abdul-Baki & Anderson (1973) نیز محاسبه گردید. پارامترهای جوانه‌زنی با استفاده از روابط زیر به دست آمد:

درصد جوانه‌زنی نهایی (FGP^1) بر پایه‌ی رابطه زیر محاسبه شد (ISTA, 2015):

$$FGP = (n/N) \times 100 \quad (\text{رابطه } 11)$$

که در آن n تعداد بذر جوانه‌زده و N تعداد کل بذرها است.

متوسط زمان جوانه‌زنی (MGT^2) از رابطه‌ی زیر به دست آمد:

$$MGT = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad (\text{رابطه } 12)$$

که در آن n_i تعداد بذر جوانه‌زده (غیر تجمعی) و t_i زمان از

شروع جوانه‌زنی برحسب روز تا مشاهده i ام است (Labouriau, 1983).

برای محاسبه‌ی سرعت جوانه‌زنی (GSI^3) از رابطه‌ی زیر

استفاده شد:

$$GSI = \sum_{i=1}^k (n_i / t_i) \quad (\text{رابطه } 13)$$

که در آن n تعداد بذر جوانه‌زده در روز و t تعداد روز است

(Maguire, 1962).

بنیه بذر از دو رابطه‌ی (۱۴) ارائه شده توسط Abdul-Baki

(1973) & Anderson (SV) و رابطه‌ی (۱۵) ارائه شده توسط

Sako *et al.*, (2001) در (SV-S) SeedCalc به دست آمد:

$$SV = FGP \times S_L \quad (\text{رابطه } 14)$$

(رابطه ۱۵)

$$SV-S = (\text{Growth} \times w_g) + (\text{Uniformity} \times w_u)$$

که در آن‌ها S_L طول گیاهچه برحسب سانتی‌متر و FGP

درصد نهایی جوانه‌زنی است؛ $Growth$ شاخص رشد، $Uniformity$

شاخص یکنواختی و w_g و w_u به ترتیب پارامتر وزن‌دهی شاخص

رشد و یکنواختی هستند.

شاخص بنیه بذر شامل پارامترهای رشد و یکنواختی است.

از آنجا که یکنواختی جزء شاخص بنیه بذر است، در نتیجه بذر

مرده‌ی یکنواخت می‌تواند یکنواختی ۱۰۰۰ داشته باشد و شاخص

بنیه نسبتاً بالایی به دست آورد که این ایراد توسط Sako *et al.*

(2001) با به کار بردن یکنواختی در فرمول بنیه بذر رفع گردید

تا یکنواختی بذور مرده، صفر در نظر گرفته شود.

میانگین طول گیاهچه ($M-SL^4$) و میانگین نسبت ریشه‌چه

به ساقه‌چه ($Razao^5$) نیز از روابط (۱۶) و (۱۷) محاسبه گردید:

(HVG) معادله‌ی غیرخطی برای جذب آب در خاک شور ارائه دادند:

$$\alpha(h_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_0}{h_{050}}\right)^p} \quad (\text{رابطه } 6)$$

که در آن، h_{050} مقدار پتانسیل اسمزی است که در آن

$\alpha(h_0)$ به اندازه‌ی ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و P نیز ضریبی تجربی

و بی‌بعد است.

جذب آب توسط گیاه تا رسیدن به یک شوری مشخص

کاهش نمی‌یابد. این مقدار شوری همان پتانسیل اسمزی آستانه

یا h_0^* است. به همین دلیل (Dirksen & Augustijn, 1988) (DA)

با تعدیل معادله (۶) نسبت به h_0^* رابطه‌ی زیر را ارائه دادند:

$$\alpha(h_0) = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_0 - h_0^*}{h_0^* - h_{050}}\right)^p} \quad (\text{رابطه } 7)$$

این مدل نسبت به مدل قبلی، دقت بیشتری در شبیه‌سازی

واکنش گیاه به شوری دارد، لیکن مهم‌ترین محدودیت آن،

به‌دست‌آوردن h_{050} است. همچنین (Homaee, 1999) به دلیل

عدم تعریف P از نظر فیزیکی، P را فاکتور شکل نامید که به گیاه،

خاک و اقلیم وابسته است و برای محاسبه‌ی آن تابع زیر را ارائه داد:

$$P = \frac{h_{050}}{h_{050} - h_0^*} \quad (\text{رابطه } 8)$$

در حقیقت P تابعی از h_{050} و h_0^* است و تأثیر h_{050} بر آن

بیش از h_0^* است.

باتوجه‌به حل نشدن مشکل به دست آوردن h_{050} ، Homaee

(2002) *et al.* (H) مقدار h_{0max} را جایگزین h_{050} نمودند که حد

آستانه دوم تابع کاهش است و مدل غیرخطی زیر را که دارای دو

آستانه‌ی کاهش است، پیشنهاد نمودند:

$$\alpha(h_0) = \frac{1}{1 + (1 - \alpha_0) / \alpha_0 \left[\frac{h_0 - h_0^*}{h_0^* - h_{0max}} \right]^p} \quad (\text{رابطه } 9)$$

بر پایه‌ی این مدل، کاهش در مقدار α در شوری‌های بیش از

h_0^* ادامه می‌یابد تا به یک شوری معین (h_{0max}) برسد. در شوری

های بیشتر از h_{0max} ، افزایش شوری نمی‌تواند با همان روند قبلی

در مقدار α کاهش ایجاد کند. این امر نشان می‌دهد که

در $h_{0max} < h_0$ گیاه زنده بوده، لیکن فعالیت بیولوژیک آن حداقل

است. α مقدار α مربوط به h_{0max} است. Homaee *et al.* (2002)

مقدار P را به صورت زیر تعریف کردند:

$$P = \frac{h_{0max}}{h_{0max} - h_0^*} \quad (\text{رابطه } 10)$$

پارامترهای جوانه‌زنی

به‌منظور برآورد پارامترهای جوانه‌زنی از بسته (Silva SeedCalc

et al., 2019) در نرم‌افزار R استفاده شد. بسته SeedCalc، یک

نرم‌افزار تحلیل آماری قدرتمند در تحقیقات بذر است. داده‌های

4 Mean seedling length

5 Mean of the root/shoot ratio

1 Final germination percentage

2 Mean germination time

3 Germination speed index



توسط مدل DA برابر با ۲، ۱۲ و ۶ دسی زیمنس بر متر حاصل شد. همچنین حد آستانه‌ی تحمل به شوری شاخص‌های GSI، SV و SV-S توسط مدل H برابر با ۲، ۱۲ و ۶ دسی زیمنس بر متر به دست آمد، درحالی‌که طبق مقادیر اندازه‌گیری شده برابر با ۲، ۱۲ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشند. حد آستانه‌ی تحمل به شوری به دست آمده توسط مدل خطی MH و مدل‌های غیرخطی DA و H برای شاخص‌های GSI و SV برابر با مقادیر اندازه‌گیری شده است و مقدار به دست آمده توسط مدل MH برای شاخص SV-S نیز برابر با مقدار اندازه‌گیری شده است؛ لیکن حد آستانه‌ی تحمل به شوری به دست آمده توسط مدل‌های غیرخطی DA و H برای شاخص SV-S با مقادیر اندازه‌گیری شده تفاوت زیادی دارد که علت آن عدم یکنواختی و سیگموتیدی بودن داده‌های SV-S است؛ این در حالی است که این مدل‌ها به شدت به حد آستانه حساس هستند (Homaei et al., 2002).

در پژوهش (Bybord & Tabatabaei, 2009)، حد آستانه-ی صفاتی نظیر درصد و سرعت جوانه‌زنی در رقم SLM₀₄₆، ۶ دسی زیمنس بر متر به دست آمده است. در مطالعه‌ی آن‌ها با افزایش قابلیت هدایت الکتریکی به بیش از حد آستانه، شاخص‌ها به شدت کاهش یافتند که نشان از تند بودن شیب کاهش است. شیب کاهش، پارامتری مهم است و هر چه کندتر باشد، کاهش عملکرد نیز کندتر است. با توجه به داده‌های ارائه شده در جدول (۲)، افزایش سطوح شوری موجب کاهش GSI، SV و SV-S با شیب ۲/۴، ۷/۷ و ۱/۷ درصد شد. درحالی‌که شیب کاهش به دست آمده توسط مدل MH به ترتیب برابر با ۲/۴، ۵/۶ و ۱/۹ درصد پیش‌بینی گردید. همان‌گونه که مشخص است، مدل MH برای تخمین حد آستانه و شیب کاهش شاخص GSI موفق بوده است. از سویی دیگر با توجه به داده‌ها، شیب کاهش شاخص‌های جوانه-زنی کاملینا تحت تنش شوری بسیار کند است که بیان‌کننده‌ی مقاومت کاملینا به تنش شوری است. همچنین اگر شیب کند باشد، EC₅₀ و EC_{max} نیز مقدار بسیار بیشتری به خود اختصاص می‌دهند. مقدار EC₅₀ برای شاخص‌های GSI، SV و SV-S به ترتیب برابر با ۲۲، ۱۸/۵ و ۳۶ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. EC_{max} این شاخص‌ها نیز به ترتیب برابر با ۳۵، ۲۴ و ۴۸ دسی زیمنس بر متر تعیین گردید. بر پایه‌ی EC₅₀ و EC_{max}، کاملینا از نظر شاخص‌های GSI، SV و SV-S به ترتیب بسیار مقاوم، مقاوم و بسیار مقاوم به تنش شوری در مرحله‌ی جوانه‌زنی است که نشان می‌دهد کاملینا قابلیت استقرار سریع و تولید گیاهچه قوی در

$$M-SL = \frac{\sum_{i=1}^k (RRA)}{n} \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

$$Raza = \frac{\sum_{i=1}^k (RRA)}{n} \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

که در آن‌ها، SL و n به ترتیب طول هر گیاهچه و تعداد گیاهچه‌های مورد بررسی (Nakagawa et al., 1999)؛ و RRA نسبت بین ریشه‌چه و ساقه‌چه‌ی هر گیاهچه است (Benincasa, 2003).

آماره‌های ارزیابی کارایی

در این پژوهش، برازش و کد نویسی مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Matlab انجام شد. روال بهینه‌سازی مناسب مدل‌های برازشی بر داده‌های اندازه‌گیری شده با تغییر مکرر در پارامترهای مدل بر اساس کاهش^۱ RMSE و حداقل مجموع مربعات خطا بین داده‌های پیش‌بینی و اندازه‌گیری انجام شد. مجموع مربعات خطا (SSR^۲) و آماره‌های ارزیابی کارایی مدل از جمله ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل (EF^۳)، ماکزیمم خطا (ME^۴) و ضریب خطای تجمعی (CRM^۵) از روابط زیر محاسبه شدند:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (\text{رابطه ۱۸})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۲۰})$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (\text{رابطه ۲۱})$$

$$ME = \max |P_i - O_i|_{i=1}^n \quad (\text{رابطه ۲۲})$$

که در آن‌ها O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، P_i مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد نمونه‌ها است (Homaei et al., 2002).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Ver. 9.4) و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD صورت گرفت. پیش از تجزیه واریانس، نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها بررسی شد.

نتایج و بحث

مدل‌سازی شاخص‌های GSI، SV و SV-S

مقادیر اندازه‌گیری شده قابلیت هدایت الکتریکی شاخص‌های GSI، SV و SV-S و مقادیر تخمین زده شده‌ی آن‌ها بر مبنای مدل‌های مختلف تخمین‌گر شوری در جدول (۲) ارائه شده‌اند. بر پایه‌ی داده‌های ارائه شده در این جدول، حد آستانه‌ی تحمل به شوری شاخص‌های GSI، SV و SV-S توسط مدل MH به ترتیب برابر با ۲، ۱۲ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشند و این مقادیر

4 The the maximum error
5 The coefficient of residuals mass

1 The root-mean-square error
2 The sum of the squared residuals
3 The modeling efficiency

است (Bybordi & Tabatabaei., 2009). طبق نتایج Moss & Hoffman., (1977), سطوح شوری بالا منجر به عدم تعادل یونی و اختلال در تنظیم اسمزی شده و نهایتاً موجب کاهش جذب آب توسط بذر می‌شود. طبق گفته‌ی Smith & Comb. (1991) رطوبت کم بذر باعث افزایش تنش شوری و توقف متابولیسم یا مراحل خاصی از متابولیک جوانه‌زنی می‌شود. کاهش اجزای جوانه‌زنی را می‌توان به کاهش سرعت و میزان جذب آب و نیز اثرات منفی پتانسیل‌های اسمزی پایین و سمیت یون‌ها Na^+ و Cl^- بر فرایندهای بیوشیمیایی مراحل کاتابولیک و آنابولیک جوانه‌زنی نسبت داد (Neto et al., 2004). Miranda et al., (2010) بیان کردند که در سطوح شوری زیاد، بذرها تحت تأثیر تنظیم اسمزی قرار می‌گیرند و احتمالاً تنش باعث ورود یون‌های دیگر به بذر می‌شود.

سطوح بسیار بالایی از شوری را دارد. شاخص‌های SV و SV-S بر اساس طول ساقچه‌چه و طول ریشه‌چه بوده و هر چه بیشتر باشند، نشان می‌دهد که تعداد بذرها بیشتر، گیاهچه بزرگ‌تر و یکنواخت‌تری تولید کرده‌اند (Gama et al., 2021). باید توجه داشت که شاخص SV-S، یکنواختی بذور را هم در نظر می‌گیرد؛ که این امر منجر به افزایش دقت محاسبه‌ی سرعت و یکنواختی رشد بذر گردیده است. در نتیجه شاخص SV-S از دقت بیشتری نسبت به SV برخوردار بوده و می‌توان بیان کرد که براساس شاخص SV-S و GSI، کاملینا در این مرحله از رشد، به تنش شوری بسیار مقاوم می‌باشد. افزون بر مقاومت بالای کاملینا، شاخص‌ها با افزایش سطوح شوری با شیب مشخصی کاهش یافته-اند. (Ayaz et al. (2000)، کاهش جوانه‌زنی بذر در تنش شوری را به دلیل بروز برخی اختلالات متابولیکی دانستند. به نظر می‌رسد کاهش سرعت جوانه‌زنی به کاهش جذب آب در بذرها مرتبط

جدول ۲- مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده هدایت الکتریکی شاخص‌های SV-S و MGR، GSI تحت تنش شوری بر مبنای مدل‌های مختلف تخمین‌گر

مدل	شاخص	GSI	SV	SV-S
پارامتر	مقدار اندازه‌گیری شده	مقدار تخمین زده شده	مقدار اندازه‌گیری شده	مقدار تخمین زده شده
MH	EC^* ($dS m^{-1}$)	۲	۱۲	۱۲
	Slope (درصد)	۲/۴	۷/۷	۵/۶
HVG	EC_{50} ($dS m^{-1}$)	۲۲	۱۸/۵	۱۹/۵
	P	۱/۱	۲/۸۴	۶/۱
DA	EC^* ($dS m^{-1}$)	۲	۱۲	۶
	EC_{50} ($dS m^{-1}$)	۲۲	۱۸/۵	۱۹
H	P	۱/۱	۲/۸	۱/۴
	EC_{max} ($dS m^{-1}$)	۳۵	۲۴	۲۳/۹
H	α_0	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
	EC^* ($dS m^{-1}$)	۲	۱۲	۶
	P	۱/۱	۲	۱/۸

پارامترهای محاسبه شده برای ارزیابی کارایی مدل‌های برازش یافته بر شاخص‌های SV، SV-S و GSI، نسبتی تحت تنش شوری بر مبنای مدل‌های مختلف تخمین‌گر در جدول (۳) ارائه شده است. با بررسی آماره‌های محاسبه‌شده و مقایسه کارایی مدل‌ها، می‌توان به تعیین مدلی پرداخت که از دقت بیشتری در تخمین شاخص‌ها برخوردار بوده و عملکرد بهتری دارد. مقدار R^2 به دست آمده برای شاخص‌های SV، SV-S و GSI، به ترتیب در محدوده‌ی ۰/۹۸-۰/۹۷۳، ۰/۹۸۸-۰/۹۶۲ و ۰/۹۲-۰/۹۰۵ قرار دارد. همچنین مقادیر متوسط RMSE مدل‌های شوری برازش یافته بر GSI توسط مدل‌های MH و HVG به ترتیب برابر با ۰/۰۳۶ و ۰/۰۳۱؛ و برای سایر مدل‌ها ۰/۰۳۳ به دست آمد. مقدار

RMSE مربوط به مدل‌های شوری MH، HVG، DA و H برای شاخص SV به ترتیب برابر با ۰/۰۵، ۰/۰۳، ۰/۰۲۹ و ۰/۰۲۹ است؛ و مقدار RMSE مربوط به مدل‌های شوری MH، HVG، DA و H برای شاخص SV-S به ترتیب برابر با ۰/۰۳۶، ۰/۰۳۷، ۰/۰۳۴ و ۰/۰۳۴ به دست آمد. کمترین مقدار SSR مدل‌های برازش یافته بر شاخص‌های SV و GSI به ترتیب توسط مدل‌های HVG و MH حاصل شد؛ و کمترین مقدار SSR برای شاخص SV-S توسط مدل‌های DA و H به دست آمد. حداقل مقدار EF نیز برای شاخص‌های SV، SV-S و GSI، به ترتیب توسط مدل‌های MH، HVG و MH به دست آمد که نشان دهنده تطابق بیشتر بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده توسط این مدل‌ها می‌باشد.

تمایل به بیش برآوردی دارند. علت گرایش مدل‌ها به بیش برآوردی یا کم برآوردی مربوط به نوع داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد. در صورتی که حد آستانه، مقدار بالایی داشته و روند شکل، سیگموئیدی باشد، مقادیر برآورد شده توسط مدل‌ها بیش از مقادیر اندازه‌گیری خواهند بود. کمترین مقدار SSR و ME و ماکزیمم مقدار EF توسط مدل HVG برازش یافته بر شاخص‌های GSI و SV به دست آمد. همچنین حداقل مقدار SSR و بیشترین مقدار EF برای شاخص SV-S توسط مدل‌های DA و H به دست آمد. هر چند که همه مدل‌ها نتایج رضایت‌بخش و قابل قبولی ارائه کرده‌اند، لیکن مدل‌های غیرخطی عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی برای هر سه شاخص ارائه دادند. از بین مدل‌های شوری برازش یافته بر شاخص GSI، مدل HVG به دلیل RMSE، ME و کوچک‌تر و R^2 بزرگ‌تر بهترین عملکرد را داشت. همچنین مدل‌های DA و H در شاخص SV و SV-S بهترین عملکرد را ارائه دادند. مدلی از بین این دو مدل مناسب‌تر خواهد بود که پارامترهای آن کاملاً مشخص و تعریف شده باشد و همچنین به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد؛ به همین دلیل مدل H بهترین مدل برای تخمین شاخص‌های SV و SV-S شناخته شد. ضعیف‌ترین عملکرد مدل‌های برازش یافته بر دو شاخص GSI و SV توسط مدل خطی MH و بر شاخص SV-S توسط مدل HVG به دست آمد.

لیکن مقدار آن توسط مدل‌های HVG، DA و H برازش یافته بر شاخص GSI منفی است. مقدار EF به دست آمده توسط مدل‌های MH، DA و H برازش یافته بر شاخص SV نیز منفی می‌باشد. همچنین مقدار منفی آن برای شاخص SV-S توسط مدل MH به دست آمد. مقدار منفی EF نشان می‌دهد که میزان انحراف مقادیر پیش‌بینی شده از مقدار میانگین اندازه‌گیری شده، بیش از میزان انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقدار میانگین اندازه‌گیری شده است و بر پایه این، مدل‌ها برای شاخص‌ها نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده، برآورد خوبی محسوب نمی‌شوند. مثبت بودن EF در سه مدل HVG، DA و HF برای شاخص SV-S نشان می‌دهد این مدل‌ها عملکرد مناسبی در برآورد این شاخص داشته‌اند که علت اصلی آن سیگموئیدی بودن روند داده‌ها می‌باشد. مقدار ME، کارایی نامطلوب و نامناسب مدل را نشان می‌دهد و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل مناسب‌تر است. حداقل مقدار ME برای هر سه شاخص توسط مدل HVG به دست آمد. با توجه به مقادیر CRM، همه مدل‌ها مقدار شاخص GSI را در مقایسه با مقدار اندازه‌گیری شده، کمتر برآورد می‌کنند. مقادیر منفی CRM به دست آمده توسط مدل‌های DA و H برای شاخص SV-S حاکی از کم برآوردی این مدل‌ها است و همچنین مقادیر منفی CRM برای مدل MH در برآورد شاخص SV-S گرایش این مدل را به کم برآوردی نشان می‌دهد. مقادیر مثبت به دست آمده توسط سایر مدل‌ها نیز نشان می‌دهد که این مدل‌ها

جدول ۳- پارامترهای محاسبه شده برای ارزیابی کارایی مدل‌های برازش یافته بر شاخص‌های GSI، SV و SV-S نسبتی تحت تنش شوری بر مبنای مدل‌های مختلف تخمین‌گر

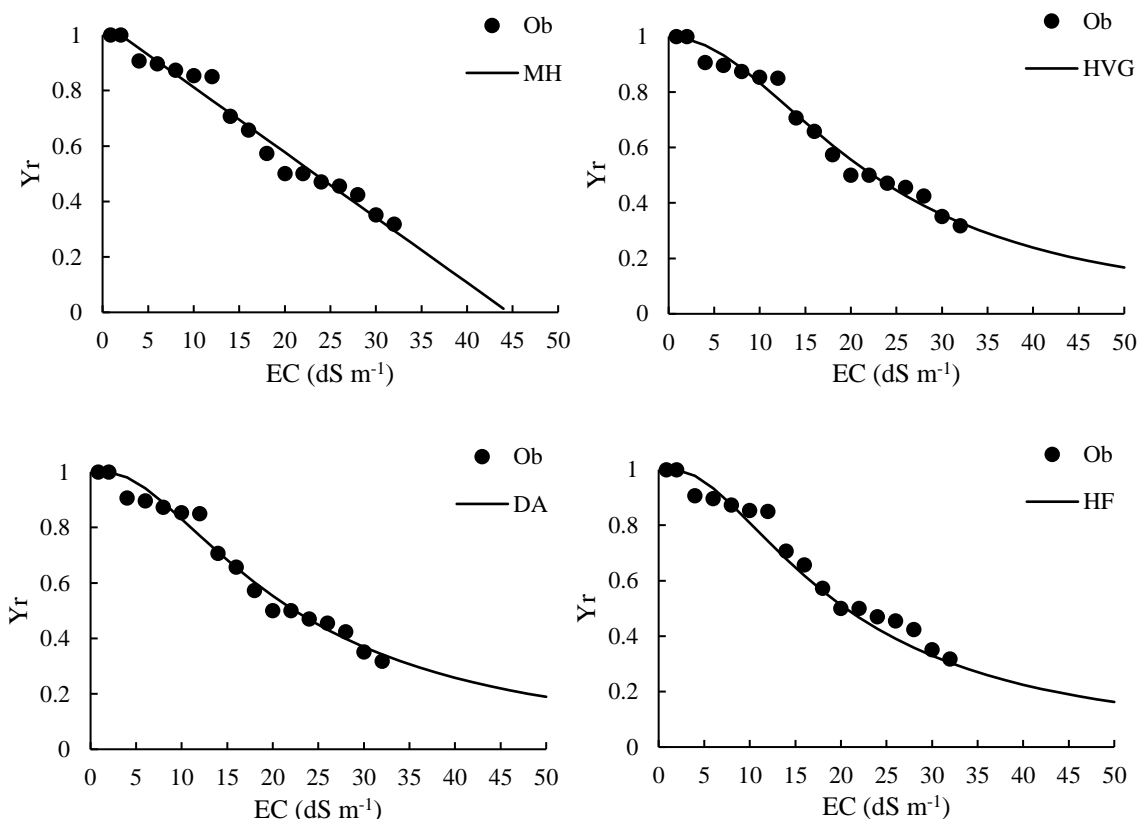
شاخص	پارامتر/معادله	R^2	RMSE	SSR	EF	ME	CRM
GSI	MH	۰/۹۷۳	۰/۰۲۶	۰/۰۲۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲	-۰/۰۰۳
	HVG	۰/۹۸۰	۰/۰۳۱	۰/۰۱۸	-۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۳
	DA	۰/۹۷۷	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	-۰/۰۳۲	۰/۰۱۹	-۰/۰۰۷
	H	۰/۹۷۷	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	-۰/۰۳۲	۰/۰۱۹	-۰/۰۰۷
SV	MH	۰/۹۶۲	۰/۰۵	۰/۰۹۰	-۰/۰۸۷	۰/۱۶۹	۰/۰۱۱
	HVG	۰/۹۸۷	۰/۰۳	۰/۰۳۱	۰/۰۱۶	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲
	DA	۰/۹۸۸	۰/۰۲۹	۰/۰۳۰	-۰/۰۱۹	۰/۰۱۰	-۰/۰۰۲
	H	۰/۹۸۸	۰/۰۲۹	۰/۰۳۰	-۰/۰۱۹	۰/۰۱۰	-۰/۰۰۲
SV-S	MH	۰/۹۱۱	۰/۰۳۶	۰/۰۲۴	-۰/۰۱۷	۰/۰۵۵	-۰/۰۰۹
	HVG	۰/۹۰۵	۰/۰۳۷	۰/۰۲۶	۰/۲۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۰۶
	DA	۰/۹۲۰	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۱۱۹	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴
	H	۰/۹۲۰	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۱۱۹	۰/۰۳۵	۰/۰۰۴۲

به‌رغم عملکرد ضعیف نسبت به سایر مدل‌های غیرخطی و به دلیل پایین بودن مقدار حد آستانه، دقت تقریباً مشابه مدل‌های غیرخطی ارائه داد. با توجه به شکل، کم برآوردی تمام مدل‌ها قابل مشاهده است. البته انتخاب مدلی که بهترین عملکرد را داشته به

در شکل (۱) نمودار حاصل از برازش مدل‌های شوری بر شاخص GSI به‌عنوان تابعی از قابلیت هدایت الکتریکی ارائه شده است. طبق نمودار، روند شاخص GSI به دلیل وجود حد آستانه تقریباً سیگموئیدی و غیرخطی است؛ لیکن مدل خطی MH

افقی (هدایت الکتریکی ۴۵ دسی زیمنس بر متر) نشان‌دهنده‌ی پاسخ GSI در زمان غالب بودن هدایت الکتریکی است. به طور کلی با توجه به شکل، عملکرد مناسب همه مدل‌ها به خصوص مدل‌های غیر خطی مشخص است.

دلیل نزدیک بودن نتایج مدل‌های غیرخطی باید بر مبنای آماره‌های ارزیابی کارایی که در جدول (۳) ارائه شده است، انجام شود. EC_{50} ، EC^* و EC_{max} برای شاخص GSI به ترتیب برابر با ۲، ۲۲ و ۳۵ دسی زیمنس بر متر است. محل برخورد مدل MH با محور

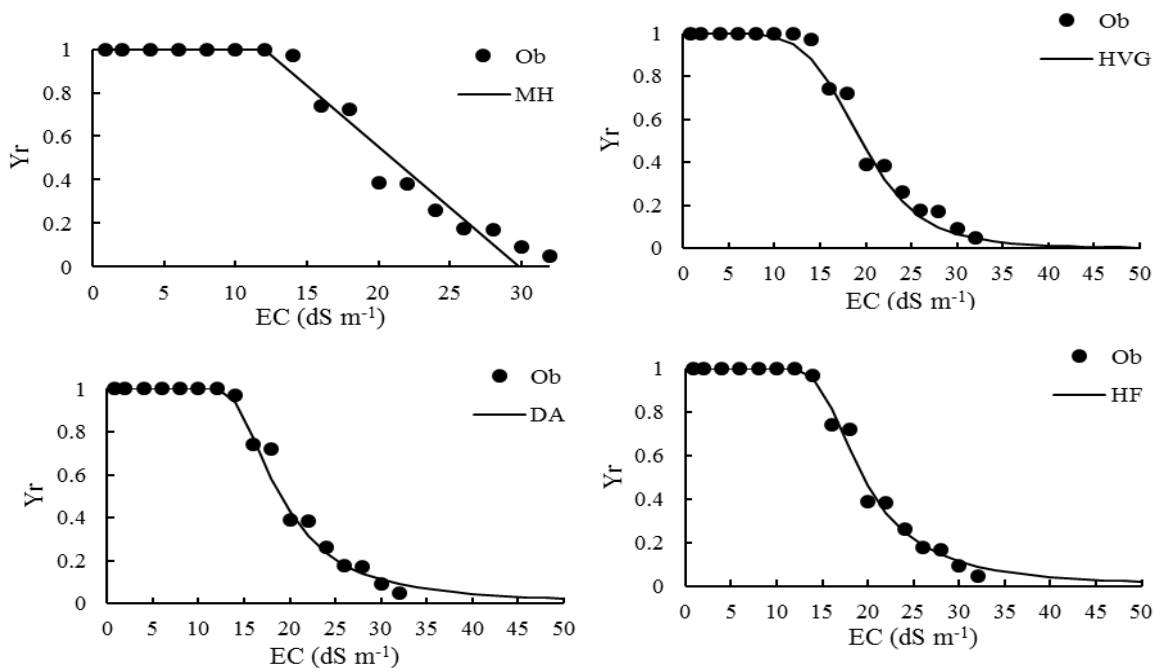


شکل ۱- مدل‌های برازش یافته بر شاخص GSI

با محور افقی نشان‌دهنده‌ی پاسخ SV در زمان غالب بودن هدایت الکتریکی (۳۳ دسی زیمنس بر متر) است. به طور کلی بر پایه شکل، عملکرد مناسب همه مدل‌ها به خصوص مدل‌های غیر خطی قابل مشاهده است.

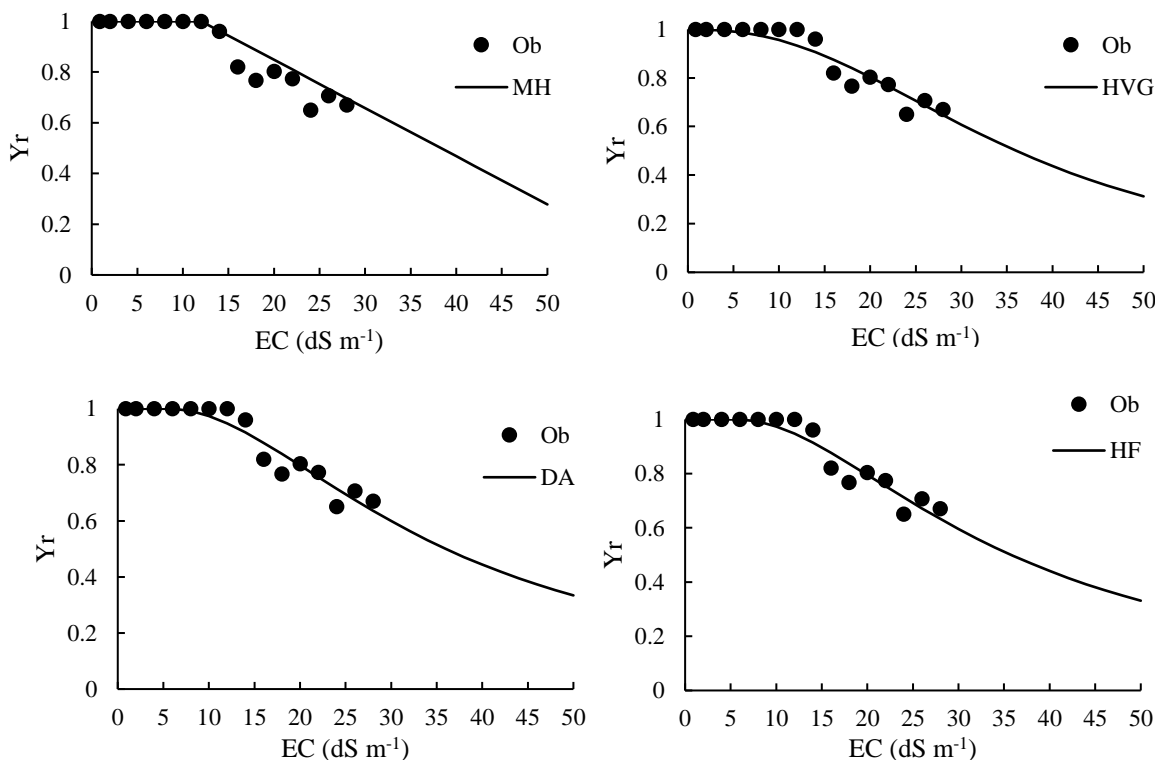
در شکل (۳) نمودار حاصل از مدل‌های شوری برازش یافته بر شاخص SV-S به‌عنوان تابعی از هدایت الکتریکی ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، روند داده‌ها تا حد آستانه ثابت و پس از آن، نزولی است. با توجه به سیگموئیدی بودن شکل نمودار انتظار می‌رود مدل‌های غیرخطی عملکرد بهتری ارائه دهند، لیکن به دلیل روند داده‌ها، همه مدل‌ها نتایج تقریباً مشابهی ارائه دادند. طبق شکل (۳) در تمام مدل‌ها به جزء MH بیش برآوردی مشاهده می‌شود. حد آستانه کاهش شاخص SV-S برابر با ۱۲ دسی زیمنس بر متر است و محل برخورد مدل MH با محور افقی (هدایت الکتریکی ۶۰ دسی زیمنس بر متر) نشان‌دهنده‌ی پاسخ SV-S در زمان غالب بودن

مدل‌های شوری برازش یافته بر شاخص SV در شکل (۲) ارائه شده است. بر پایه داده‌های اندازه‌گیری شده، تنش شوری تا حد آستانه موجب افزایش SV و پس از حد آستانه موجب کاهش آن می‌گردد. به دلیل سیگموئیدی بودن شکل داده‌های تجربی، مدل‌های غیرخطی، عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی ارائه دادند. (Sonneveld *et al.*, 2005) نیز بیان کرده‌اند که معادلات خطی تنها هنگامی که مشاهدات قبل از حد آستانه، حذف شوند و شکل منحنی از حالت سیگموئیدی خارج شود، نتایج مناسبی دارد که از قدرت و اعتبار مدل خطی می‌کاهد. طبق شکل (۲)، از بین مدل‌های برازش یافته، مدل‌های DA و H تمایل به کم برآوردی و مدل‌های دیگر تمایل به بیش‌برآوردی دارند. انتخاب بهترین مدل توسط شکل نیز به دلیل نتایج تقریباً مشابه مدل‌های غیرخطی میسر نبوده و بدین منظور باید از داده‌های ارائه شده در جدول آماره‌های ارزیابی کارایی استفاده کرد. حد آستانه‌ی کاهش شاخص SV، ۱۲ دسی زیمنس بر متر است و محل برخورد مدل‌ها



هدایت الکتریکی است. به طور کلی، عملکرد مناسب همه مدل‌ها به ویژه مدل‌های غیر خطی از شکل قابل مشاهده می‌باشد.

شکل ۲- مدل‌های برازش یافته بر شاخص SV



شکل ۳- مدل‌های برازش یافته بر شاخص SV-S

شوری بر متوسط زمان جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص SV، طول گیاهچه و Razao در سطح احتمال آماری ۱ درصد ($Pvalue < 0.01$) معنی‌دار است. در نتیجه می‌توان دریافت که شوری به طوری معنی‌دار بر شاخص‌های جوانه‌زنی اثرگذار است.

تجزیه واریانس اثر سطوح شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر تنش شوری بر شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله MGT، GSI، SV، SV-S و طول گیاهچه و Razao در جدول (۴) ارائه شده است. طبق این نتایج، اثر تنش

از آن کاهش یافته‌اند. بیشینه MGT، در تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر و حداقل آن در تیمارهای ۰/۸۵ و ۲ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. این شاخص در محدوده‌ی ۱-۳/۲۴ روز قرار دارد. با افزایش سطوح شوری، MGT افزایش یافت که نشان می‌دهد هر چه سطح شوری بیشتر شود، زمان بیشتری برای جوانه‌زنی بذر لازم است. برخی پژوهشگران علت تأخیر در جوانه‌زنی را کاهش پتانسیل آب (Alencar et al., 2015) و برخی سمیت یونی می‌دانند (Hajivand Ghassemabadi et al., 2018). (2017) Amirmoradi & Feizi، MGT را شاخصی مهم از بنیه بذر در رقابت به تنش دانستند. شاخص GSI، امکان استقرار گیاه و فرار از شرایط تنش را در صورت مهیا شدن شرایط مطلوب نشان می‌دهد و اهمیت بالایی در تحمل گیاه به شوری دارد. بیشینه GSI در تیمار ۰/۸۵ و ۲ دسی زیمنس بر متر و کمینه آن در تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. GSI در محدوده‌ی ۲۵-۷/۹۴ قرار دارد. با افزایش شوری، GSI کاهش یافت. کاهش سرعت جوانه‌زنی با کاهش جذب آب در مرحله‌ی آبیاری و تورژانس ارتباط دارد (Bybordi & Tabatabaei., 2009). (Bybordi 2010) بیان کرد که با افزایش غلظت سطوح شوری، سرعت جوانه‌زنی کانولا در سطح شوری ۲۰ دسی زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، ۳۳ درصد کاهش یافت. ایشان عامل کاهش GSI را عدم تعادل یونی، اختلالات تنظیم اسمزی و در نهایت کاهش جذب آب توسط بذر دانستند. در مطالعه Khodarahmpour et al., (2012)، سرعت جوانه‌زنی بذر تیمارهای صفر، ۴، ۸ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر به ترتیب برابر با ۱۱/۸۴، ۱۰/۵۲، ۸/۵۷ و ۷/۸۷ بذر در روز به دست آمد.

تنش شوری موجب کاهش SV، SV-S، SV، طول گیاهچه و Razao و افزایش MGT خواهد شد. (Yohannes et al., 2020) به بررسی اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه کاملینا پرداختند و در مطالعه آن‌ها میانگین مربعات شاخص‌های بنیه بذر و طول گیاهچه به ترتیب برابر با ۱۳۷۰۷۸۶/۲۲ درصد در سانتی-متر و ۱۱/۱۷ سانتی‌متر به دست آمد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. (Gulzar & Khan., 2001) گزارش کردند که تنش شوری از جذب آب به وسیله بذر جلوگیری کرده و به طور معنی-داری موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی می‌شود. (Bybordi 2010). پژوهشی پیرامون اثر تنش شوری بر جوانه‌زنی کانولا انجام دادند، طبق نتایج ایشان، اثر تنش شوری بر سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار است. کاهش آب قابل‌دسترس بذر به دلیل تجمع یون‌ها و همچنین سمیت یون‌ها در ساختار گیاهچه می‌تواند از دلایل کاهش رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه باشد. تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار طول ساقه‌چه و ریشه‌چه ارقام کلزا می‌شود. (Abogadallah & Quick., 2009) یکی از دلایل کاهش رشد گیاهچه کلزا را تأخیر در جوانه‌زنی کلزا نسبت به شرایط نرمال دانستند.

مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی در گیاه کاملینا تحت تنش شوری در جدول (۵) ارائه شده است. بر پایه داده‌های ارائه شده در این جدول، با افزایش تنش شوری تا سطح ۲ دسی زیمنس بر متر، MGT کاهش و GSI افزایش یافته و پس از این مقدار شوری، MGT افزایش و GSI کاهش یافته است. همچنین شاخص‌های SV، SV-S، SV، طول گیاهچه و Razao به ترتیب تا سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر افزایش و پس

جدول ۵- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی گیاه کاملینا تحت تنش شوری

Razao	طول گیاهچه (cm)	بنیه بذر - SeedCalc	بنیه بذر (درصد در cm)	GSI (بذر در روز)	MGT (روز)	درجه آزادی (df)	منابع تغییر
							(sov)
میانگین مربعات							
۳۰/۲۳**	۱۱/۵۸**	۱۵۳۸/۹**	۱۱۵۸۱۷/۷۷**	۱۰۲/۵۴**	۱/۳۲۳**	۱۶	شوری
۶/۰۷	۰/۳۶	۴۴۱/۷۷	۳۶۰/۴۹	۰/۱۰	۱/۷×۴-۱۰	۳۴	خطای آزمایش
۳۷/۵۸	۲۰/۴	۱۰/۷۶	۲۰/۴	۱/۹۳	۰/۷۲۷	-	ضریب تغییرات (درصد)

قرار دارد. حداکثر (۲۴۳/۲۲) و حداقل (۱۵۸/۲) SV-S به ترتیب در سطوح شوری ۱۲ و ۲۴ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. هر چه بنیه بذر بیشتر باشد، سرعت جوانه‌زنی بذر در روز و رشد گیاهچه بیشتر و همچنین زمان جوانه‌زنی کمتر خواهد بود. ماکزیمم و مینیمم مقدار Razao نیز در سطح شوری ۱۲ و ۲۸ دسی زیمنس بر متر به ترتیب برابر با ۱۱/۶۴۱ و ۱/۵۱۹ به دست آمد. (Shahbazi & Kiani., 1997) در مطالعات خود دریافتند که بیش از آن که درصد جوانه‌زنی بذرهای کلزا در اثر شوری کاهش

مقایسه میانگین اثر سطوح شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی شاخص SV ارائه شده در جدول (۶)، به دلیل اینکه جوانه‌زنی نهایی در تمام سطوح شوری ۱۰۰ درصد حاصل شد، برابر با طول گیاهچه است. ماکزیمم شاخص SV و طول گیاهچه در تیمار ۱۰ تا ۱۴ دسی زیمنس بر متر و حداقل آن در تیمار ۱۵ تا ۳۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. SV و طول گیاهچه به ترتیب در محدوده‌ی ۶۷/۶۴۶-۳۰ سانتی‌متر در روز و ۰/۳-۶/۴۷ سانتی‌متر

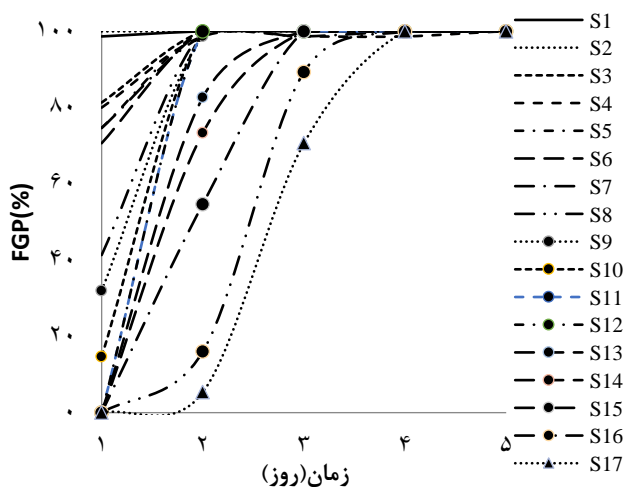
گیاهچه را در شوری ۳ دسی زیمنس بر متر به دست آوردند (Kandil *et al.*, 2012). در مطالعهی *Khodarahmpour et al.* (2012)، کاهش شدید سرعت جوانه‌زنی (۳۲ درصد)، طول گیاهچه (۷۸ درصد) و بنیه بذر (۹۵ درصد) در سطح شوری ۲۴ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. *Sakr et al.* (2007) بیان کردند که شوری موجب کاهش پارامترهای جوانه‌زنی و کاهش این پارامترها، منجر به ضعف در استقرار گیاه و به طور کلی کاهش عملکرد خواهد شد.

یابد، رشد جوانه تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد. با افزایش شوری، جذب آب توسط بذر دچار اختلال شده، ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها کمتر شده و در نتیجه رشد گیاهچه اعم از ریشه‌چه و ساقه‌چه دچار نقصان می‌شود (*Datta & Dayal.*, 1991). سطوح شوری موجب کاهش طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه در ارقام مختلف سورگوم شده است، به نحوی که میانگین طول گیاهچه در تیمار شاهد از ۱۱/۶۶ سانتی‌متر به ۷/۶۶ و ۲/۷۹ سانتی‌متر در تیمار ۱۱ و ۱۵ دسی زیمنس بر متر رسیده است و ماکزیمم طول

جدول ۶- مقایسه میانگین ویژگی‌های جوانه‌زنی گیاه کاملینا تحت تنش شوری

Razao	طول گیاهچه (cm)	بنیه بذر - SeedCalc	بنیه بذر (درصد در cm)	GSI (بذر در روز)	MGT (روز)	تیمار شوری (dS m ⁻¹)
۷/۱۴۴abc	۱/۸d-f	۲۰۶/۷۴a-d	۱۸۰d-f	۲۴/۸۳۳a	۱/۰۱۳n	۰/۸۵
۸/۲۰۴fab	۲/۱c-e	۲۰۳/۱a-e	۲۱۰c-e	۲۵a	۱n	۲
۸/۷۱۲ab	۳/۷۷b	۲۱۱/۶۳abc	۳۷۶/۶۷b	۲۲/۶۶۷b	۱/۱۹۸m	۴
۶/۴۵۶abcd	۳/۱۷bc	۱۷۹/۸۹cde	۳۱۶/۶۷bc	۲۲/۴bc	۱/۲۴l	۶
۴/۵۴۱bcd	۲/۴dc	۱۹۳/۹۶b-e	۲۴۰dc	۲۱/۸۳۳dc	۱/۲۵۲lk	۸
۱۰/۲۹a	۶/۴۷a	۲۱۲/۸۵abc	۶۴۶/۶۷a	۲۱/۳۳۳d	۱/۳۹۳z	۱۰
۱۱/۶۴۱a	۶/۱a	۲۴۳/۲۲a	۶۱۰a	۲۱/۷۵dc	۱/۲۸۱jk	۱۲
۱۰/۸۱۲a	۶/۰۷a	۲۳۳/۷ab	۶۰۶/۶۷a	۱۷/۶۵e	۱/۵۸۵i	۱۴
۶/۹۴۲abcd	۴/۴۳b	۱۹۹/۴۸a-e	۴۴۳/۳۳b	۱۶/۴f	۱/۶۹۳h	۱۶
۸/۳۰۸ab	۴/۴b	۱۸۶/۵۸cde	۴۴۰b	۱۴/۳۳۳g	۱/۸۵۲g	۱۸
۴/۴۴۸bcd	۲/۳۷c-e	۱۹۵/۴۳b-e	۲۳۶/۶۷c-e	۱۲/۵h	۲f	۲۰
۴/۷۰۲bcd	۲/۳۳c-e	۱۸۸/۱۴b-e	۲۳۳/۳۳c-e	۱۲/۵h	۲/۰۰۲f	۲۲
۲/۶۱۶cd	۱/۶d-g	۱۵۸/۲e	۱۶۰d-g	۱۱/۷۷۸i	۲/۱۷۳e	۲۴
۲/۱۵۶cd	۱/۰۸d-g	۱۷۱/۹۴cde	۱۰۸/۳۳d-g	۱۱/۳۸۹i	۲/۲۶۷d	۲۶
۱/۵۱۹d	۱/۰۳e-g	۱۶۳/۰۸de	۱۰۳/۳۳e-g	۱۰/۶۴۴z	۲/۴۵۳c	۲۸
-	۰/۵۷gf	۱۷۷/۳۴cde	۵۶/۶۷gf	۸/۷۷۸k	۲/۹۴b	۳۰
-	۰/۳g	۱۹۳/۴۳b-e	۳۰g	۷/۹۴۴l	۳/۲۴a	۳۲

در هر ستون اعداد با حروف مشترک در سطح احتمال ۱ درصد به روش LSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.



شکل ۴- درصد جوانه‌زنی بذر در سطوح مختلف شوری

درصد جوانه‌زنی بذر به صورت تابعی از زمان (روز) در سطوح شوری مورد استفاده در شکل (۴) نشان داده شده است. طبق این شکل، درصد جوانه‌زنی نهایی در تمام سطوح شوری دارای مقادیر یکسان (۱۰۰ درصد) بود و نهایتاً تأخیر در جوانه‌زنی در سطوح شوری بالا (۲۰ دسی زیمنس بر متر به بعد) به مدت ۱ تا ۳ روز رخ داده است. *Matthees et al.* (2018) به مطالعه پیرامون مقاومت برخی گیاهان دانه روغنی به شوری از جمله کاملینا در پتری دیش پرداختند و مشاهده کردند که کاملینا به شوری مقاوم است. آن‌ها درصد جوانه‌زنی کاملینا تحت سطوح شوری پایین را بیش از ۹۰٪ گزارش کردند و بیان کردند جوانه‌زنی تحت شوری-های زیاد (۱۶ دسی زیمنس بر متر) در مقایسه با سطوح متوسط شوری (۸ دسی زیمنس بر متر) به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، لیکن همچنان درصد جوانه‌زنی بیش از ۷۰ درصد است.

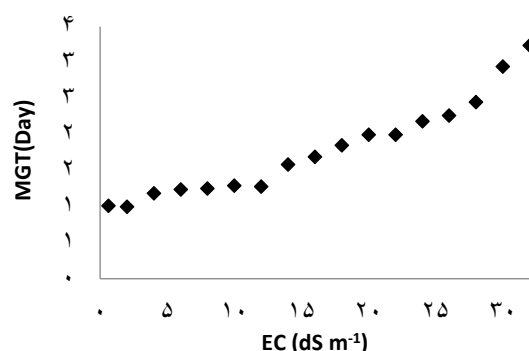
زمان جوانه‌زنی بذر به صورت تابعی از هدایت الکتریکی در شکل (۵) ارائه شده است. *Bybordi & Tabatabaei.* (2009) نشان داد که سطوح مختلف شوری موجب تأخیر در

محققین کاهش رشد گیاهچه کلزا (Bilgili *et al.*, 2011)، سورگوم (Rajabi Dehnavi *et al.*, 2020) و سویا (Bandeoglu *et al.*, 2004) تحت تأثیر تنش شوری را ناشی از کاهش آب قابل دسترس و تأثیر منفی یون‌ها بر رشد گیاهچه بیان نمودند. Dakhil & Denden., (2010) نیز علت کاهش طول گیاهچه را محدود شدن هیدرولیز مواد غذایی بذر و جلوگیری از انتقال آن‌ها به محور جنینی دانست.

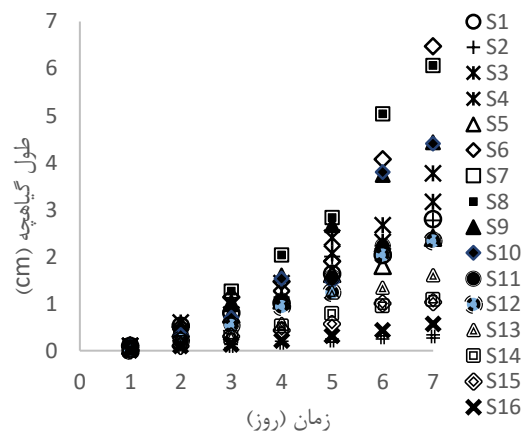
نتیجه‌گیری

کاملینا به دلیل نیاز آبی کم نسبت به دیگر دانه‌های روغنی و مقاومت به تنش‌ها، گیاهی است که کشت آن در مناطق خشک و نیمه خشک که با چالش‌های شوری و کم‌آبی مواجهند می‌تواند جایگزینی مناسب برای آن دسته از دانه‌های روغنی باشد که هم نیاز آبی بیشتری دارند و هم به شوری حساس هستند. لذا، امکان کشت و پاسخ کمی این گیاه به سطوح مختلف شوری مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر اندازه‌گیری شده حد آستانه‌ی تحمل به شوری شاخص‌های GSI، SV، SV-S و SV-S برابر با ۲، ۱۲ و ۱۲ دسی زیمنس بر متر بدست آمد. شیب کاهش نیز برای این شاخص‌ها، به ترتیب برابر با ۲/۴، ۷/۷ و ۱/۷ درصد بدست آمد. بر پایه‌ی حد آستانه و شیب کاهش، مشخص گردید که کاملینا در مرحله‌ی جوانه‌زنی به تنش شوری بسیار مقاوم است و بنا بر این قابلیت استقرار سریع و تولید گیاهچه‌ی قوی در سطوح بسیار زیاد شوری را دارد. با بررسی آماره‌های ارزیابی کارایی مدل‌های برازش یافته نتیجه‌گیری شد که مدل‌های غیرخطی عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی MH دارند که علت آن ماهیت سیگموئیدی شکل داده‌های واقعی است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که از میان مدل‌های شوری برازش یافته بر شاخص GSI، مدل HVG بهترین عملکرد را دارد. همچنین مدل HF در شاخص SV و SV-S بهترین عملکرد را ارائه می‌نماید. سیگموئیدی بودن روند داده‌ها به شدت بر نتایج مدل‌سازی اثرگذار می‌باشد. ضعیف‌ترین عملکرد مدل‌های برازش یافته بر دو شاخص GSI و SV توسط مدل خطی MH و بر شاخص SV-S توسط مدل HVG به دست آمد. ماکزیمم GSI در تیمار ۰/۸۵ و ۲ دسی زیمنس بر متر و حداقل آن در تیمار ۳۲ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. GSI در محدوده‌ی ۲۵-۷/۹۴ قرار داشت. افزون بر مقاومت بالای کاملینا، شاخص‌ها با افزایش سطوح شوری با شیب مشخصی کاهش یافتند. به نظر می‌رسد کاهش سرعت جوانه‌زنی به کاهش جذب آب در بذرها مرتبط است. هر چه بنیه بذر بیشتر باشد، سرعت جوانه‌زنی بذر در روز و رشد گیاهچه بیشتر و همچنین زمان جوانه‌زنی کمتر می‌شود. به طور کلی بر پایه‌ی نتایج به دست آمده می‌توان گفت که کاملینا با

جوانه‌زنی خواهد شد. تأخیر در جوانه‌زنی با توجه به شاخص MGT مشخص می‌شود. نمودار MGT سه قسمتی بوده که دو روند ثابت و یک روند صعودی را در بر می‌گیرد. در محدوده‌ی پتانسیل‌های ۰/۸۶-۲ و ۴-۱۲ دسی زیمنس بر متر، MGT روند ثابت داشته و مقدار آن به ترتیب در حدود ۱ و ۱/۱۸-۱/۲۸ روز است؛ از پتانسیل ۱۲ دسی زیمنس بر متر به بعد، روند آن صعودی است و بیشترین تأخیر در سطوح شوری بالا برابر با ۴ روز مشاهده شد. نکته جالب توجه این است که حد آستانه کاهش در GSI ۲ دسی زیمنس بر متر و حد آستانه کاهش در بنیه بذر و طول گیاهچه ۱۲ دسی زیمنس بر متر، می‌باشد.



شکل ۵- MGT در سطوح مختلف شوری



شکل ۶- طول گیاهچه در سطوح مختلف شوری

طول گیاهچه به صورت تابعی از زمان (روز) در سطوح مختلف شوری در شکل (۶) نشان داده شده است. بر پایه این شکل، بیشترین رشد گیاهچه تا روز هفتم در سطح شوری ۱۲ دسی زیمنس بر متر و در روز هفتم (۶/۴۷) با اندکی اختلاف در ۱۰ دسی زیمنس بر متر مشاهده شد. کمترین مقدار آن (۰/۳) در بالاترین سطح شوری یعنی در ۳۲ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. این در حالی است که طول ساقچه در این سطح از شوری، صفر است. بهترین عملکرد در سطح شوری حد آستانه و کمترین عملکرد در سطوح شوری بالا به دست آمد. برخی



"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

توجه به مقاوم بودن در برابر شوری، گیاهی مناسب برای کشت در مناطقی است که با چالش شوری روبرو هستند.

REFERENCES

- Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. *Crop science*, 13(6), 630-633.
- Abogadallah, G. M., & Quick, W. P. (2009). Vegetative salt tolerance of barnyard grass mutants selected for salt tolerant germination. *Acta physiologiae plantarum*, 31(4), 815-824
- Al-shareef, N. O., & Tester, M. (2019). Plant Salinity Tolerance. *eLS*; John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK. pp. 1-6.
- Alencar, N. L., Gadelha, C. G., Gallão, M. I., Dolder, M. A., Prisco, J. T., & Gomes-Filho, E. (2015). Ultrastructural and biochemical changes induced by salt stress in *Jatropha curcas* seeds during germination and seedling development. *Functional Plant Biology*, 42(9), 865-874.
- Amirmoradi, S., & Feizi, H. (2017). Can mean germination time predict seed vigor of canola (*Brassica napus* L.) seed lots?. *Acta agrobotanica*, 70(4).
- Anonymous.)2014(. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*, 24: 1- 335 (supplement). International Seed Testing Association (ISTA), Zurich, Switzerland. (Handbook)
- Ashkan, A., & Jalal, M. (2013). Effects of salinity stress on seed germination and seedling vigor indices of two halophytic plant species (*Agropyron elongatum* and *A. pectiniforme*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 5(22), 2669-2676.
- Ayaz, F. A., Kadioglu, A. S. İ. M., & Turgut, R. (2000). Water stress effects on the content of low molecular weight carbohydrates and phenolic acids in *Ctenanthe setosa* (Rosc.) Eichler. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(2), 373-378.
- Bandeoglu, E., Eyidoğan, F., Yücel, M., & Öktem, H. A. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 42(1), 69-77.
- Baalbaki, R., Elias, S., Marcos-Filho, J. & McDonald, M.B. (2009). Seed vigor testing handbook. AOSA, Ithaca, NY, USA. (Contribution to the Handbook on Seed Testing, 32)
- Benincasa, M. M. P. (2003). Análise de crescimento de plantas: noções básicas, Jaboticabal, 42 p. *SP: FUNEP*.
- BİLGİLİ, U., Carpici, E. B., AŞIK, B. B., & Celik, N. (2011). Root and shoot response of common vetch (*Vicia sativa* L.), forage pea (*Pisum sativum* L.) and canola (*Brassica napus* L.) to salt stress during early se. *Turkish Journal of Field Crops*, 16(1), 33-38.
- Bybordi, A., & Tabatabaei, J. (2009). Effect of salinity stress on germination and seedling properties in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 71-76.
- Bybordi, A. (2010). The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1), 128-133.
- Dai, J., Huff, D. R., & Schlossberg, M. J. (2009). Salinity effects on seed germination and vegetative growth of greens-type *Poa annua* relative to other cool-season turfgrass species. *Crop science*, 49(2), 696-703.
- Datta, K. S., & Dayal, J. (1991). Studies on germination and early seedling growth of gram (*Cicer arietinum* L.) as affected by salinity. *New Trends in Plant Physiology*, 1, 273-276.
- Debez, A., Hamed, K. B., Grignon, C., & Abdelly, C. (2004). Salinity effects on germination, growth, and seed production of the halophyte *Cakile maritima*. *Plant and soil*, 262(1), 179-189.
- Dirksen, C., & Augustijn, D. C. M. (1988). Root water uptake function for nonuniform pressure and osmotic potentials. In *Agronomy Abstracts* (p. 182).
- Dkhil, B. B., & Denden, M. (2010). Salt stress induced changes in germination, sugars, starch and enzyme of carbohydrate metabolism in *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 5(12), 1412-1418.
- FAO. (2021). Global Symposium on Salt-Affected Soils (GSAS21). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy
- FAO. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, FAO, 650 p.
- Feddes, R.A. (1982). Simulation of field water use and crop yield (pp. 194-209). Pudoc. Wageningen. The Netherlands Saline water in supplemental irrigation of wheat and barley under rainfed agriculture. *Agricultural Water Management*, vol.78, pp.122-127.
- Gama, G. F. V., de Oliveira, R. M., Pinheiro, D. T., da Silva, L. J., & dos Santos Dias, D. C. F. (2021). Yield and physiological quality of wheat seeds produced under different irrigation depths and leaf Silicon. *Semina: Ciências Agrárias*, 42(4), 2233-2252.
- Gholizadeh, F., Mirzaghaderi, G., Danish, S., Farsi, M., & Marashi, S. H. (2021). Evaluation of morphological traits of wheat varieties at germination stage under salinity stress. *Plos one*, 16(11), e0258703.
- Gulzar, S., & Khan, M. A. (2001). Seed germination of

- a halophytic grass *Aeluropus lagopoides*. *Annals of Botany*, 87(3), 319-324.
- Hajivand Ghassemabadi, F., Eisvand, H., & Akbarpour, O. A. (2018). Evaluation of salinity tolerance of different clover species at germination and seedling stages. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8(3), 2469-2477.
- Homaei, M., Dirksen, C., & Feddes, R. A., (2002). Simulation of root water uptake: I. Non-uniform transient salinity stress using different reduction functions. *Agricultural water management*, 57(2), 111-126.
- Ibrahim, F. M., & El Habbasha, S. F. (2015). Chemical composition, medicinal impacts and cultivation of camelina (*Camelina sativa*). *International Journal of Pharm Tech Research*, 8, 114-122.
- Islam, M. N., Islam, A., & Biswas, J. C. (2017). Effect of gypsum on electrical conductivity and sodium concentration in salt affected paddy soil. *International Journal of Agricultural Papers*, 2(1), 19-23.
- ISTA. (2015). The germination test. In: International rules for seed testing. Zurich, Switzerland: *International Seed Testing Association*.
- Jamil, M., & Rha, E. S. (2004). The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Plant resources*, 7(3), 226-232.
- Kandil, A. A., Sharief, A. E., Abido, W. A. E., & Ibrahim, M. M. (2012). Effect of salinity on seed germination and seedling characters of some forage sorghum cultivars. *International Journal of Agriculture Sciences*, 4(7), 306.
- Khodarahmpour, Z., Ifar, M., & Motamedi, M. (2012). Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *African Journal of Biotechnology*, 11(2), 298-304.
- Koushafar, M., Khoshgofarmanesh, A.H., Moezzi, A. and Mobli, M. (2011). Effect of dynamic unequal distribution of salts in the root environment on performance and Crop Per Drop (CPD) of hydroponic-grown tomato. *Scientia horticulturae*, 131, pp.1-5.
- Labouriau, L. G. (1983). Uma nova linha de pesquisa na fisiologia da germinação das sementes. In Anais do XXXIV Congresso Nacional de Botânica. SBB, Porto Alegre (pp. 11-50).
- Li, Y., & Sun, X. S. (2015). Camelina oil derivatives and adhesion properties. *Industrial Crops and Products*, 73, 73-80.
- Lu, C., & Kang, J. (2008). Generation of transgenic plants of a potential oilseed crop *Camelina sativa* by Agrobacterium-mediated transformation. *Plant cell reports*, 27(2), 273-278.
- Maas, E. V., & Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance—current assessment. *Journal of the irrigation and drainage division*, 103(2), 115-134.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor I. *Crop science*, 2(2), 176-177.
- Matthees, H. L., Thom, M. D., Gesch, R. W., & Forcella, F. (2018). Salinity tolerance of germinating alternative oilseeds. *Industrial Crops and Products*, 113, 358-367.
- Miranda, D., Perea, M., & Magnitskiy, S. (2009). Propagación de especies pasifloráceas. Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, gulupa y curuba. *Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas*, Bogota, 69-96.
- Mohammadi, Z., Rastegar, S., Abdollahi, F., & Hosseini, Y. (2018). Morphological and antioxidant enzymatic activity responses of sapodilla rootstock to salinity stress. *J. Plant Process Funct*, 6, 23-28.
- Munns, R. (2011). Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. *Advances in botanical research*, 57, 1-32.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Mwando, E., Han, Y., Angessa, T. T., Zhou, G., Hill, C. B., Zhang, X. Q., & Li, C. (2020). Genome-wide association study of salinity tolerance during germination in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Frontiers in plant science*, 11, 118.
- Nakagawa, J., Krzyzanowski, F.C., Vieira, R.D. & França-Neto, J.B. (1999). Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas In: KRZYZANOWSKI, FC; VIEIRA, RD; FRANÇA NETO, JB Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates, 9-13.
- Neto, N. B. M., Saturnino, S. M., Bomfim, D. C., & Custódio, C. C. (2004). Water stress induced by mannitol and sodium chloride in soybean cultivars. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47, 521-529.
- Pakar, N., Pirasteh-Anosheh, H., Emam, Y., & Pessaraki, M. (2016). Barley growth, yield, antioxidant enzymes, and ion accumulation affected by PGRs under salinity stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 39(10), 1372-1379.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., & Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and Pollution research*, 22(6), 4056-4075.
- Rajabi Dehnavi, A., Zahedi, M., Ludwiczak, A., Cardenas Perez, S., & Piernik, A. (2020). Effect of salinity on seed germination and seedling development of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Agronomy*, 10(6), 859.
- Rauf, M., Munir, M., ul Hassan, M., Ahmad, M., & Afzal, M. (2007). Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African journal of biotechnology*, 6(8).
- Sako, Y., McDonald, M. B., Fujimura, K., Evans, A. F., & Bennett, M. A. (2001). A system for automated seed vigour assessment. *Seed science and technology*, 29(3), 625-636.
- Sakr, M. T., El-Emery, M. E., Fouda, R. A., & Mowafy, M. A. (2007). Role of some antioxidants in alleviating soil salinity stress. *J Agric Sci Mansoura Univ*, 32, 9751-9763.



- Sanchez, P. L., Chen, M. K., Pessaraki, M., Hill, H. J., Gore, M. A., & Jenks, M. A. (2014). Effects of temperature and salinity on germination of non-pelleted and pelleted guayule (*Parthenium argentatum* A. Gray) seeds. *Industrial Crops and Products*, 55, 90-96.
- Sarv, V. (2017). A comparative study of camelina, canola and hemp seed processing and products (Doctoral dissertation, University of Toronto (Canada)).
- Shahbazi, M. & Kiani, A. (1997). Evaluation of rapeseed oil plant salt tolerance. *Annual Reports of Seed and Plant Improvement Institute Biotechnology Research Center*.
- Silva, L. J. D., Medeiros, A. D. D., & Oliveira, A. M. S. (2019). SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. *Journal of Seed Science*, 41, 250-257.
- Smith, P. T., & Cobb, B. G. (1991). Physiological and enzymatic activity of pepper seeds (*Capsicum annum*) during priming. *Physiologia Plantarum*, 82(3), 433-439.
- Sonneveld, C., Van den Bos, A. L., & Voogt, W. (2005). Modeling osmotic salinity effects on yield characteristics of substrate-grown greenhouse crops. *Journal of plant nutrition*, 27(11), 1931-1951.
- Thaker, P., Brahmabhatt, Nayana. & Shah, K. (2021). A Review: Impact of Soil Salinity on Ecological, Agricultural and Socio-Economic Concerns. *Int. J. Adv. Res.* 9(07), 979-986
- Toenniessen, G. H. (1984). Review of the world food situation and the role of salt-tolerant plants.
- Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T. N., Park, S., & Ayele, B. T. (2019). Molecular mechanisms of seed germination. In *Sprouted Grains* (pp. 1-24). AACC International Press.
- Uçarlı, C. (2020). Effects of Salinity on Seed Germination and Early Seedling Stage. In *Abiotic Stress in Plants*. IntechOpen.
- USEPA, (2013). Regulation of Fuels and Fuel Additives: 2012 Renewable Fuel Standards; Final Rule. *Federal Register*, 78(158), pp.49794-830.
- Vafaei, N., Tavakolipour, H., & Ghodsvali, A. R. (2010). Some biophysical properties of oily sunflower achenes in Golestan province.
- van Genuchten, M. T. (1984). Analysis of crop salt tolerance data. *Soil salinity under irrigation: Processes and management*, 258-271.
- van Genuchten, M.Th. and Hoffman, G.J. (1984). Analysis of crop salt tolerance data. P: 258-271. In: Shainberg, I., and J. Shalhevet (eds.), *Soil Salinity Under Irrigation. Proces and Management*.
- van Slyke, T. (2019). *Fields of Dreams: Scenarios to Produce Selected Biomass and Renewable Jet Fuels that Fulfill European Union Sustainability Criteria*.
- Waraich, E. A., Ahmed, Z., Ahmad, R., Saifullah, Shahbaz, M., & Ehsanullah. (2017). Modulation in growth, development, and yield of *Camelina sativa* by nitrogen application under water stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 40(5), 726-735.
- Warwick, S. I., & Francis, A. (2006). The biology of invasive alien plants in Canada. 6. *Berteroa incana* (L.) DC. *Canadian journal of plant science*, 86(4), 1297-1309.
- Wang, S. J., Chen, Q., Li, Y., Zhuo, Y. Q., & Xu, L. Z. (2017). Research on saline-alkali soil amelioration with FGD gypsum. *Resources, Conservation and Recycling*, 121, 82-92.
- Werner, J. (2019). Market Overview of the Water-Energy-Food Nexus in Iran. Embassy of the Kingdom of the Netherlands in the Islamic Republic of Iran.
- Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), 1309-1313.
- Yadav, P. V., Khatri, D., & Nasim, M. (2017). Salt and PEG Induced Osmotic Stress Tolerance at Germination and Seedling Stage in *Camelina sativa*: A Potential Biofuel Crop. *J. Seed Sci*, 10, 27-32.
- Yohannes, G., Kidane, L., Abraha, B., & Beyene, T. (2020). Effect of Salt Stresses on Seed Germination and Early Seedling Growth of *Camelina sativa* L. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 12(1), 1-19.