Journal of Plant Environmental Physiology
ISSN: 7671-2423 (Print), 2783-4689 (Online) http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.1937928.1719
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.67.2.9

Islamic Azad University
Gorgan Branch

The effect of screening and optimization of osmopriming on seed germination properties of wheat (*Triticum aestivum* L.) using surface-response method

Afaq Yavari[1*], Qadir Habibi[2], Masoumeh Abedini[3], Gholamreza Bakshi Khaniki[4]

[1]Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran, Email: yavari.afagh@pnu.ac.ir
2Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran, Email: ghabibi@pnu.ac.ir
3Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran, Email: Ms_abedini@pnu.ac.ir
[4]Department of Biology, Payam Noor University, Tehran, Iran, Email: bakhshi@pnu.ac.ir

Serial 67, 17th year, Number 3, Autumn 2022 (23-37)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 27.08.2021
Revised:21.11.2021
Accepted: 03.12.2021

Keywords
Osmotic compounds
Experimental design
Box- Benken design
Seed yield
Modeling

Abstract

Seed osmopriming is an effective strategy to improve the germination process. Screening and estimating the optimal concentrations of different osmotic compounds is the first step in seed osmopriming. In this study, the effects of treatment with single osmotic compounds were initially evaluated at different concentrations, namely NaCl (0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30 g/l), ZnSO4 (0, 1, 5, 10, 20, 30 and 40 mM), proline (0, 1, 5, 10, 20, 30 and 40 mM), and trehalose (0, 1, 5, 10, 20, 30 and 40 mM) on wheat seeds. Then, the surface-response method was designed in the form of a Box-Benken design. Results showed a significant increase in wheat seed germination at concentrations of 3 and 10 g/l NaCl, 1 and 20 mM ZnSO4, 1 and 10 mM proline, and 0 and 1 mM trehalose. These concentrations were validated using the surface-response method and experiments. The values of coefficient of determination (R2 = 0.99) and adjusted R2 (R2adj = 0.99) showed that the obtained model is suitable for data analysis. One-way analysis of variance confirmed the quadratic model as the best model to determine the interaction of the studied variables ($P<0.0001$). The optimal values were proposed as a combination of 3 g/l NaCl, 1 mM ZnSO4, and 1 mM proline. In another experiment, using the values predicted by the model, it was found that the surface-response method can be used in screening and germination optimization tests. The results of the follow up experiment using the values determined in the model revealed that the surface-response method can be considered in screening and optimization studies of seed germination.

Please cite this article as Yavari, A., Habibi, Q., Abedini, M., Bakshi Khaniki, Gh.R. 2022. The effect of screening and optimization of osmopriming on seed germination properties of wheat (*Triticum aestivum* L.) using surface-response method. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 65(3): 23-37.

© 2022. All Rights Reserved

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی

شاپا: (چاپی) ۲۴۲۳-۷۶۷۱ (آنلاین) ۴۶۸۹-۲۷۸۳، http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.1937928.1719
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.67.2.9

دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

اثر غربالگری و بهینه‌سازی اسموپرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی بذور گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از روش سطح- پاسخ

آفاق یاوری[1*]، قادر حبیبی[2]، معصومه عابدینی[3]، غلامرضا بخشی خانیکی[4]

[1] گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: yavari.afagh@pnu.ac.ir

[2] گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: ghabibi@pnu.ac.ir

[3] گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: Ms_abedini@pnu.ac.ir

[4] گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: bakhshi@pnu.ac.ir

سال هفدهم، شماره ۶۷، پاییز ۱۴۰۱ / صفحات: ۳۷-۲۳

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲

واژه‌های کلیدی:
ترکیبات اسمزی
طراحی آزمایش
طرح باکس- بنکن
عملکرد بذر
مدل سازی

چکیده

اسموپرایمینگ بذر یک استراتژی موثر برای بهبود فرایند جوانه‌زنی است. غربالگری و برآورد غلظت‌های بهینه ترکیبات مختلف اسمزی اولین قدم در اسموپرایمینگ دانه محسوب می‌شود. دراین تحقیق ابتدا ارزیابی پرایمینگ تک‌تیماری غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۰، ۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ گرم بر لیتر)، سولفات روی (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار)، پرولین (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار) و ترهالوز (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار) بر روی بذور گندم انجام و سپس روش سطح- پاسخ در قالب طرح باکس- بنکن طراحی شد. نتایج حاصل نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار جوانه‌زنی گندم در غلظت‌های ۳ و ۱۰ گرم بر لیتر کلرید سدیم، ۱ و ۲۰ میلی‌مولار سولفات روی، ۱ و ۱۰ میلی‌مولار پرولین و ۰ و ۱ میلی‌مولار ترهالوز بود. این غلظت‌ها با استفاده از روش سطح- پاسخ و با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی اعتبارسنجی شدند. مقادیر ضریب تبیین (R^2=۰/۹۹) و R^2 تصحیح شده (R^2_{adj}=۰/۹۹) نشان داد که مدل به‌دست آمده برای تحلیل داده‌ها مناسب می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه (P<۰/۰۰۰۱) نشان داد که مدل درجه دوم بهترین مدل برای تعیین برهمکنش متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد و مقادیر بهینه شامل کلرید سدیم ۳ گرم بر لیتر، سولفات روی ۱ میلی‌مولار و پرولین ۱ میلی‌مولار به‌صورت ترکیبی پیشنهاد شد. نتایج آزمایش تکمیلی با استفاده از مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، مشخص ساخت که روش سطح- پاسخ می‌تواند در آزمون‌های غربالگری و بهینه‌سازی جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گیرد.

استناد: یاوری، آ.، حبیبی، ق.، عابدینی، م.، بخشی خانیکی، غ.ر. (۱٤۰۱). اثر غربالگری و بهینه‌سازی اسموپرایمینگ بر خصوصیات جوانه‌زنی بذور گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از روش سطح- پاسخ. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦۵ (۳)، ۳۷-۲۳.

مقدمه

گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) با تولید سالانه ٦٧٦ میلیون تن، غذای اصلی بیش از ۳۵٪ از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد. شرایط زیست‌محیطی مانند گرما، سرما، شوری، غرقابی و خشکسالی به‌طور مداوم تولید این گیاه را در بسیاری از مناطق جهان تهدید می‌کنند (Abid et al., 2018). بنابراین پرایمینگ بذر، به‌عنوان یک استراتژی مناسب برای تقویت شاخص‌های مربوط به جوانه‌زنی و بهبود رشد گیاه در مقابل چنین تهدیداتی مفید می‌باشد (Nawaz et al., 2013; Mahawar et al., 2016; Feghhenabi et al., 2020).

به‌طور کلی چرخه حیات گیاهان زمینی با جوانه‌زنی بذر و استقرار موفقیت‌آمیز گیاهچه اولیه شروع می‌شود (Ebrahimi and Kaboli, 2020). جوانه‌زنی بذر مرحله اصلی و آسیب‌پذیر در فرایند کشت و تولید می‌باشد (Stephen et al., 2018; Ebrahimi and Kaboli, 2020). این فرایند فیزیولوژیکی پیچیده شامل جذب آب، فعال‌سازی متابولیسم، رشد مرتبط با کشیدگی سلول و برآمدگی ریشه است (Lutts et al., 2016). جذب آب باعث سنتز پروتئین و فعالیت‌های تنفسی شده که با شروع فعالیت‌های مختلف فیزیولوژیکی مربوط به جوانه‌زنی مانند سنتز میتوکندری و تغییر در قندهای محلول ادامه می‌یابد (Varier et al., 2010). شرایط نامساعد محیطی با مختل کردن یک یا تعدادی از مراحل جوانه‌زنی می‌تواند منجر به کاهش جوانه‌زنی و تولید محصول در گیاهان زراعی شود. پرایمینگ بذر روشی ساده و ارزان است که با جذب آب کنترل شده، قبل از ظهور و رشد ریشه‌چه از پوشش دانه می‌تواند منجر به افزایش توانایی تولید گیاه، رقابت، تحمل دوره‌های خشکسالی و کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی و زمان لازم برای جوانه‌زنی گردد (Nawaz et al., 2013; Ebrahimi and Kaboli, 2020).

روش‌های مختلف پرایمینگ مانند هیدروپرایمینگ، اسموپرایمینگ، هورموپرایمینگ، بیوپرایمینگ و نانوپرایمینگ امروزه توسعه گسترده‌ای پیدا کرده‌اند (Lutts et al., 2016). مهمترین عواملی که می‌توانند در موفقیت پرایمینگ تأثیرگذار باشند، زمان شروع پرایمینگ و غلظت ماده مورد نظر است (Ebrahimi and Kaboli, 2020). پاسخ بذر به پرایمینگ می‌تواند از یک گونه به گونه دیگر و حتی از یک رقم به رقم دیگر متفاوت باشد (Stephen et al., 2018). نتایج تحقیقی نشان داد که پرایمینگ بذور گیاه کنجد با اسید سالیسیلیک و هیدروپرایمینگ تأثیر مثبتی بر عملکرد گیاه داشته است (Alizadeh et al., 2016). نتایج مثبت پرایمینگ با اسید جیبرلیک و اسید سالیسیلیک در کاهش اثرات منفی فلزات سنگین مانند کادمیوم بر روی جوانه‌زنی بذور گیاه سورگوم نیزگزارش شده است (Rezai et al., 2018). اسموپرایمینگ یک روش مقرون به صرفه و کم‌خطر برای افزایش میزان جوانه زنی بذر قبل از کاشت است که امکان بهبود ظهور و استقرار نهال را در محیط‌هایی با شرایط نامساعد فراهم می‌کند (Pereira et al., 2021). تحقیقات نشان داده است که اسموپرایمینگ بذور گندم می‌تواند پاسخ به تنش را در مراحل رشد بهبود دهد. به‌عنوان مثال پرایمینگ با اسیداسکوربیک (Farooq et al., 2013)، $CaCl_2$ (Farooq et al., 2017)، سیلیکات‌پتاسیم (K_2SiO_3)، پرولین (Pro)، اسپرمیدین (Spd) (Feghhenabi et al., 2020)، K_2HPO_4، PEG، KCl (Misra and Dwivedi, 1980, Dell'Aquila and Taranto, 1986) می‌تواند با تأثیر بر فیزیولوژی گیاه در شرایط نامساعد، شاخص‌های جوانه‌زنی و بازده محصول گندم را بهبود بخشد.

پارامترهایی مانند غلظت ترکیبات مورد استفاده در پرایمینگ، مدت زمان اعمال تیمارها و اثرات متقابل آنها و نیز گونه/ ژنوتیپ گیاهی می‌توانند بر روی فرایند جوانه‌زنی و رشد موثر باشند (Mahawar et al., 2018). بنابراین غربالگری و بهینه‌سازی چنین پارامترهای می‌تواند به بهبود کارایی پرایمینگ و جوانه‌زنی کمک کند. یکی از مدل‌های آماری با نتایج مطلوب استفاده از روش سطح- پاسخ[1] است که بسیاری از عوامل و فعل و انفعالات موثر بر فرایند با آزمون‌های آزمایشی کمتر را دربر می‌گیرد (Mahawar et al., 2018, 2016). روش سطح- پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری و ریاضی برای مدلسازی و آنالیز مسائلی است که در آن نتایج تحت تأثیر چند متغیر قرار می‌گیرد (Peng et al., 2020).

با توجه به اینکه، اسموپرایمینگ به صورت آزمایشگاهی بررسی می‌شود و کنترل فرایندهای تأثیرگذار بر پارامترها بسیار دشوار است، نیاز به بهبود این فرآیند با کنترل مناسب و دقیق عوامل وجود دارد. از این‌رو برای غربالگری و مدلسازی پرایمینگ بذور گندم با استفاده از ترکیبات اسمزی به منظور بهینه‌سازی و بررسی اثر متقابل آن‌ها، از روش سطح- پاسخ بر مبنای مدل باکس- بنکن استفاده شد.

مواد و روش‌ها

ارزیابی جوانه‌زنی: این آزمایش در سال ۱۳۹۹، به منظور بررسی اثر پرایمینگ غلظت‌های مختلف چند ترکیب اسمزی بر روی پارامترهای جوانه‌زنی بذور گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. بذور گندم رقم احسان با استفاده از محلول هیپوکلریت‌سدیم ۳٪ به مدت ۳ دقیقه استریل و سپس با آب مقطر شسته شد. بذور در محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ گرم در لیتر)، سولفات روی (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار)، ترهالوز[2] (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار) و پرولین (۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ٤۰ میلی‌مولار) به مدت ۱۲ ساعت، قرار گرفتند. پس از گذشت زمان‌های مورد نظر، بذرهای هر تیمار به‌طور جداگانه به داخل پتری دیش منتقل و روی کاغذ واتمن شماره ۲ در دمای ۲±۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. هر تیمار شامل ۳ تکرار (ده دانه برای هر تکرار) بود. بذرها تا زمان جوانه‌زنی به مدت ۸ روز روزانه با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر اسپری شدند، سپس برای محاسبه شاخص‌های جوانه‌زنی و رشد دانه رست شمارش و ارزیابی شدند. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه، به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. درصد جوانه‌زنی (GP) بر اساس کل بذرهای جوانه زده بعد از ۸ روز به تعداد کل بذر، گزارش گردید (Manmathan et al., 2013).

آنالیز آماری: بررسی‌های آماری و تجزیه و تحلیل واریانس[3] توسط نرم افزار GraphPad Prism 5 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای جدید دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ ≥p انجام شد.

طراحی آزمایش: روش سطح- پاسخ مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری و ریاضی است که بر اساس برازش معادله چند جمله‌ای با داده‌های تجربی ایجاد شده است. با توجه به دامنه مقدماتی متغیرهای تعیین شده توسط آزمایش تک پرایمینگ، برای بهینه‌سازی و تعیین بهترین ترکیب متغیرها برای جوانه‌زنی دانه گندم، از روش باکس- بنکن[4] با ۲٦ واحد آزمایشی و چهار فاکتور استفاده شد (جدول ۱). متغیرهای مستقل در این مطالعه به‌صورت غلظت در دو سطح حداقل و

1. RSM: Response Surface Method
2. trehalose
3. ANOVA
4. Box-Behnken design

حداکثر (۱ و ۱-) مورد استفاده قرار گرفت. آزمایشات درختی برای هر یک از شرایط انجام شد و میانگین مقادیر، به‌عنوان پاسخ مشاهده شده بیان گردید. جهت به حداقل رساندن تأثیر تنوع غیرقابل توضیح، همه آزمایشات به‌ترتیب تصادفی انجام شد. نرم‌افزار Design-Expert 11 برای تعیین تعداد آزمایش‌ها، مقدار پارامترها و در نهایت تجزیه و تحلیل طراحی آزمایش و محاسبه داده‌های پیش‌بینی شده مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). تجزیه و تحلیل واریانس برای ارزیابی تأثیر متغیرهای مورد مطالعه، برهم‌کنش‌ها و اهمیت آماری مدل‌ها استفاده شد. بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند با استفاده از روش بهینه‌سازی عددی با تنظیم اهداف مورد نظر، حداقل غلظت پارامترهای پرایمینگ و حداکثر پاسخ حاصل از روش سطح- پاسخ برای پارامترهای مستقل و وابسته انجام شد.

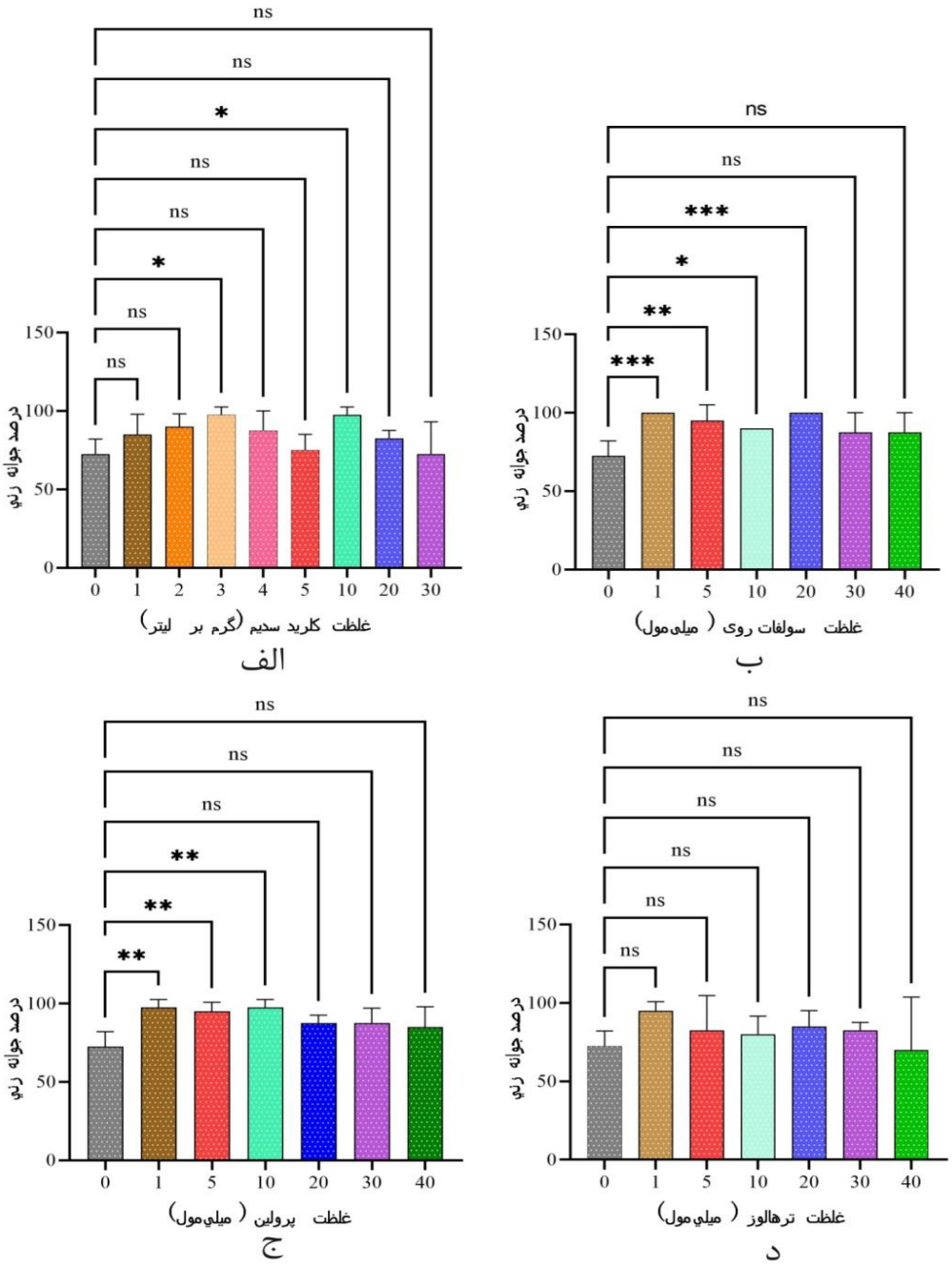
تأیید مدل‌های پیش‌بینی: غلظت‌های بهینه پیش‌بینی شده برای جوانه‌زنی توسط مدل، مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱: نتایج طراحی آزمایش‌های انجام شده مطابق روش باکس- بنکن برای درصد جوانه‌زنی دانه گندم

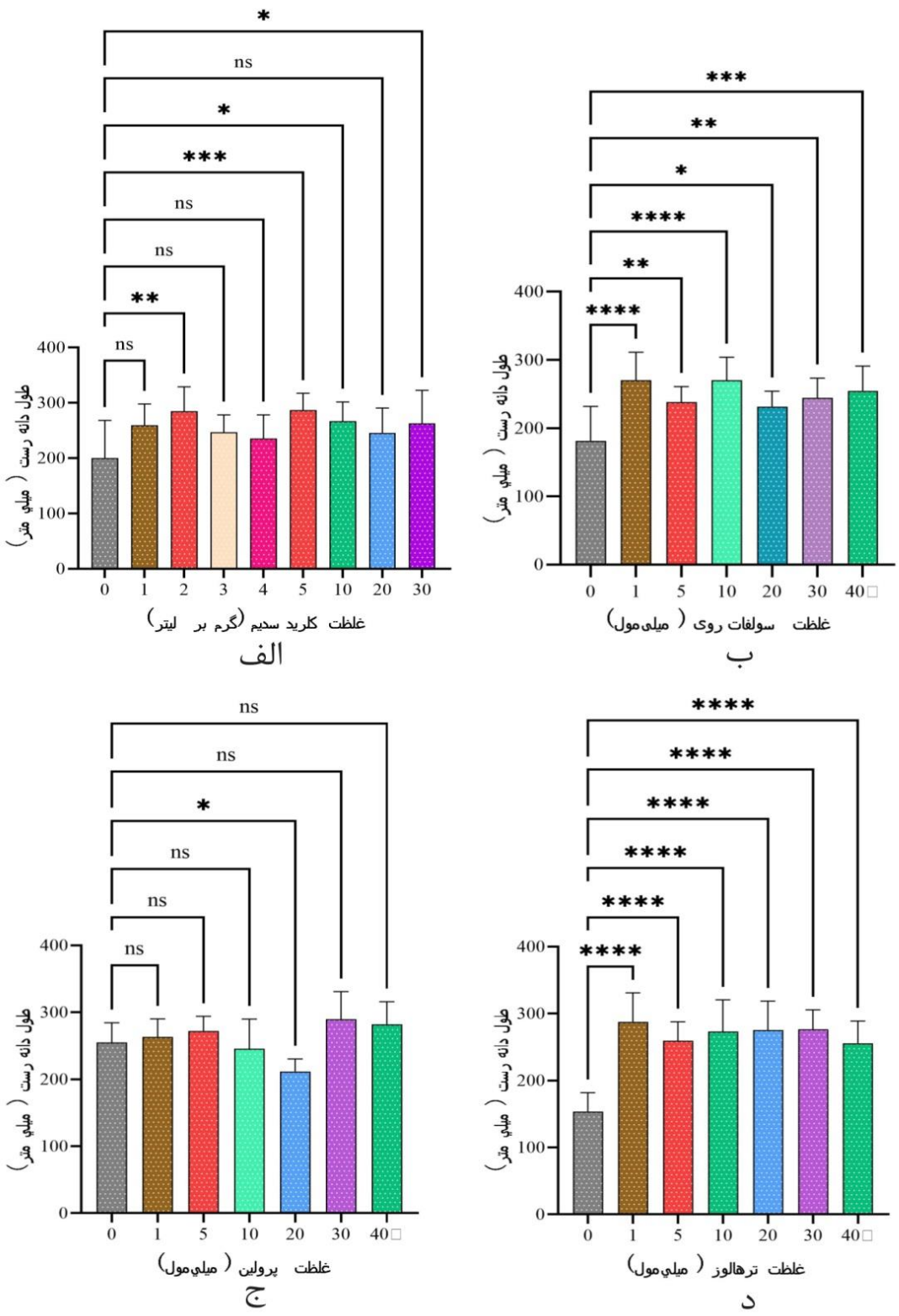
جوانه‌زنی %	ترهالوز:D میلی‌مول	پرولین:C میلی‌مول	سولفات روی:B میلی‌مول	کلرید سدیم:A گرم بر لیتر	Run	استاندارد
۹۵	۰/۵	۵/۵	۱	۳	۲	۱
۹۵	۰/۵	۵/۵	۱	۱۰	۱۴	۲
۹۶	۰/۵	۵/۵	۲۰	۳	۸	۳
۹۶	۵/۵	۵/۵	۲۰	۱۰	۲۰	۴
۸۵	۰	۱	۱۰/۵	۶/۵	۶	۵
۸۵	۰	۱۰	۱۰/۵	۶/۵	۳	۶
۸۲	۱	۱	۱۰/۵	۶/۵	۲۲	۷
۸۲	۱	۱۰	۱۰/۵	۶/۵	۲۴	۸
۸۹	۰	۵/۵	۱۰/۵	۳	۱۰	۹
۸۹	۰	۵/۵	۱۰/۵	۱۰	۱۱	۱۰
۸۶	۱	۵/۵	۱۰/۵	۳	۱۵	۱۱
۸۶	۱	۵/۵	۱۰/۵	۱۰	۲۶	۱۲
۹۱	۰/۵	۱	۱	۶/۵	۱۹	۱۳
۹۱	۰/۵	۱	۲۰	۶/۵	۲۱	۱۴
۹۱	۰/۵	۱۰	۱	۶/۵	۱۶	۱۵
۹۱	۰/۵	۱۰	۲۰	۶/۵	۵	۱۶
۸۸	۰/۵	۱	۱۰/۵	۳	۲۳	۱۷
۸۸	۰/۵	۱	۱۰/۵	۱۰	۱	۱۸
۸۸	۰/۵	۱۰	۱۰/۵	۳	۹	۱۹
۸۸	۰/۵	۱۰	۱۰/۵	۱۰	۴	۲۰
۹۲	۰	۵/۵	۱	۶/۵	۷	۲۱
۹۳	۰	۵/۵	۲۰	۶/۵	۱۸	۲۲
۸۹	۱	۵/۵	۱	۶/۵	۲۵	۲۳
۸۹	۱	۵/۵	۲۰	۶/۵	۱۲	۲۴
۸۳	۰/۵	۵/۵	۱۰/۵	۶/۵	۱۷	۲۵
۸۳	۰/۵	۵/۵	۱۰/۵	۶/۵	۱۳	۲۶

نتایج

نتایج حاصل از این مطالعه نشان دادند که غلظت ترکیبات اسمزی در مدت زمان پرایمینگ به‌طور قابل‌توجهی بر جوانه‌زنی بذور گندم تأثیر می‌گذارد. بالاترین درصد جوانه‌زنی با تیمارهای کلرید سدیم (۳ و ۱۰ گرم در لیتر)، ترهالوز (۰ و ۱ میلی‌مولار)، پرولین (۱ و ۱۰ میلی‌مولار) و سولفات روی (۱ و ۲۰ میلی‌مولار) حاصل شد (شکل ۱). همچنین تیمارهای مختلف در بهبود رشد دانه‌رست گندم نیز موثر بود (شکل ۲).



شکل ۱: تأثیر پرایمینگ ۱۲ ساعته غلظت‌های مختلف تیماری روی جوانه‌زنی بذور گیاه گندم.
الف) غلظت‌های مختلف کلرید سدیم، ب) سولفات روی، ج) پرولین، د) ترهالوز.



شکل ۲: تأثیر پرایمینگ ۱۲ ساعته غلظت‌های مختلف تیماری روی طول دانه‌رست گیاه گندم.
الف) غلظت‌های مختلف کلرید سدیم، ب) سولفات روی، ج) پرولین، د) ترهالوز.

بهینه‌سازی شرایط جوانه‌زنی توسط روش سطح- پاسخ: ماتریس طراحی آزمایشی باکس- بنکن و نتایج تجربی در جدول ۲ ارائه شده است. با تجزیه و تحلیل رگرسیون چندگانه بر روی داده‌های تجربی، می‌توان پاسخ پیش‌بینی شده برای عملکرد جوانه‌زنی را از طریق معادله چند جمله‌ای درجه دوم به‌دست آورد.

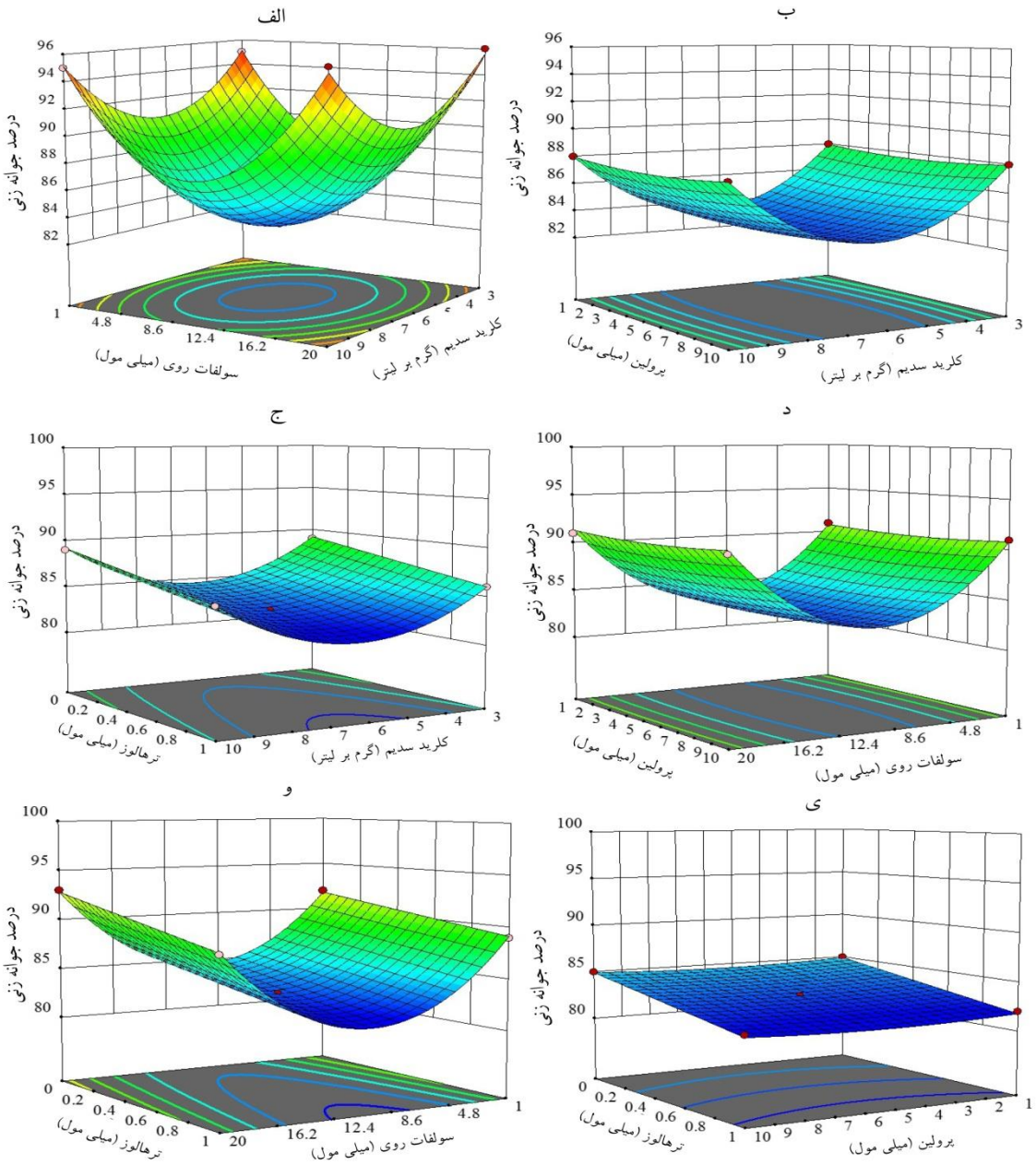
= 83+0A+0.25B+0C-
1.58D+0AB+0AC+0AD+0BC-
0.25BD+0CD+4.63A2+7.75B2+0.357C2+0D2

جوانه‌زنی

نتایج با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس انجام شد (جدول ۲). ضریب تبیین (R^2=۰/۹۹۷۹) که نتیجه درصد تغییرات هرکدام از متغیرهای وابسته تحت تاثیر متغیرهای مستقل است و R^2 تصحیح شده (R^2_{adj}=۰/۹۹۵۲)، نشان‌دهنده برازش خوب مدل است. برای مشاهده رابطه بین متغیرهای مستقل و پاسخ‌ها، نمودار پاسخ سه بعدی برای عملکرد مدل‌ها برای اثر متقابل دو متغیر تهیه شد.

جدول ۲: نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	p	
مدل	٤٣٣/٧٤	١٤	٣٠/٩٨	٣٧١/٧٧	< /٠٠٠١	معنی‌دار
A-کلرید سدیم	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
B-سولفات روی	٠/٧٥٠٠	١	٠/٧٥٠٠	٩/٠٠	٠/٠١٢١	
C-پرولین	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
D-ترهالوز	٣٠/٠٨	١	٣٠/٠٨	٣٦١/٠٠	< ٠/٠٠٠١	
AB	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
AC	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
AD	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
BC	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
BD	٠/٢٥٠٠	١	٠/٢٥٠٠	٣/٠٠	٠/١١١٢	
CD	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
A^2	٩٣/٣٤	١	٩٣/٣٤	١١٢٠/٠٩	< ٠/٠٠٠١	
B^2	٢٦٢/٠٩	١	٢٦٢/٠٩	٣١٤٥/٠٩	< ٠/٠٠٠١	
C^2	٠/٦١٣٦	١	٠/٦١٣٦	٧/٣٦	٠/٠٢٠٢	
D^2	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠	٠/٠٠٠٠	١/٠٠٠٠	
باقیمانده	٠/٩١٦٧	١١	٠/٠٨٣٣			
عدم برازش	٠/٩١٦٧	١٠	٠/٠٩١٧			
خطای محض	٠/٠٠٠٠	١	٠/٠٠٠٠			
نمونه کل	٤٣٤/٦٥	٢٥				

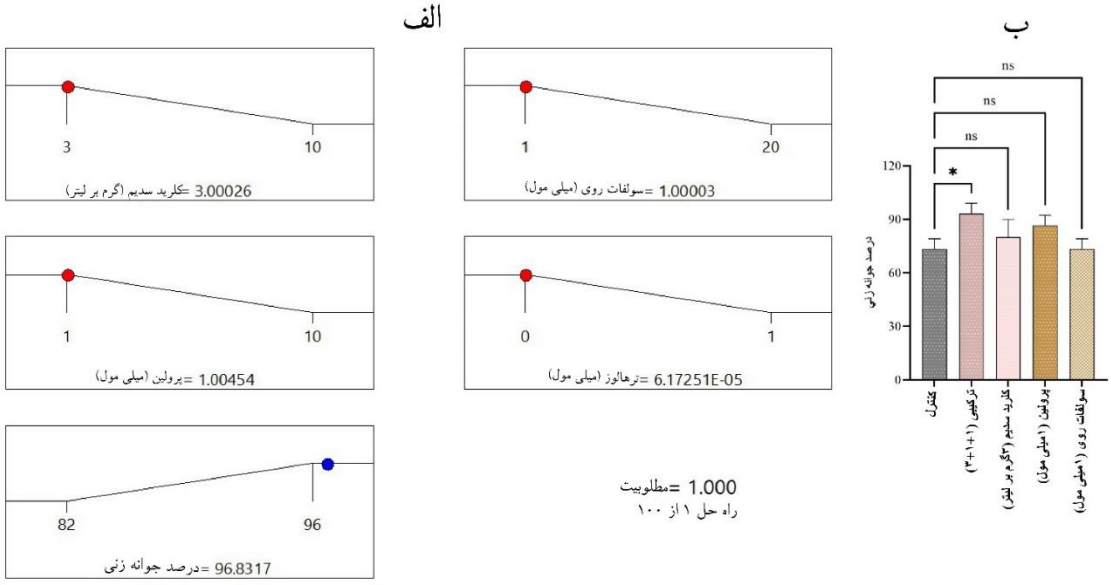


شکل ۳: نمودار سه بعدی درصد جوانه‌زنی بذورگندم در غلظت‌های مختلف تیماری. الف) اثر متقابل غلظت‌های کلرید سدیم و سولفات روی. ب) اثر متقابل غلظت‌های کلرید سدیم و پرولین. ج) اثر متقابل غلظت‌های کلرید سدیم و ترهالوز. د) اثر متقابل غلظت‌های پرولین و سولفات روی. و) اثر متقابل غلظت‌های ترهالوز و سولفات روی. ی) اثر متقابل غلظت‌های ترهالوز و پرولین بر روی درصد جوانه‌زنی گندم.

بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند: بهینه‌سازی عددی برای به‌دست آوردن بهترین شرایط مناسب برای اسموپرایمینگ انجام شد و حداکثر مطلوبیت محلول بهینه شده با اختصاص اهداف مطلوب برای هر متغیر و پاسخ به‌دست آمد. هدف تعیین شده عبارت از قرار دادن غلظت‌های تیماری در حداقل و به حداکثر رساندن جوانه‌زنی نهایی بود. بر اساس یافته‌های فوق، یک مطالعه بهینه‌سازی انجام شد و شرایط بهینه به

شـــرح زیر تعیین گردید: غلظت ۳ گرم بر لیتر کلرید سـدیم + ۱ میلی‌مولار سـولفات روی + ۱ میلی‌مولار پرولین و غلظت ۰ میلی‌مولار ترهالوز.

شـکل ٤–الف نمودارهای پیش‌بینی شـده در برابر مقادیر واقعی برای جوانه‌زنی را نشـان می‌دهد. بدیهی اسـت که مطابقت خوبی بین هر دو مقدار وجود دارد. مقادیر مطلوب متغیرهای مسـتقل پیش‌بینی شـده با مطلوبیت کلی ۱ در شکل ٤ –الف دیده می‌شود. نتایج بهینـه‌سـازی براسـاس حداقل غلظت پارامترهای پرایمینگ و حداکثر پاسـخ حاصـل از روش سـطح-پاسـخ مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با استفـاده از غلظت‌های حداقل از هر تیمار می‌توان به عملکرد بالای جوانه‌زنی دست یافت (شکل ٤ –ب).



شکل ٤: نتایج حاصل از بهینه سازی پارامترها الف) منحنی‌های مطلوبیت برای بهینه‌سازی عددی چهار هدف غلظتی کلرید سدیم، سـولفات روی، پرولین و ترهالوز در جوانه‌زنی گندم در حداقل غلظت تیمارها. ب) اثر پرایمینگ ۱۲ سـاعته غلظت ترکیبی بهینه شده بر درصد جوانه‌زنی ۳+۱+۱ (غلظت ۳ گرم بر لیتر کلرید سدیم+ ۱ میلی‌مولار پرولین + ۱ میلی‌مولار سولفات روی).

بحث

تحقیقات نشـان داده اسـت جوانه‌زنی بذور گندم می‌تواند تحت شرایط نامساعد محیطی به تعویق بیفتد یـا کاهش یابد (Ashraf and Abu-Shakra, 1978). پرایمینگ بذر روش سـاده‌ای اسـت که جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را در شرایط عـــادی و تنش تسریـع می‌کند (Khafagy et al., 2017; Khan et al., 2017). تأثیر مثبت اسـموپرایمینگ در بهبود جوانه‌زنی بذور، ظهور گیـاهچـه و مقاومت به تنش در چندین گیاه زراعی نشان داده شـــده است. اسمـــوپرایمینگ روشـی برای هیدراتاسـیون کنترل شـده اسـت که به برخی از فرآیندهای جوانه‌زنی امکان ادامه می‌دهد اما از ظهور ریشـه‌چه جلوگیری می‌کند (Finch-Savage and Leubner-Metzger, 2006). تـأثیـر ترکیبـات مختلفی از قبیل هیدروفسـفات پتاسـیم (K_2HPO_4)، پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) و کلریدپتاسـیم (KCl) روی شـاخص‌های جوانه‌زنی و عملکرد محصـول گندم آزمـایش شـــده‌انـد (Misra and Dwivedi, 1980; Dell'Aquila et al., 1984). به‌عنوان مثال، قرار دادن بذور گندم در ۲/۵٪ کلرید پتـاسیم (KCl) پس از ۱۲ سـاعت (Misra and Dwivedi, 1980)، یا ۰/۵ تا ۱٪ محلول سـولفـات پتاسـیم (K_2SO_4) (Paul and

Choudhury, 1991)، می‌تواند باعث افزایش قابل توجه عملکرد محصول شود. نشان داده شده است که پرایمینگ بذور گندم به مدت ۱۲ ساعت در غلظت کم PEG6000 یا KH_2PO_4 در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد منجر به درصد جوانه‌زنی بالاتر و قدرت بیشتر بذر می‌شود (Yari et al., 2010). علاوه بر این، اسموپرایمینگ بذور *Vigna unguiculata* با نمک KNO_3 ۱٪ به مدت ٦ ساعت نسبت به هیدروپرایمینگ، می‌تواند منجر به جوانه‌زنی بیشتر بذر و ارتفاع بیشتر گیاهچه شود (Singh et al., 2014). در گندم ارقام کراس البرز و سرداری، حداکثر طول ساقه و ریشه، وزن خشک ساقه و ریشه و سرعت جوانه‌زنی در تیمار بذرها با GA3 50 ppm به مدت ٢٤ ساعت، KNO_3 ١٪ به مدت ٢٤ ساعت و هیدروپرایمینگ و اسموپرایمینگ ۱۲ ساعته به‌دست آمده است (Abnavi and Ghobadi, 2012). همچنین غلظت ٤ گرم در لیتر اوره و ۰/۳٪ سولفات روی به‌عنوان تیمارهای مناسب و برتر پرایمینگ بذر در گندم برای شرایط دیم شناسایی شده‌اند (Safari et al., 2019). مطالعات نشان داده‌اند که مدت زمان قرار گرفتن بذر در محلول تیماری بیشتر از پتانسیل آب ناشی از عوامل اسموپرایمینگ جوانه‌زنی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Mirmazloum et al., 2020).

به‌طور کلی، اسموپرایمینگ در پتانسیل‌های بالاتر آب (۰/۳- تا ۱/۵- مگاپاسکال) و زمان‌های تیمار کوتاه (۱۲ ساعت تا ۲ روز) نسبت به پتانسیل‌های آب منفی‌تر و/ یا زمان‌های تیمار طولانی‌تر، مطلوب‌تر است، زیرا فرآیندهای اکسیداسیون منجر به تجمع عناصر مضر برای جوانه‌زنی می‌شود (Lemmens et al., 2019). نتایج پرایمینگ دانه گندم با غلظت‌های مختلف کلرید سدیم نشان داده است که غلظت ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌مولار بر تنش نمکی غلبه کرده، که در غلظت‌های بالاتر تا ۲۰۰ میلی‌مولار کاهش می‌یابد (Fuller et al., 2012). همچنین پرایمینگ پنج غلظت (۰، ۲، ٤، ٦ و ۸ گرم در لیتر کلرید سدیم در ذرت نشان می‌دهد که پرایمینگ بذر با ۵ گرم در لیتر کلرید سدیم برای بهبود جوانه‌زنی و رشد زودرس مناسب‌تر است (Yohannes and Abraha, 2013). تحت شرایط نامطلوب مانند تنش شوری، آماده‌سازی با کلرید سدیم (٤ گرم بر لیتر، ٣٦ ساعت) می‌تواند یک واکنش متابولیکی مناسب در بذرهای گیاه *Trigonella foenumgraecum* L. ایجاد کرده و باعث بهبود جوانه‌زنی بذر شود (Soughir et al., 2012). مطالعات بر روی دو واریته گندم نشان داد که ۰/۰۵ میلی‌مول سولفات روی بهترین غلظت برای رشد و استقرار بهینه گیاهچه در ارقام مورد استفاده بود (Bose and Singhal, 2020). همچنین پرایمینگ دانه‌های گیاه نخود سبز با ۱٪ سولفات روی و دانه‌های ذرت با ۲٪ از سولفات روی به مدت ۱۲ ساعت بیشترین عملکرد بذر را نشان داد (Sharma and Parmar, 2018). بذرهای گندم تیمار شده با ۰/۵ و ۱٪ سولفات روی زودتر از تیمارهای شاهد (محلول ۰ ٪) و ۲٪ سولفات روی به مرحله اتوتروفی رسیده، سطح برگی بیشتری نشان می‌دهند (Abbasi et al., 2017). نشان داده شده است که غلظت پرولین ۲ میلی‌مول در کاهش اثر مهاری تنش نمکی بر گیاهان ذرت موثرتر است (Perveen and Nazir, 2018). این موارد نشان می‌دهد که تاثیرگذاری نوع ترکیبات، غلظت و مدت زمان تیمار بر فرایندهای جوانه‌زنی و رشد گیاهچه نه تنها در گونه‌های مختلف گیاهی بلکه در شرایط متنوع محیطی می‌تواند نتایج متفاوتی را ارائه دهد. از این رو غربالگری و بهینه‌سازی پارامترهای تأثیرگذار بر این فرآیندها می‌تواند منجر به ایجاد یک مجموعه استاندارد و کارآمد از تمام پارامترهای مؤثر بر این فرایند شود.

آنالیز داده‌ها و غربالگری اولیه تک پرایمینگ غلظت‌های مختلف تیماری، معنی‌داری و بیشترین درصد جوانه‌زنی در غلظت‌های ۳ و ۱۰ گرم بر لیتر کلرید سدیم، ۱ و ۲۰ میلی‌مولار سولفات روی، ۱ و ۱۰ میلی‌مولار پرولین و ۰ و ۱ میلی‌مولار ترهالوز را نشان داد. بر اساس این نتایج به منظور تنظیم دقیق فرایندهای تأثیرگذار بر پارامترها، بهینه‌سازی چنین پارامترهایی به بهبود کارایی کلی فرآیند اسموپرایمینگ بذر کمک می‌کند. از این رو از روش سطح- پاسخ برای بهینه‌سازی و بررسی اثر همزمان پارامترهای موثر بر جوانه‌زنی استفاده شد. روش سطح- پاسخ می‌تواند حداقل تعداد ترکیبات تیماری، تجزیه و تحلیل گرافیکی مناسب، تجزیه و تحلیل آماری کلی شامل طراحی آزمایشات، انتخاب سطوح برای متغیرهای فرایند، مدل‌های مناسب ریاضی و در نهایت انتخاب سطح متغیرهای بهینه با استفاده از بهینه سازی عددی/ گرافیکی پاسخ، ارایه دهد (Mahawar et al., 2016). بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل‌سازی درصد جوانه‌زنی با استفاده از روش سطح- پاسخ بر مبنای طراحی باکس- بنکن، برای بررسی اثر غلظت‌های تیماری با یک مدل درجه دو قابل توضیح است. با توجه به مقدار بالای ضریب تبیین R^2 و R^2 متعادل شده می‌توان گفت مدل به‌دست آمده می‌تواند برای پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی به‌وسیله ترکیبات اسمزی مناسب باشد. بهینه‌سازی عددی و حداکثر مطلوبیت با شرایط تعیین شده (درصد جوانه‌زنی حداکثر و غلظت ترکیبات اسمزی حداقل) غلظت‌های بهینه برای جوانه‌زنی، غلظت ۳ گرم بر لیتر کلرید سدیم + ۱ میلی‌مولار سولفات روی + ۱ میلی‌مولار پرولین و غلظت ۰ میلی‌مولار ترهالوز به‌دست آمد.

نتایج این تحقیق ثابت کرد که این مدل‌ها قابلیت استفاده در طراحی و پیش‌بینی پاسخ‌ها به روشی دقیق را دارند. نمودارهای سطح- پاسخ نشان می‌دهد که درصد جوانه‌زنی با افزایش محتوای کلریدسدیم و محتوای سولفات روی کاهش یافته و در سطوح کم و بالای آنها افزایش می‌یابد. از آنجا که محتوای پرولین می‌تواند تحت تنش نمکی افزایش یابد و به‌عنوان یک تنظیم کننده اسمزی عمل کند (Zare et al., 2014)، رابطه مستقیم برهم‌کنش کلرید سدیم و پرولین می‌تواند یک پارامتر مفید برای بهبود عملکرد بذور به منظور تحمل شوری باشد. گزارش پژوهشی نشان داد که افزودن ترهالوز سبب مهار رشد گیاهچه‌های آرابیدوپسیس می‌گردد (Vahdati et al., 2010). همچنین کاربرد ماده روی به‌طور قابل‌توجهی غلظت‌های Na و Cl، پرولین و غلظت قندهای محلول را در برنج کاهش می‌دهد (Saleh and Maftoun, 2008).

نتایج نشان‌دهنده عدم برهمکنش روی-پرولین، پرولین-ترهالوز و برهمکنش در غلظت‌های متناسب از روی-ترهالوز در جوانه‌زنی بود. بهینه‌سازی مقادیر غلظت‌ها بر اساس استفاده از حداقل میزان ترکیب و حداکثر مقدار پاسخ صورت گرفت. بنابراین نتایج نشان داد که با استفاده از غلظت‌های حداقل از هر تیمار می‌توان به عملکرد بالای جوانه‌زنی دست یافت.

نتیجه‌گیری نهایی

به خوبی مشخص شده است که اسموپرایمینگ عملکرد جوانه زنی بذر را در شرایط عادی و همچنین تحت فشار محیطی بهبود می‌بخشد. با این‌حال، بررسی غلظت‌های مختلف ترکیبات اسمزی به تنهایی و به دنبال آن در ترکیب با یکدیگر به‌طور همزمان در مطالعات قبلی برای گندم گزارش نشده است. در این تحقیق غلظت‌های بهینه تک‌تیماری به‌عنوان پارامترهای مستقل با استفاده از روش سطح- پاسخ و طراحی باکس- بنکن مورد بررسی قرار گرفت و ترکیب بهینه با بالاترین ارزش مطلوبیت به عنوان

بهترین غلظت ترکیبی به منظور رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی انتخاب شد. تجزیه و تحلیل مدل با کمک پارامترهای مختلف آماری معنی‌دار بودن مدل را نشان داد که با آزمون‌های آزمایشگاهی مورد تایید قرار گرفت. نتایج توانایی این روش برای آزمایش برهم کنش‌های پیچیده عوامل موثر بر فرآیندها را نشان می‌دهد، اگر این عوامل شامل تنش‌های محیطی باشند، این روش می‌تواند بررسی کند که چه تیمارهایی می‌توانند موفقیت را در آن محیط استرس‌زا بهینه کنند.

Refrences

Abbasi, A., Shekari, F., Mousavi, S.B., Sabaghnia, N. and Javanmard, A. (2017). The partitioning trend of resources and Alpha-Amylase enzyme activity with Zinc priming in wheat (*Triticum aestivum*) seed. Iranian Journal of Seed Research. 3(2): 1-13.

Abid, M., Hakeem, A., Shao, Y., Liu, Y., Zahoor, R., Fan, Y., Suyu, J., Ata-Ul-Karim, S.T., Tian, Z. and Jiang, D. (2018). Seed osmopriming invokes stress memory against post-germinative drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). Environmental andExperimental Botany. 145: 12-20.

Abnavi, M.S. and Ghobadi, M. (2012). The effects of source of priming and post-priming storage duration on seed germination and seedling growth characteristics in wheat (*Triticum aestivem* L.). Journal of Agricultural Science. 4(9): 256.

Alizadeh, M. and yadavi, A. (2016). The effect of priming and irrigation water quality on seed and oil yield and yield components of two sesames *(Sesamum indicum* L.). Journal of Plant Productions (Agronomy, breeding and horticulture). 39(2): 115-125.

Ashraf, C. and Abu-Shakra, S. (1978). Wheat seed germination under low temperature and moisture stress. Agronomy Journal. 70(1): 135-139.

Bose, B. and Singhal, R. (2020). Drought stress responses of wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) using Mg $(NO_3)_2$ and $ZnSO_4$ primed seeds.

Dell'Aquila, A. and Taranto, G. (1986). Cell division and DNA-synthesis during osmopriming treatment and following germination in aged wheat embryos. Seed Science and Technology. 14(2): 333-341.

Dell'Aquila, Pignone, A.D. and Carella, G. (1984). Polyethylene glycol 6000 priming effect on germination of aged wheat seed lots. Biologia Plantarum. 26(3): 166.

Ebrahimi, N. and Kaboli, S.H. (2020). Effect of different times and KNO_3 concentrations on *Silybum marianum* seedling enhancement. Journal of Medicinal Plants and By-product. 9(1): 51-58.

Farooq, M., Irfan, M., Aziz, T., Ahmad, I. and Cheema, S. (2013). Seed priming with Ascorbic acid improves drought resistance of wheat. Journal of Agronomy and Crop Science. 199(1): 12-22.

Farooq, S., Hussain, M., Jabran, K., Hassan, W., Rizwan, M.S. and Yasir, T.A. (2017). Osmopriming with $CaCl_2$ improves wheat (*Triticum aestivum* L.) production under water-limited environments. Environmental Science and PollutionResearch. 24(15): 13638-13649.

Feghhenabi, F., Hadi, H., Khodaverdiloo, H. and Van- Genuchten, M.T. (2020). Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Water Management. 231: 106022.

Finch-Savage, W.E. and Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. New phytologist. 171(3): 501-523.

Fuller, M.P., Hamza, J.H., Rihan, H.Z. and Al-Issawi, M. (2012). Germination of primed seed under NaCl stress in wheat. International Scholarly Research Notices 2012.

Khafagy, M., Mohamed, A.H., Farouk, S. and Amrajaa, H.K. (2017). Effect of pre-treatment of barley grain on germination and seedling growth under drought stress.

Advances in Applied Sciences. 2(3): 33-42.

Khan, A., Shafi, M., Bakht, J. and Anwar, S. (2017). Effect of salinity and seed priming on growth characters of wheat varieties. Sarhad Journal of Agriculrure. 33: 435-446.

Lemmens, E., Deleu, L.J., De Brier, N., De Man, W.L., De Proft, M., Prinsen, E. and Delcour, J.A. (2019). The impact of hydro-priming and osmo-priming on seedling characteristics, plant hormone concentrations, activity of selected hydrolytic enzymes, and cell wall and phytate hydrolysis in sprouted wheat (*Triticum aestivum* L.). ACS Omega. 4(26): 22089-22100.

Lutts, S., Benincasa, P., Wojtyla, L., Kubala, S., Pace, R., Lechowska, K., Quinet, M. and Garnczarska, M. (2016). Seed priming: new comprehensive approaches for an old empirical technique. New Challenges in Seed Biology-Basic and Translational Research Driving Seed Technology: 1-46.

Mahawar, M.K., Samuel, D., Sinha, J. and Jalgaonkar, K. (2018). Optimization of Hydropriming of Okra (Abelmoschus esculentus) Seeds Using Response Surface Methodology. Agricultural Research. 7(1): 25-36.

Mahawar, M.K., Samuel, D., Sinha, J. and Jalgaonkar, K. (2016). Optimization of pea (*Pisum sativum*) seeds hydropriming by application of response surface methodology. Acta Physiologiae Plantarum. 38(9): 1-13.

Manmathan, H., Shaner, D., Snelling, J., Tisserat, N. and Lapitan, N. (2013). Virus-induced gene silencing of *Arabidopsis thaliana* gene homologues in wheat identifies genes conferring improved drought tolerance. Journal of Experimental Botany 64(5): 1381-1392.

M**irmazloum, I., Kiss, A., Erdélyi, É., Ladányi, M., Németh, É.Z. and Radácsi, P. (2020).** The effect of osmopriming on seed germination and early seedling characteristics of *Carum carvi* L. Agriculture. 10(4): 94.

Misra, N. and Dwivedi, D. (1980). Effects of pre-sowing seed treatments on growth and dry-matter accumulation of high-yielding wheat under rainfed conditions. Indian Journal of Agronomy.

Nawaz, J., Hussain, M., Jabbar, A., Nadeem, G.A., Sajid, M., Subtain, M.U. and Shabbir, I. (2013). Seed priming a technique. International Jjournal of Agriculture And Crop Sciences. 6(20): 1373.

Paul, S. and Choudhury, A. (1991). Effect of seed priming with potassium salts on growth and yield of wheat under rainfed condition.

Peng, X., Yang, G., Shi, Y., Zhou, Y., Zhang, M. and Li, S. (2020). Box–Behnken design based statistical modeling for the extractgion and physicochemical properties of pectin from sunflower heads and the comparison with commercial low-methoxyl pectin. Scientific Reports. 10(1): 1-10.

Pereira, E.G., Amaral, M.B., Bucher, C.A., Santos, L.A., Fernandes, M.S. and Vieira Rossetto, C.A. (2021). Proline osmopriming improves the root architecture, nitrogen content and growth of rice seedlings. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 33: 101998.

Perveen, S. and Nazir, M. (2018). Proline treatment induces salt stress tolerance in maize (*Zea Mays* L. cv. *Safaid afgoi*). PakistanJournal of Botany. 50(4): 1265-1271.

Rezai, A., Balouchi, H., Movahhedi Dehnavi, M. and Adhami, I. (2018). Effect of different priming on seed germination indices and enzyme of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) SOR834 genotype under cadmium chloride and nitrate toxicity. Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture). 41(1): 69-82.

Safari, k., sohrabi, y., Siosemardeh, A. and sasani, S. (2019). Effect of seed priming on some shoot and root morphophysiological characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in potted planting conditions in farm. Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and hHorticulture).

Saleh, J. and Maftoun, M. (2008). Interactive effects of NaCl levels and zinc sources and levels on the growth and mineral composition of rice. Journal of

AgriculturalScience and Technology. 10(4): 325-336.

Sharma, M. and Parmar, D. (2018). Effect of seed priming with zinc sulfate on yield and quality parameters of rainfed maize-pea sequence under mid hill conditions of Himachal Pradesh. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 7(1): 1401-1407.

Singh, A., Dahiru, R., Musa, M. and Sani Haliru, B. (2014). Effect of osmopriming duration on germination, emergence, and early growth of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the Sudan Savanna of Nigeria. International Journal of Agronomy 2014.

Soughir, M., Aymen, E.M. and Cherif, H. (2012). Effect of NaCl priming duration and concentration on germination behavior of fenugreek. Albanian Journal of Agricultural Sciences. 11(4): 193.

Stephen, K., Khan, F., Bhat, S., Narayan, S., Mir, S., Mir, M., Hussain, K., Gul, M., Khurshid, A. and Siddiqi, I. (2018). Optimizing priming concentration and duration of various priming agents for improved seed germination in chilli (*Capsicum annum* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 7(4): 2689-2693.

Vahdati, M., Aghdasi, M. and Sadeghipour, H.R. (2010). Interaction of trehalose and ascorbic acid in growing *Arabidopsis* seedlings. Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources). 17(4): 27-48.

Varier, A., Vari, A.K. and Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. Current Science. 99(4): 450-456.

Yari, L., Aghaalikani, M. and Khazaei, F. (2010). Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). ARPN Journal of Agricultural and Biological Science. 5(1): 1-6.

Yohannes, G. and Abraha, B. (2013). The role of seed priming in improving seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.) under salt stress at laboratory conditions. African Journal of Biotechnology. 12(46): 6484-6490.

Zare, N., Sadat Noori, S., Kholgh Sima, N.A.K. and Mortazavian, S.M.M. (2014). Effect of laser priming on accumulation of free proline in spring durum wheat (*Triticum turgidum* L.) under salinity stress. International Transaction Journal of Engineering, Management, and Applied Sciences and Technologies. 5(2): 119-130.