Winter (2023) 13(44): 71-83.
DOI: 10.30473/cb.2023.69761.1932
Received: 18, Nov. 2023 Accepted: 28, Dec. 2023

Crop Biotechnology Open Access

ORIGINAL ARTICLE

Germination of Iranian and European barley cultivars under salinity stress and its relationship with seed storage proteins

Ali Maleki[1], Leila Zarei[*], Sohbat Bahraminejad, Kianoosh Cheghamirza, Leila Akbari, Fardin Fatahi

Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.

Correspondence
Leila Zarei
Email: lzarei1360@yahoo.com

How to cite
Maleki, A., Zarei, L., Bahraminejad, S., Cheghamirza, K., Akbari, L., & Fatahi, F. (2023). Germination of Iranian and European barley cultivars under salinity stress and its relationship with seed storage proteins. *Crop Biotechnology*, *13*(44), 71-83.

ABSTRACT

Germination is one of the most important stages of crop plant growth and proper germination in a wide range of environmental conditions is necessary for plant establishment. In this research, 20 varieties of Iranian barley and 24 varieties of European barley were used in three salinity levels (100, 200 and 300 mM sodium chloride) and a control level (distilled water) in order to investigate the tolerance of salinity stress in the germination stage, as a factorial test based on a completely randomized design with three replications in the mushroom cultivation chamber with controllable temperature and light and sterile conditions in the Nosoud agricultural service center by a protein marker in the biotechnology laboratory of the agriculture and natural resources of Razi university. The results of analysis of variance of traits related to germination showed that the effect of salinity, cultivar and salinity × cultivar were significant for all traits. By increasing the salinity level from 0 to 300 mM, all traits and indices decreased except the average germination time. The germination percentage had a positive and significant correlation with the total seedling length, shoot length, seed germination index, average germination rate and germination rate index. Stepwise regression analysis of different traits with protein markers showed that there were 13 bands associated with different traits. The most significant correlation with traits was related to the 60 kDa marker which was related four indices of seed germ, average germination speed, shoot length and cleoptile length. After the validation studies and confirmation of the results, the identified markers can be used in marker-assisted selection for related traits.

KEYWORDS

Indices related to germination, Stepwise regression, Protein marker.

© 2023, by the author(s). Published by Payame Noor University, Tehran, Iran.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

سال سیزدهم، شماره دوم، پیاپی چهل و چهارم، زمستان ۱۴۰۲ (۸۳-۷۱)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۷

DOI: 10.30473/cb.2023.69761.1932

نشریه علمی

زیست‌فناوری گیاهان زراعی

«مقاله پژوهشی»

جوانه‌زنی ارقام ایرانی و اروپایی جو در شـــرایط تنش شـــوری و ارتباط آن با پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر

علی ملکی، لیلا زارعی*، صحبت بهرامی‌نژاد، کیانوش چقامیرزا، لیلا اکبری، فردین فتاحی

گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

نویسنده مسئول:
لیلا زارعی
رایانامه: lzarei1360@yahoo.com

چکیده

جوانه‌زنی و سبزشدن یکی از مهم‌ترین مراحل رشد گیاه زراعی است. لذا جوانه‌زنی مناسب در محدوده وسیعی از شرایط محیطی برای استقرارگیاهچه ضروری است. در این تحقیق، ۲۰ رقم جو ایرانی و ۲۴ رقم جو اروپایی، به منظور بررسی تحمل تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی، در سه سطح شوری (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار کلریدسدیم) و شاهد (آب مقطر) به صورت آزمایش فاکتوریل براساس طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در اتاقک پرورش قارچ با شرایط دما و نور قابل کنترل و شرایط استریل واقع در مرکز خدمات کشاورزی نوسود و هم‌چنین توسط نشانگر پروتئینی در آزمایشگاه بیوتکنولوژی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی ارزیابی شدند. نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با جوانه زنی نشان داد که اثر شوری، اثر رقم و اثر متقابل شوری× رقم برای سایر صفات مورد بررسی معنی‌دار شد. با افزایش شدت تنش شوری از صفر تا ۳۰۰ میلی‌مولار، کلیه صفت‌ها و شاخص‌ها به‌جز میانگین زمان جوانه‌زنی کاهش یافتند. درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول کل گیاهچه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی داشت. تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات مختلف با نشانگرهای پروتئینی نشان داد در مجموع ۱۳ نوار مرتبط با صفات مختلف بودند. بیشترین ارتباط معنی‌دار با صفات مربوط به نشانگر ۶۰ کیلودالتون بود که با چهار شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول کلئوپتیل مرتبط بود. پس از مطالعات اعتبارسنجی و تأیید نتایج، می‌توان از نشانگرهای شناسایی شده در گزینش به کمک نشانگر برای صفات مرتبط استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی

شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی، رگرسیون گام‌به‌گام، نشانگر پروتئینی.

استناد به این مقاله:

ملکی، علی، زارعی، لیلا، بهرامی‌نژاد، صحبت، چقامیرزا، کیانوش، اکبری، لیلا و فتاحی، فردین (۱۴۰۲). جوانه‌زنی ارقام ایرانی و اروپایی جو در شرایط تنش شوری و ارتباط آن با پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر. فصلنامه علمی زیست فناوری گیاهان زراعی، ۱۳(۴۴)، ۸۳-۷۱.

مقدمه

جو یکی از مهم‌ترین غلات است که بطور گسترده جهت مصرف انسان، دام، تولید مالت و در انواع صنایع غذایی، دارویی و تبدیلی استفاده می‌شود و پس از گندم، برنج و ذرت در مرحله چهارم ا همیت جهانی قرار دارد (Langridge, 2018) از کل جو تولیدی در جهان ۷۰ درصد آن به‌عنوان خوراک دام، ۲۱ درصد درتولید نوشیدنی‌های مختلف و ۶ درصد مستقیما توسط انسان به‌شکل غذا مصرف می‌گردد (Tricase *et al*., 2018). در نهایت به‌دلیل مطرح بودن جو به‌عنوان گیاه مدل در مطالعات ژنوم و اهمیت اقتصادی بالا، جو را به یک مدل ایده‌آل در بین غلات بدل کرده است (Mascher *et al*., 2017).

بیش از ۲۰ درصد از کل زمین‌های زیر کشت جهان و ۳۳ درصد از زمین‌های آبی تحت تأثیر تنش شوری قرار دارند (Rui *et al*., 2017). شوری یکی از مهمترین عوامل کاهش تولید و تهدیدی برای کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه خشک جهان ارزیابی می‌شود (Ashraf, 2010). درگیاهانی که با بذر تکثیر می‌شوند، مرحله جوانه‌زنی به‌علت تاثیری که بر تراکم گیاه دارد بسیار مهم است، زیرا بقاء و استقرار گیاه وابسته به جوانه‌زدن بذر آن است (جلالی و همکاران، ۲۰۲۰). جوانه‌زنی مرحله‌ای در چرخه زندگی گیاه است که بیشترین تأثیر نامطلوب را از شوری می‌گیرد (Mwando *et al*., 2020). تحقیقات نشان داده است که مهم‌ترین اثر تنش شوری بر روی جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه اعمال می‌گردد. هرچند شوری برتمام مراحل رشد گیاهان موثراست، اما حیاتی‌ترین و مهم‌ترین تأثیر را بر جوانه‌زنی گیاهان می‌گذارد. در شوری از طریق کاهش پتانسیل آب و سمیت ناشی از یون‌های خاص مثل سدیم و کلر و کاهش یون‌های مورد نیاز مثل کلسیم و پتاسیم، جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cherki *et al*., 2002; Leidi *et al*., 1991; Soltani *et al*., 2005).

تنش شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، کاهش سرعت جوانه‌زنی، تأخیر در جوانه‌زنی، کاهش رشد گیاهچه می‌شود. شوری پتانسیل آبی سوبسترا را کاهش داده و جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه را محدود می‌کند. در آزمایشی برروی ارقام گیاه کینوا، شوری باعث کاهش درصد جوانه‌زنی، کاهش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه و کاهش محسوس در وزن تر گیاهچه گردید. با افزایش سطح شوری تجمع مالون دی آلدیید و فعالیت پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافت و به موازات افزایش سطح شوری میزان رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول هم افزایش یافت (Parvez *et al*., 2020). در مورد تأثیر شوری بر جوانه‌زنی گندم و جو نتیجه نشان داده است که افزایش شوری باعث تاخیر در جوانه‌زنی و کاهش جوانه‌زنی نهایی به دلیل جذب کم آب و تجمع بالای سدیم و کلر می‌شود (Nawaz *et al*., 2022). همچنین در آزمایشات متعدد نتایج مشابهی به دست آمده است (Noroozi *et al*., 2022; Ghaffari Moghaddam *et al*., 2019).

گزینش از طریق نشانگر، روشی سودمند با کارایی بالا برای انتخاب صفاتی است که روش اندازه گیری آنها سخت بوده و یا در مراحل نهایی رشد بیان شده و وراثت‌پذیری آن‌ها پایین است. استفاده از این روش، امکان ارزیابی ژنتیکی قبل از ارزیابی فنوتیپی را در دسترس قرار می‌دهد (Francia *et al*., 2005).

تکنیک‌های مولکولی امکان بررسی ژنتیکی دقیق‌تر و بررسی عوامل محیطی تنوع را امکان‌پذیر می‌سازد و سبب دقت بیشتر در اندازه‌گیری و ارزیابی تنوع ژنتیکی می‌گردد. تکنیک الکتروفورز SDS-PAGE به‌طور وسیعی برای بررسی تنوع پروتئینی دانه در محصولات زراعی استفاده شده‌است (Al-Huqail *et al*., 2015; Kakaei and Kahrizi, 2011; Kakaie *et al*., 2014). این روش همچنین می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مفید و مورد اطمینان برای تشخیص رقم‌های زراعی خاص استفاده گردد (Saiz and Rovira-Mas, 2020). به‌کارگیری نشانگرهای پروتئینی با استفاده از روش SDS-PAGE برای شناسایی گونه‌ها، واریته‌ها و ارقام زراعی برای مقایسه الگوهای پروتئینی ارقام مختلف گیاهی معتبر، قابل تکرار، سریع و ارزان است. حضور یا عدم حضور و سطح بیان نوارهای پروتئینی، شاخص مهمی برای شناسایی گیاهان است (Dvoracek *et al*., 2003; Fufa *et al*., 2005). تشخیص ژنتیکی ژرم پلاسم جو از طریق روش‌های مولکولی و بررسی ارتباط نشانگرهای مولکولی و صفات مورد ارزیابی بسیار مهم است و از نتایج به‌دست آمده می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی جو و گزینش به کمک نشانگر استفاده نمود. انجام برنامه‌های به‌نژادی در بین صفات اندازه‌گیری شده بدون استفاده از نشانگرها مستلزم صرف زمان زیادی است. بنابراین گزینش نشانگرهای مرتبط به صفات یک روش قدرتمند برای شناسایی ژنوتیپ‌های امیدبخش و نیز تشخیص والدین مناسب برای تولید جمعیت نقشه‌یابی و تولید ارقام هیبرید استفاده شود (Ruan *et al*., 2009).

هدف از این مطالعه بررسی واکنش ارقام جو ایرانی و اروپایی به تنش شوری در مرحله‌ی جوانه زنی و ارتباط صفات اندازه‌گیری

شده با نوارهای پروتئینی حاصل از بررسی پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر از طریق تجزیه رگرسیون گام به گام بود.

مواد و روش‌ها

ارقام مورد بررسی

در این تحقیق از ۴۴ رقم جو ایرانی و اروپایی به منظور بررسی صفات مرتبط با جوانه‌زنی و شناسایی ارقام مقاوم در شرایط تنش شوری در مرحله جوانه‌زنی و نیز بررسی ارتباط این صفات با پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر استفاده گردید. ارقام ایرانی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه و ارقام اروپایی از انستیتو ژنومیکس و پست ژنومیکس (CRA-GPG) در شهر فیورنزولا ایتالیا تهیه گردید. خصوصیات ارقام مورد بررسی در جدول ۱ آمده است. ارقام از شماره‌ی ۱ تا ۴۴ کدگذاری شدند.

جدول ۱. مشخصات ۴۴ رقم جو ایرانی و اروپایی مورد ارزیابی

کد رقم	نام رقم	منشأ	شجره	تیپ سنبله	تیپ دانه
۱	فجر۳۰	ایرانی	Lignee131/ Gerbet//Alger- Ceres/ jonoob	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۲	گرگان ۴	ایرانی	Herta	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۳	ارس	ایرانی	Arumir	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۴	ماکویی	ایرانی	Star	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۵	زرجو	ایرانی	1/28/9963	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۶	افضل	ایرانی	Chahafzal	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۷	جنوب	ایرانی	Gloria" s"/ Copal"s"	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۸	کارون	ایرانی	Strain- 205	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۹	دانمارک	ایرانی	Denmark55	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۱۰	صحرا	ایرانی	L. B. LRAN/ Una8271// Giorias"s" Com	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۱۱	ماهور	ایرانی	Wi2291/Wi2269//Er/Amp	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۱۲	یوسف	ایرانی	Lignee527/chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/DeirAlla 106//DI71/strain 205	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۱۳	نیمروز	ایرانی	Trompillo, CMB74A-432-25B-1Y-IB-IY-OB	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۱۴	ریحانی	ایرانی	Rihane-03/4Alanda/lLignee527/Arar/3/Centinela/2*	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۱۵	سرارود	ایرانی	Chicm/An57//Albert	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۱۶	نصرت	ایرانی	Karoon/Kavir	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۱۷	ASTARTIS	اروپایی	(IABO x Arda3) x Amillis	دو ردیفه	بدون پوشینه
۱۸	COMETA	اروپایی	PO202.169 x FO 3358	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۱۹	EXPLORA	اروپایی	[(Onice\Arma\\Onice\Mirco\\\Jaidor) x (Plaisant\Jaidor\Express)] x Gotic	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۲۰	RODORZ	اروپایی	Baraka x Gotic	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۱	MARTINO	اروپایی	FIOR 3007 x Federal	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۲۲	AQVIRONE	اروپایی	FIOR 5186 x Naturel	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۳	PONENTE	اروپایی	(Vetulio x Arma) x Express	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۲۴	ALCE	اروپایی	(Tipper x Igri3) x [(Tipper x Alpha)x(Sonja x Wb117/18)]	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۵	SIRIO	اروپایی	FIOR 2136 x Arco	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۶	PANAKA	اروپایی	Amillis x Diadem	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۷	PARIGLIA	اروپایی	Airone x Arco	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۸	SFERA	اروپایی	((Katy x HJ54/30) x Igri x Arda) x (Tipper x Sonja)) x Amillis	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۲۹	ALIMINI	اروپایی	FIOR 2551 x Federal	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۳۰	ALDEBARAN	اروپایی	Rebelle x Jaidor	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۳۱	VEGA	اروپایی	Rebelle x FIOR 1341	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۳۲	ALISEO	اروپایی	(Plaisant x Gerbel) x Express	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۳۳	NURE	اروپایی	(FIOR 40 x Alpha2) x Baraka	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۳۴	AIRONE	اروپایی	Gitane x FIOR 763	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۳۵	AIACE	اروپایی	FO 1078 x FO 1638	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۳۶	SCIROCCO	اروپایی	FIOR 1000 x Express	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۳۷	TREBBIA	اروپایی	selection from FiorSynt 3	شش ردیفه	پوشینه‌دار
۳۸	ALFEO	اروپایی	Tipper x Igri	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۳۹	ZACINTO	اروپایی	IABO 329 x Arda	دو ردیفه	بدون پوشینه
۴۰	ARDA	اروپایی	Igri x HJ 51-15-3	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۴۱	انصار	ایرانی	نامشخص	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۴۲	نادر	ایرانی	نامشخص	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۴۳	محلی	ایرانی	نامشخص	دو ردیفه	پوشینه‌دار
۴۴	سرارود ۱	ایرانی	نامشخص	دو ردیفه	پوشینه‌دار

آزمون جوانه‌زنی

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری بر جوانه‌زنی ارقام جو مورد بررسی و شناسایی صفات مرتبط با جوانه‌زنی در تحمل به شوری، آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در لتاقک پرورش قارچ با شرایط دما و نور قابل کنترل و شرایط استریل واقع در مرکز خدمات کشاورزی نوسود اجرا شد. عامل اول شامل سه سطح شوری (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی مولار نمک کلریدسدیم) و یک سطح شاهد (آب مقطر) و عامل دوم شامل ۴۴ رقم جو ایرانی و اروپایی بود. از هر رقم جو برای هر واحد آزمایشی ۲۰ عدد بذر سالم جدا و طبق مراحل زیر ضد عفونی گردید:

ابتدا بذور با آب مقطر شسته شدند، سپس با الکل ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه و هیپوکلریت-سدیم سه درصد به مدت سه دقیقه ضد عفونی گردیدند. به دنبال آن سه مرتبه شستشو با آب مقطر به مدت یک دقیقه، سه دقیقه و پنج دقیقه انجام شد. سپس به قارچ‌کش مانکوزب دو در هزار آغشته شدند و کشت در پتری دیش‌های ضد عفونی شده توسط اتوکلاو، در شرایط استریل انجام شد. معیار بذور جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر در نظر گرفته شد (Willenborg *et al*., 2005). شمارش بذرهای جوانه زده به صورت روزانه در ساعت معینی از روز دوم آغاز و هر ۴۸ ساعت یکبار و به مدت ۱۰ روز انجام شد.

صفات مورد اندازه‌گیری در بررسی جوانه‌زنی تحت شرایط شوری

صفات مورد مطالعه شامل طول کل گیاه، طول ساقه‌چه، طول ریشه چه، طول کلوپتیل، تعداد ریشه چه(همگی برحسب میلی‌متر) در ۱۰ نمونه تصادفی انتخاب شده، اندازه‌گیری شد.

هم‌چنین شاخص‌های مرتبط با جوانه‌زنی به‌شرح ذیل محاسبه گردیدند:

درصد جوانه‌زنی (GP)

$GP = Ni/S \times 100$

Ni: تعداد بذرهای جوانه زده تا روز دهم در هر پتری‌دیش

S: کل بذرهای کشت شده در هر پتری‌دیش (Bajji *et al*., 2002).

میانگین سرعت جوانه‌زنی(AVG)

$AVG = \Sigma Nt / \Sigma t$ (روز/ تعداد)

ΣNt: کل بذور جوانه زده در زمان T، Σt: مجموع زمان (روز) (Bajji *et al*., 2002).

ضریب سرعت جوانه‌زنی (CVG)

این پارامتر نشان‌دهنده سرعت و شتاب جوانه زنی بذور است و جهت محاسبه آن از معادله ذیل(باجی و همکاران،۲۰۰۲) استفاده گردید (t بر حسب روز):

$$C.V.G = \frac{N1+N2+\cdots+Nx}{N1T1+\cdots+NxTx} \times 100$$

که در این فرمول N1 تا NX تعداد بذرهای جوانه‌زده از روز اول تا آخرین روز آزمایش است.

شاخص سرعت جوانه‌زنی (PI)

$PI = nd_2(1.0) + nd_4(0.8) + nd_6(0.6) + nd_8(0.4) + nd_{10}(0.2)$

در این فرمول nd_2، nd_4، nd_6، nd_8 و nd_{10} بذور جوانه زده در روزهای دوم، چهارم، ششم، هشتم و دهم می‌باشد (Bouslama and Schapaugh.,1984).

شاخص بنیه بذر (SV)

$SV = (PL + RL) \times GP$

SV: بنیه بذر، RL: طول ریشه چه، PL: طول ساقه چه، GP: درصد جوانه‌زنی (باجی و همکاران، ۲۰۰۲).

میانگین زمان جوانه‌زنی (MGT)

$MGT = \frac{\Sigma(ND)}{\Sigma N}$

N: تعداد بذور جوانه زده در طول D روز، D: تعداد روزها از شروع زمان آزمایش جوانه زنیΣN: تعداد کل بذور جوانه زده (Ellis and Roberts., 1981).

استخراج پروتئین

برای استخراج پروتئین، ابتدا بذرهای سالم توسط آسیاب کاملاً خرد شد. سپس مقدار دو میلی‌لیتر بافر استخراج به هر نمونه اضافه و به‌خوبی مخلوط شد و محلول حاصل به میکروتیوپ دو میلی‌لیتری منتقل شد. نمونه‌ها با کمک همزن مخلوط و سپس در دمای چهار درجه‌ی سانتیگراد به مدت ده دقیقه و با سرعت ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. قسمت بالایی به تیوپ جدید منتقل شد و عمل سانتریفیوژ چندین مرتبه تکرار شد (Kakaei and Kahrizi, 2011). سپس پروتئین استخراج شده تا زمان استفاده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. آزمایش در آزمایشگاه بیوتکنولوژی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی انجام شد.

بررسی پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر توسط SDS- PAGE

برای انجام الکتروفورز تک بعدی (SDS- PAGE) از کیت و بافرهای آماده (SDS- PAGE) خریداری شده از شرکت کالازیست (شماره کاتالوگ:DSK100) استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده

پس از بررسی وجود توزیع نرمال در داده‌های اندازه‌گیری شده صفات مرتبط با جوانه‌زنی از طریق آزمون کلموگروف–اسمیرنوف توسط نرم‌افزار SPSS IBM23، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام گردید. ضرایب همبستگی به‌روش پیرسون برآورد شد. الگوهای نواری حاصل به‌صورت وجود یا عدم وجود باند به ترتیب با اعداد یک و صفر امتیازدهی شدند. رگرسیون گام به گام (Stepwise) جهت بررسی ارتباط بین نوارهای نشانگر پروتئینی و صفات مرتبط با جوانه‌زنی به‌کمک نرم‌افزار SPSS IBM23 انجام شد. نشانگرها به‌عنوان متغیر مستقل و هر کدام از صفات به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مرتبط با جوانه زنی نشان داد که اثر شوری در مورد همه صفات معنی‌دار شد (جدول ۲). همچنین اثر رقم در همه صفات مورد مطالعه معنی‌دار گردید که بیانگر وجود تنوع زیاد بین ارقام مورد مطالعه بود. اثر متقابل شوری× رقم نیز در همه صفات معنی دار شد که نشان می‌دهد ارقام در شرایط سطوح مختلف شوری بصورت متفاوت عمل می‌کنند.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مرتبط با جوانه‌زنی در ارقام مختلف جو زراعی در سطوح مختلف تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		طول کل گیاهچه	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	طول کولئوپتیل	تعداد ریشه
رقم	۳	۴۸۰۳۲۰/۱**	۱۵۹۰۵۳/۵**	۸۳۹۳۳/۱۷**	۷۲۱۷/۴۸**	۳/۹۷**
شوری	۴۳	۵۰۴۳**	۲۴۰۵/۸۲**	۱۰۲۳/۷۲**	۳۴۲/۸۹**	۱/۷۳**
رقم × شوری	۱۲۹	۳۳۳۰/۸۱**	۱۳۸۵/۱۳**	۷۴۹/۷۱**	۱۴۰/۲**	۰/۳۷**
خطای آزمایش	۳۵۲	۲/۶۸	۲۳/۸۷	۷/۳۷	۳/۷۵	۰/۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۱/۲۹	۶/۶۴	۵/۲۸	۵/۴۶	۳/۱

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

نتیجه مقایسات میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) برای صفات اندازه‌گیری شده به شرح ذیل می‌باشد و با توجه به طولانی بودن جداول، اطلاعات جدول نمایش داده نشده است.

طول کل گیاهچه

با افزایش سطح شوری از ۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، طول کل گیاهچه کاهش یافت. میزان کاهش طول کل در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۹/۷۱، ۵۱/۳۶، ۶۷/۲۱ درصد بود. در صورت وقوع تنش شوری و خشکی جوانه‌زنی و متعاقب با آن رشد گیاهچه به شدت کاهش می‌یابد (Ashraf and Rauf, 2001). کاهش جوانه زنی و رشد گیاهچه در شرایط شوری ممکن است به خاطر پتانسیل اسمزی پایین و ممانعت از جذب آب، سمیت یون‌های Na یا Cl و یا عدم تعادل عناصر غذایی باشد (Bakhshayeshi Qashlaq *et al*., 2013). افت رشد گیاهچه تحت تأثیر تنش شوری می‌تواند ناشی از افت تحرک نشاسته باشد که بر اثر کاسته شدن از فعالیت آمیلاز و محتوای زیاد نشاسته موجود در لپه‌ها یا آندوسپرم گیاهان متأثر از تنش می‌باشد. کاهش فعالیت آمیلاز در بذرهای گیاهان در شرایط تنش باعث می‌شود تشکیل گلوکز از نشاسته کاسته شود که نتیجه آن کاهش ساخته‌شدن ساکارز بوده و نهایتاً منجر به محدود شدن محور جنین‌زا و محدودیت رشد گیاهچه تحت تنش می‌شود (Mehrabi Oladi *et al*., 2018).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری نشان داد، بیشترین و کمترین طول کل گیاهچه به ترتیب مربوط به رقم ۱۴ (ریحان) تحت شرایط بدون تنش و رقم ۱۳ (نیمروز) تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری بود (اطلاعات نشان داده نشده است).

طول ساقه‌چه

با افزایش سطح شوری از ۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، طول ساقه شروع به کاهش نمود. میزان کاهش طول ساقه در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به سطح شاهد (آب مقطر) به ترتیب ۱۲/۸۲، ۵۰/۲۳، ۶۷/۹۹ درصد بود. شوری بر جنبه‌های مختلف رشد اثر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Munns, 2002). از دلایل اصلی کاهش طول ساقه‌چه در هنگام مواجهه با تنش، کاسته شدن یا جلوگیری از انتقال موادغذایی از لپه‌ها به جنین است. همچنین، کاهش جذب آب از طریق بذر در شرایط تنش باعث کم‌شدن ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها و نهایتاً اختلال در رشد گیاهچه (ساقه‌چه و ریشه‌چه) می‌شود (Jahanbakhsh *et al*., 2019).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و رقم نشان داد بیشترین طول ساقه‌چه مربوط به رقم ۱۴ (ریحان) با طول ساقه ۲۱۱/۳۳ میلی‌متر تحت شرایط بدون تنش و کمترین طول ساقه‌چه مربوط به رقم ۱۳ (نیمروز) طول ساقه ۱۰/۵۴ میلی‌متر در شوری ۳۰۰ میلی‌مولار بود.

طول ریشه‌چه

افزایش سطح شوری از ۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار منجربه کاهش طول ریشه‌چه گردید. میزان کاهش طول ریشه‌چه در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۳/۳۲، ۵۱/۰۷، ۶۷/۷۲ درصد بود. تنش شوری مانع رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه شده و در غلظت کم شوری با کاهش رشد و عملکرد و در غلظت های بالا با قرار گرفتن در معرض شوری برای مدت طولانی منجر به مرگ گیاه می‌شود (Munns *et al*., 2006). تحقیقات نشان داده که بیشترین تأثیر تنش شوری برریشه گیاه جو در مراحل رویشی بوده و در مراحل اولیه رشد گیاه شوری کاهش شدیدی در رشد و نفوذ ریشه در خاک داشت .همچنین، رشد اندام هوایی در مراحل مختلف و عملکرد جو وابسته به واکنش ریشه در خاک بود (Khazaei *et al*., 2016).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری نشان داد بیشترین طول ریشه مربوط به رقم ۱۴ (ریحان) با طول ریشه‌چه ۱۴۴/۲۲ میلی‌متر تحت شرایط بدون تنش بود. همچنین کمترین طول ریشه‌چه مربوط به رقم ۱۳ (نیمروز) با طول ریشه ۱۱/۱۳ میلیمتر تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری بود.

طول کولئوپتیل

با افزایش سطح شوری از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، طول کولئوپتیل بطور نیز کاهش یافت. میزان تغییر طول کولئوپتیل در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۲۰/۷۵ درصد افزایش، ۸/۱۳ افزایش و ۲۸/۴۴ درصد کاهش بود. در آزمایشی برروی بررسی میزان جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف جو در غلظت‌های مختلف شوری، نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری بر تعداد ریشه‌چه، طول ریشه‌چه، طول کلئوپتبل و طول اندام هوایی بسیار معنی‌دار بود (Chekani *et al*., 2012).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و شوری نشان داد ، بیشترین طول کولئوپتیل مربوط به ارقام ۱ (فجر ۳۰) با طول کولئوپتیل ۶۰/۰۵ میلی‌متر تحت شرایط بدون تنش بود و کمترین طول کولئوپتیل مربوط به رقم ۱۳ (نیمروز) با طول کولئوپتیل ۸/۵۷ میلی‌متر بود.

تعداد ریشه‌چه

با افزایش سطح شوری از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، تعداد ریشه‌چه کاهش نشان داد. میزان تغییر تعداد ریشه‌چه در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به سطح شاهد به ترتیب ۱/۹۷ درصد افزایش، ۱/۰۴ درصد کاهش و ۶/۲۵ درصد کاهش بود. همانطور که گزینش و به‌نژادی برای ویژگی‌های مربوط به اندام هوایی باعث افزایش عملکرد شده است، انجام این اقدامات در مورد ریشه نیز می‌تولند سبب افزایش عملکرد شود و در شرایط بحرانی تنش، موفقیت تولید را تضمین نماید (Ganj Ali *et al*., 2006). گزارش شده که ریشه‌ها در مواجهه با تنش‌های مختلف محیطی، از جمله تنش‌های خشکی و شوری، نقش مهمی در بقاء و عملکرد گیاهان زراعی ایفا می‌کنند (Kafi *et al*., 2017).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و رقم نشان داد بیشترین تعداد ریشه به ترتیب مربوط به ارقام ۱۴ (ریحان) تحت شرایط بدون تنش با تعداد ریشه ۶/۳۶ بود. کمترین تعداد ریشه در رقم ۱۳ (نیمروز) با تعداد ریشه ۳/۷۷ مشاهده شد.

تجزیه واریانس شاخص‌های مرتبط با صفات جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس صفات مربوط به جوانه‌زنی نشان داد که اثر شوری در همه شاخص‌ها به جز میانگین زمان جوانه‌زنی معنی‌دار شد. همچنین اثر رقم در مورد تمامی شاخص‌های مورد مطالعه معنی‌دار شد. اثر متقابل شوری × رقم نیز برای تمامی شاخص‌ها

معنی دار شـد(جدول ۳). تفاوت در شـاخص‌های جوانه‌زنی تحت تنش شـوری در ارقام مختلف را می‌توان ناشـی از تفاوت در سـازوکارهای ژنتیکی درگیر با تحمل گیاه به شـوری در ارقام مختلف آن دانست (Mehrabi Oladi *et al*., 2018).

جدول ۳. تجزیه واریانس صفات جوانه‌زنی در ارقام مختلف جو زراعی در سطوح مختلف تنش شوری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		درصد جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	میانگین زمان جوانه‌زنی	میانگین سرعت جوانه‌زنی	ضریب سرعت جوانه‌زنی	شاخص سرعت جوانه‌زنی
شوری	۳	۲۱۴۰۴/۱۷**	۰۹E+۳/۷**	۰/۸۹ns	۱۰۴/۰۷**	۰/۰۱۱*	۵۸۰/۸۳**
رقم	۴۳	۱۱۹۳/۶**	۵۶۹۲۹۰۹۱**	۱/۶۵**	۸/۲**	۰/۰۱**	۴۱/۴۵**
رقم × شوری	۱۲۹	۳۷۷/۸۷**	۳۱۴۸۷۴۱۴**	۱/۳۸**	۳/۳۳**	۰/۰۰۸**	۱۴/۸۲**
خطای آزمایش	۳۵۲	۱۵۱/۷۵	۲۵۷۵۲۳۶	۰/۷۸	۱/۳	۰/۰۰۴	۵/۸
ضریب تغییرات (٪)		۱۹/۷۱	۱۸/۹	۲۳/۸۹	۲۵/۵۵	۲۲/۳۶	۲۳/۰۷

*، ** و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و غیرمعنی‌دار.

درصد جوانه‌زنی

تحمل به شوری در طی این مرحله برای استقرار گیاهان مهم می باشد، زیرا که جوانه‌زنی ضعیف و کاهش رشد گیاهچه منجر به استقرار ضعیف و گاهی نابودی محصول می شود (Soltani *et al*., 2005). میزان تغییر درصـد جوانـه‌زنی در سـطوح ۱۰۰ میلی‌مولار نسـبت به شـاهد تغییر قبل ملاحظه‌ای نشـان نداد، اما درصد جوانه‌زنی در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شـاهد به ترتیب ۱۹/۸۳ درصـد و ۳۴/۸۶ درصـد کاهش نشـان داد. بیشترین حساسیت گیاه به شوری به‌هنگام جوانه‌زدن و ابتدای رشـد گیاهچه مشـاهده می‌شـود (Chekani *et al*., 2012). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل شوری و رقم نشان داد، بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به رقم ۳۶ (SCIROCCO) با درصـد جوانه‌زنی ۹۵ تحت شـرایط بدون تنش بود. همچنین کمترین درصـد جوانه‌زنی متعلق به رقم ۹ (جو دانمارک) با درصد جوانه‌زنی ۱۱/۶۷ تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری بود.

شاخص بنیه بذر

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری از ۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، شـاخص بنیه بذر کاهش یافت و میزان تغییر شـاخص بنیه بذر در سـطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شـوری نسـبت به شـاهد به ترتیب ۵/۸۸، ۶۱/۰۳ و ۷۹/۱۸ درصـد کاهش بود. عـالی‌پور و همکـاران (۲۰۲۲) در مطالعـه خود بروی تـأثیر تنش شـوری بر جوانه‌زنی جو تحت تنش شـوری، بیان کردند که شـاخص بنیه بذر با افزایش سـطوح شـوری کاهش معنی‌دار نشـان داد. شـاخص بنیه بذر تحت تأثیر دو صفت درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه قرار دارد و با درنظر گرفتن روند کاهشـی این دو صـفت بر اثر افزایش شـوری، کاهش این صـفت کاملاً مورد انتظار می‌باشـد. گادفری و همکاران (Godfery *et al*., 2007) رسوب نمک در ریشـه عامل اصلی خشکی فیزیولوژیکی و کاهش در تقسیم سلولی و در نتیجه کاهش رشـد ریشـه و بنیه بذر معرفی نموده‌اند (نقل از Alipour *et al*., 2022).

نتایج مقایسـه میانگین اثر متقابل رقم و شـوری نشـان داد ، بیشترین شاخص بنیه بذر مربوط به رقم ۱۴ (ریحان) تحت شرایط بدون تنش با شـاخص بنیه بذر ۲۹۶۴۳/۱۳ بود. همچنین تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری، کمترین شاخص بنیه بذر در رقم ۹ (جو دانمارک) با شاخص بنیه بذر ۴۷۱/۴۵ مشاهده شد.

میانگین زمان جوانه‌زنی

جوانه زنی و سبز شدن یکی از مهمترین مراحل رشد گیاه زراعی است، لذا جوانه زنی مناسب در محدوده وسیعی از شرایط محیطی برای استقرارگیاهچه ضروری است (Brar *et al*., 1991). نتایج مقایسـه میانگین اثر متقابل سـطوح شـوری و رقم نشـان داد تحت شرایط بدون تنش، بیشترین و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی به ترتیـب مربوط بـه ارقـام ۳۹ (ZACINTO) و ۱۵ (سـرارود) بـا میـانگین زمـان جوانـه‌زنی ۵/۸۲ و ۲/۶۱ روز بود. همچنین تحت شرایط ۱۰۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین و کمترین میانگین زمان جولنه‌زنی به ترتیب مربوط به ارقام ۴۰ (ARDA) و ۸ (کارون) با میـانگین زمـان جوانـه‌زنی ۵/۱۲ و ۲/۵۸ روز بود. نتایج همچنین نشـان داد که تحت شـرایط ۲۰۰ میلی‌مولار شـوری، بیشـترین و کمترین میانگین زمـان جوانـه‌زنی به ترتیب مربوط بـه ارقام ۱۷

(ASTARTIS) و ۱۰ (صحرا) با میانگین زمان جوانه‌زنی ۵/۷۴ و ۲/۸۶ روز بود. همچنین تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین و کمترین میانگین زمان جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به ارقام ۴۱ (انصار) و ۲۰ (RODORZ) با میانگین زمان جوانه‌زنی ۵/۰۸ و ۲/۰۷ روز بود.

میانگین سرعت جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. میزان تغییر میانگین سرعت جوانه‌زنی در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۲۲/۷۱ درصد و ۳۳/۲۸ درصد کاهش بود.کاهش درصد، سرعت جوانه‌زنی و طول ریشه چه و ساقه‌چه در پتانسیل های حاصل از شوری و خشکی در آزمایشات متعددی گزارش شده است (Jahanbakhsh *et al*., 2019).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد، بیشترین سرعت جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به رقم ۸ (کارون) با سرعت جوانه‌زنی ۸/۲ تحت شرایط ۱۰۰ میلی‌مولار شوری بود. نتایج همچنین نشان داد که کمترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به رقم ۹ (جودانمارک) با سرعت جوانه‌زنی ۰/۶۵ تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری بود.

ضریب سرعت جوانه‌زنی

نتایج حاکی از این بود که با افزایش سطح شوری از ۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، ضریب سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. میزان تغییر ضریب سرعت جوانه‌زنی در سطوح ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۲/۳۲ درصد کاهش و ۴/۶۶ درصد افزایش بود. علت کاهش سرعت و درصد جوانه‌زنی را می‌توان به‌حضور بیش از حد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محیط کشت نسبت داد، طوری که ظرفیت واکنش آن‌ها در اشغال بون‌های موجود در محیط قرار می‌گیرد و بنابراین گیاه قادر به جذب آب نیست و به نوعی با کمبود آب مواجه می شود (Jamil *et al*., 2006).

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد بیشترین ضریب سرعت جوانه‌زنی مربوط به رقم ۱۵ (سرارود) با ضریب سرعت جوانه‌زنی ۰/۳۹ تحت شرایط بدون تنش همچنین تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری، بیشترین و کمترین ضریب سرعت جوانه‌زنی به ترتیب مربوط به ارقام ۲۰ (RODORZ) و ۴۱ (انصار) با ضریب سرعت جوانه‌زنی ۰/۴۸ و ۰/۲ بود.

شاخص سرعت جوانه‌زنی

نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری از ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌مولار، شاخص سرعت جوانه‌زنی روند کاهشی نشان داد. میزان تغییر شاخص سرعت جوانه‌زنی در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار شوری نسبت به شاهد به ترتیب ۲۱ درصد و ۳۴/۷ درصد کاهش بود. سطح ۱۰۰ میلی‌مولار شوری با شاهد تفاوت چندانی از لحاظ این صفت نشان نداد.

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح شوری و رقم نشان داد، بیشترین شاخص سرعت جوانه‌زنی مربوط به رقم ۳۶ (SCIROCCO) با شاخص سرعت جوانه‌زنی ۱۷/۷۳ تحت شرایط بدون تنش بود. کمترین شاخص سرعت جوانه‌زنی مربوط به رقم ۹ (جودانمارک) با شاخص سرعت جوانه‌زنی ۱/۷۳ تحت شرایط ۳۰۰ میلی‌مولار شوری بود.

تجزیه همبستگی صفات اندازه‌گیری شده

به منظور بررسی رابطه بین صفات لندازه‌گیری شده از تجزیه همبستگی به روش پیرسون استفاده شد (جدول ۴). نتایج نشان که صفت طول کل گیاهچه با صفات طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، طول کولئوپتیل، درصد جوانه زنی، شاخص بنیه بذر، میانگین زمان جوانه زنی و میانگین سرعت جوانه زنی رابطه مثبت و معنی‌دار داشت.

همچنین صفت طول ساقه‌چه با صفات طول کل گیاهچه، طول ریشه‌چه، طول کولئوپتیل، درصد جوانه زنی، شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه زنی و شاخص سرعت جوانه زنی رابطه مثبت و معنی‌دار نشان داد. می‌توان این گونه توضیح داد که در شرایط تنش شوری، به دنبال افزایش سرعت جوانه زنی، ضمن رشد بیشتر طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، بنیه بذرها نیز افزایش خواهد یافت که تأثیر به سزایی در استقرار و رشد اولیه گیاهچه تحت شرایط تنش شوری خواهد داشت (Mostafavi *et al*., 2012). صفت طول ریشه‌چه با صفات طول کل، طول ساقه، طول کولئوپتیل و شاخص بنیه بذر، رابطه مثبت و معنی‌دار داشت. طول ریشه‌چه می‌تواند یک شاخص مهم جهت پیش‌بینی ظهور گیاهچه در مزرعه و تفاوت بین توده‌های بذر باشد. همچنین طول ریشه‌چه به عنوان شاخص اولیه رشد و نمو و بنیه بذر محسوب می‌شود و تغییرات آن به‌عنوان شاخصی از بنیه گیاهچه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (Bagheri *et al*., 2016). طول کولئوپتیل با صفات طول کل گیاهچه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، درصد جوانه زنی، شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت

جوانه‌زنی رابطه مثبت و معنی‌دار و با صفت میانگین زمان جوانه‌زنی رابطه منفی و معنی‌دار نشان داد. اهمیت طول کلئوپتیل در سبز شدن سریع، استقرار زودتر و قوی شدن بوته‌ها که باعث حفاظت گیاه از صدمات محیطی مثل سرما و خشکی می‌شود گزارش شده است (Reynolds *et al*., 2006). درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری با طول کل گیاهچه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی داشت.

صفت ضریب سرعت جوانه‌زنی با صفات میانگین زمان جوانه‌زنی رابطه منفی و معنی‌دار داشت. این گونه استنباط می‌شود که به دنبال افزایش میانگین مدت جوانه‌زنی، ضمن کاهش سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی نهایی بذرها نیز افزایش خواهد یافت که این امری بدیهی به نظر می‌رسد (Mostafavi *et al*., 2012).

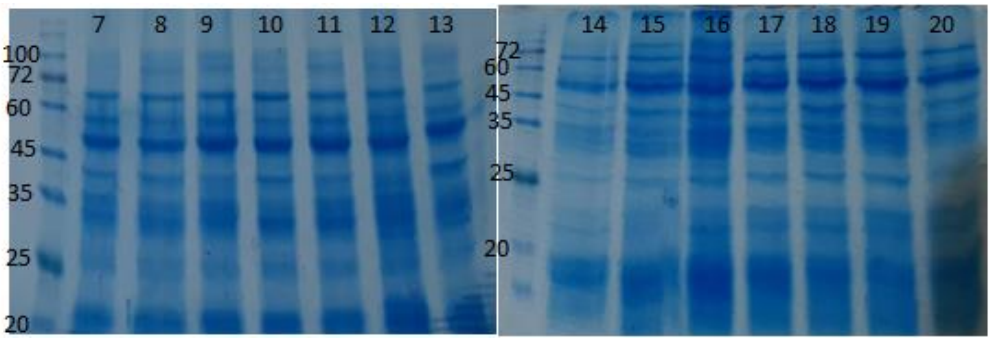
مطالعات مولکولی

به‌منظور بررسی تنوع ژنتیکی ارقام جو ایرانی و اروپایی براساس پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر، از روش SDS-PAGE استفاده گردید(شکل ۱). نتایج نشان داد به طور میانگین برای هر رقم جو ۲۴ نوار قابل امتیاز دیده شد. حداکثر تعداد باند مشاهده‌شده ۲۸ باند و مربوط به رقم ALCE وکمترین تعداد باند ۲۰ باند در رقم TREBBIA بود. اندازه باندها در دامنه‌ای بین ۹ تا ۱۵۵ کیلو دالتون قرار داشتند. در پژوهش سفالیان و همکاران (۱۳۹۳) برای ۱۷ لاین مورد مطالعه جو، ۱۱ نوار پروتئینی گزارش کردند که لاین‌های ۲ و ۱۷ بیشترین (۱۰ نوار) و لاین شماره ۶ و ۱۶ کمترین (یک نوار) تعداد نوار را داشتند. اگرچه باندهای پروتئینی مشترک نیز در داخل لاین‌ها وجود داشت، اما باندهای اختصاصی نیز مشاهده شد. باندهای پروتئینی نه تنها از نظر محل قرار گرفتن روی ژل و وزن مولکولی، بلکه از لحاظ تراکم و شدت نیز با یکدیگر اختلاف نشان دادند.

جدول ٤. ماتریس همبستگی پیرسون صفات مرتبط با جوانه‌زنی در ۴۴ رقم جو زراعی

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱- طول کل گیاهچه	۱										
۲- طول ساقه‌چه	۰/۹۴**	۱									
۳- طول ریشه‌چه	۰/۸۴**	۰/۶۵**	۱								
۴- طول کولئوپتیل	۰/۵۹**	۰/۵۳**	۰/۵۸**	۱							
۵- تعداد ریشه‌چه	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۱۴	۱						
۶- درصد جوانه‌زنی	۰/۳۷*	۰/۳۵*	۰/۲۹	۰/۵۰**	۰/۰۷	۱					
۷- شاخص بنیه بذر	۰/۸۸**	۰/۸۵**	۰/۷۳**	۰/۶۴**	۰/۱۲	۰/۷۳**	۱				
۸- میانگین زمان جوانه‌زنی	-۰/۱۱	-۰/۱۲	-۰/۱۸	-۰/۳۱*	-۰/۰۶	-۰/۲۷	-۰/۲۵	۱			
۹- میانگین سرعت جوانه‌زنی	۰/۳۲*	۰/۳۱*	۰/۲۷	۰/۵۳**	۰/۱۲	۰/۹۱**	۰/۶۷**	-۰/۵۹**	۱		
۱۰- ضریب سرعت جوانه‌زنی	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۱	-۰/۹۴**	۰/۴۳**	۱	
۱۱- شاخص سرعت جوانه‌زنی	۰/۳۵*	۰/۳۴*	۰/۲۹	۰/۵۳**	۰/۰۸	۰/۹۶**	۰/۷۲**	-۰/۴۹**	۰/۹۸**	۰/۳۰*	۱

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.



شکل ۱. تنوع ارقام جو ایرانی و اروپایی بر اساس پروتئین‌های ذخیره‌ای بذر با روش SDS-PAGE

تجزیه رگرسیون گام به گام

به‌منظور تعیین ارتباط بین داده‌های حاصل از نشانگر پروتئینی با صفات مورد ارزیابی از روش رگرسیون مرحله‌ای گام به گام استفاده شد (جدول ۵)، صفات مورد بررسی به‌عنوان متغیر وابسته و نوارهای مشاهده شده در SDS-PAGE به‌عنوان متغیرهای مستقل درنظر گرفته شد. در مجموع ۱۳ نوار مرتبط با صفات مختلف شناسایی گردید. برای صفات درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه‌زنی و طول ساقه‌چه، دو نوار دارای ارتباط معنی‌دار و برای سایر صفات یک نوار مرتبط مشاهده شد. بیشترین ارتباط معنی‌دار با صفات مربوط به نشانگر ۶۰ کیلودالتون بود که با چهار شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول کلئوپتیل مرتبط بود. صفات طول ساقه‌چه، طول کولئوپتیل، شاخص بنیه بذر و میانگین سرعت جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز داشتند (جدول ۴). نشانگر ۱۳۰ کیلودالتونی با صفات درصد جوانه‌زنی، میانگین سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی دارای ارتباط معنی‌دار بود. درصد جوانه‌زنی همبستگی مثبت و معنی‌داری با میانگین سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی داشت (جدول ۴).

نشانگر ۱۴۵ کیلودالتونی نیز با شاخص بنیه بذر، طول گیاهچه و طول ساقه‌چه ارتباط داشت؛ هر سه صفت دارای همبستگی معنی‌داری بودند (جدول ۴). بیشترین درصد ضریب تبیین مربوط به نشانگرهای ۶۰ و ۱۴۵ کیلودالتونی بود که در مجموع ۲۷ درصد تغییرات شاخص بنیه بذر را توجیه نمودند. با توجه به مقدار ضریب رگرسیون، اکثر نشانگرها با صفات مورد بررسی دارای رابط منفی بودند. تنها ارتباط تعداد ریشه‌چه با نشانگر ۲۶ کیلودالتونی مثبت بود.

جدول ۵. جدول تجزیه رگرسیون گام به گام برای بررسی ارتباط صفات ارزیابی شده با نشانگرهای پروتئینی در ارقام جو

نام صفت	نام نشانگر (کیلو دالتون)	ضریب رگرسیون	آماره T	سطح معنی‌داری	R Square Change	R^2	R^2 adjusted
درصد جوانه‌زنی	۱۳۰	-۹/۱۳	-۳/۱۸	**	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۹
	۷۵	-۷/۶۳	-۲/۰۲	**	۰/۰۷		
شاخص بنیه بذر	۶۰	-۲۷۳۹/۸۲	-۲/۷۳	*	۰/۱۵		
	۱۴۵	-۲۵۷۷	-۲/۵۸	*	۰/۱۱	۰/۲۷	۰/۲۳
میانگین سرعت جوانه‌زنی	۱۳۰	-۰/۶۸	-۲/۵۹	*	۰/۱۴		
	۶۰	-۰/۸۱	-۲/۰۸	*	۰/۰۸	۰/۲۲	۰/۱۸
شاخص سرعت جوانه‌زنی	۱۳۰	-۱/۴۶	-۲/۷۴	*	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳
طول کل گیاهچه	۱۴۵	-۳۴/۵۴	-۲/۴۵	*	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۰
طول ساقه‌چه	۶۰	-۱۷/۰۰	-۲/۵۸	*	۰/۱۳		
	۱۴۵	-۲۲/۸۴	-۲/۵۱	*	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۲۱
طول ریشه‌چه	۴۵	-۷/۲۰	-۲/۴۹	*	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۰
طول کلئوپتیل	۶۰	-۶/۶۷	-۲/۵۲	*	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۱
تعداد ریشه‌چه	۲۶	۰/۲۶	۲/۳۸	*	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۹

نتیجه‌گیری

اختلاف معنی‌دار بین ارقام در آزمایشات جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش شوری، بیانگر وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در بین ارقام مورد مطالعه بود. افزایش سطوح تنش شوری باعث کاهش در صفات و شاخص‌های مورد مطالعه شد. حساس‌ترین صفات به تنش شوری، به‌ترتیب طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و طول گیاهچه و حساس‌ترین شاخص، بنیه بذر بود که در حدود ۸۰ درصد تحت تأثیر شوری کاهش یافتند. از صفات طول کل گیاهچه، طول ساقه‌چه، شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جوانه‌زنی و شاخص سرعت جوانه‌زنی که همبستگی مثبت و معنی‌داری درصد جوانه‌زنی داشتند می‌توان به‌عنوان شاخص انتخاب غیرمستقیم برای جوانه‌زنی بهتر در شرایط تنش شوری استفاده نمود.

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام صفات مختلف با نشانگرهای پروتئینی نشان داد بیشترین ارتباط معنی‌دار با صفات مربوط به نشانگر ۶۰ کیلودالتون بود که با چهار شاخص بنیه بذر، میانگین سرعت جولنه‌زنی، طول ساقه‌چه و طول کلئوپتیل مرتبط بود.

Referecnes

Ahakpaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, Ali., Mohammadi, Behrouz., Nader Mahmoudi, K., Abedi-Asl, Gh., Jazayeri Noshabadi, M, Reza., Ahakpaz, F., & Alipour, H. (2021). Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agricultural Water Management*, 245, 106665.

Al-Huqail, A. A. & Abdelhaliem, E. (2015). Evaluation of genetic variations in maize seedlings exposed to electric field based on protein and DNA markers. *Biomedical Research International*, 2015, 1-15.

Alipour, S., Soltani, E., Alahdadi, I., Ghorbani Javid, M., & Akbari, Gh. (2022). Effect of planting date and salinity on biological stability of Salicornia iranica against fine dust stress. *Journal of Crop Production*, 15(1), 187-204. (*in Persian*).

Ashraf, M. (2010). Inducing drought tolerance in plants: recent advances. *Biotechnology advances*, 28(1), 169-183.

Ashraf, Muhammad & Rauf, Humera. (2001). Inducing salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) through seed priming with chloride salts: Growth and ion transport at early growth stages. *Acta Physiologiae Plantarum*, 23, 407-414.

Bagheri, A, R., & Heydari Sharif Abad, H. (2016). Investigating the effect of drought stress on yield and yield components and ion content in bare barley (*Hordeum sativum* L.). *Ecology of agricultural plants*, 3(7-2), 1-15.

Bajji, M., Kinet, JM.., & Lutts, S. (2002). Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany*, 80(3), 297-304.

Bakhshayeshi Qashlaq, M., Kazemi Arbat, H., Sadeghzadeh Ahri, D., & Bakhshayeshi Qashlaq, H. (2013). Physiological effects of salt stress (sodium chloride) on germination and seedling growth of bread wheat genotypes. *Agricultural applied research* (research and development), 27(105), 119-126.

Bouslama, M., & Schapaugh, W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. I: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933- 937.

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.

Chekani, U, al-Binin, Ajam Nowrozi, H., & Faghani, E. (2012). Evaluation of salinity tolerance of different genotypes of barley at the germination stage. *Seed Research* (Seed Science and Technology), 3(3), 69-75.

Cherki, Gh., Foursy, Ahmed., & Fares, Kh. (2002). Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47(1), 39-50.

Dvoracek, V., Curn, V. & Moudry, J. (2003). Suitability of oat-seed storage-protein markers for identification of cultivars in grain and flour samples. *Plant, Soil and Environment*, 49(11), 486-491.

Ellis, R, A., & Roberts, E. H. (1981). The Quantification of Ageing and Survival in Orthodox Seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 373-409.

Francia, E., Tacconi, G., & Crosatti, C. (2005). Marker assisted selection in crop plants. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 82, 317-342.

Fufa, H., Baenziger, P. S., Beecher, B. S., Dweikat, I., Graybosch, R. A. & Eskridge, K. M. (2005). Comparison of phenotypic and molecular marker-based classifications of hard red winter wheat cultivars. *Euphytica*, 145, 133-146.

Ganj Ali, A., Parsa, H., & Hojjat, S. (2006). Genotypic diversity of root and aerial organ traits of chickpea seedlings (*Cicer arietinum* L.) in hydroponic and greenhouse environments. *Iranian Agricultural Research Journal*, 1, 143-155.

Ghaffari Moghaddam, S., Sabouri, H., Abdollatif Gholizadeh, H., & Fallahi, A. (2019). Identification of QTLs associated with some (*Hordeum vulgare* L.) traits in a germination stage under salt stress conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, 11(3), 74 -94. (in Persian)

Jahanbakhsh, S., Parmoon, Gh., and Azad, H., & Ghatei, A. (2019). Modeling hydrotime and threshold tolerance to salinity on germination different species Basil (*Ocimum basilicum*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, *7*(2), 119-142.

Jalali, P., Navabpour, S., Yamchi, A., Soltanloo, H., & Bagherikia, S. (2020). Differential responses of antioxidant system and expression profile of some genes of two rice genotypes in response to salinity stress. *Biologia*, 75(5), 785-793.

Jamil, M., Bae Lee, D., Yony Jun, K., Ashraf, M., & Chin, S. (2006). Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetable species. Journal Center Europ. *Agriculture*, 7, 273-282.

Kafi, M., Barzoui, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabati, J. (2017). Physiology of environmental stress in plants. Mashhad Academic Jihad Publications. 504 pp.

Kakaei, M., & Kahrizi, D. (2011): Evaluation of seed storage protein patterns of ten wheat varieties using SDS-PAGE. *Biharean Biologist* 5, 116-118.

Kakaei, M., Mazahery Laghab, H. & Kiani, S. (2014). Genetic variability of endosperm and embryo protein expression in some cultivated barley genotypes. *Biharean Biologist*, 8(1), 42-47.

Khazaei, H. R., Nezami, A., Saadatian, B., Armand Pishe, O., & Pordel, R. (2016). Effect of seed priming on seedling growth of barely (Hordeumvulgare L.), under salinity stress in phytogel. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *9*(1), 87-97.

Langridge., P. (2018). Economic and academic importance of barley." In The barley genome, pp. 1-10.

Leidi, E. O., Silberbush, M., & Lips, S. H. (1991). Wheat growth as affected by nitrogen type, pH and salinity. I. Biomass production and mineral composition. *Journal of Plant Nutrition*, 14(3), 235-246.

Mascher, M., Gundlach, Heidrun, Himmelbach, A., Beier, Se., Twardziok, SO., Wicker, T., & Radchuk, V. (2017). A chromosome conformation capture ordered sequence of the barley genome. *Nature*, 544(7651), 427-433.

Mehrabi Oladi, A, A., Omidi, M., & Fazli Nasab, B. (2018). Investigating the effects of salinity stress on seed germination, seedling growth and callus cultivation of rapeseed genotypes. *Journal of Agricultural Plant Sciences of Iran*, 42(1),81-90.

Mostafavi, Kh., Golbashi, M., Izadi Darbandi, A., & Zarrabi, M. (2012). The effect of salinity stress and estimation of genetic parameters of some cultivars and lines of barley (*Hordeum vulgare* L.) in the stage of seed germination and early seedling growth. *Iran seed science and technology*, 1(2), 117-128.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell & Environment, 25, 239-250.

Munns, R., Richard A. James, & Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1025-1043.

Mwando, E., Angessa, T, Tolera., Han, Y., Zhou, G., & Chengdao Li. 2021. Quantitative trait loci mapping for vigour and survival traits of barley seedlings after germinating under salinity stress." *Agronomy*, 11(1), 103.

Nawaz, M., Hassan, M. U., Chattha, M. U., Mahmood, A., Shah, A. N., Hashem, M., Alamri, S., Batool, M., Rasheed, A., Thabit, M. A., Alhaithloul, H. A. S., & Qari, S. H. (2022). Trehalose: a promising osmo-protectant against salinity stress-physiological and molecular mechanisms and future prospective. *Molecular Biology Reports*, 49(12), 11255-11271.

Noroozi, M., Chavoshie, E., & Ghajar Sepanlou, M. (2022). Effect of Irrigation Water Salinity on Relative Yield and Some Morphological and Physiological Characteristics of Sorghum, *Journal of Water Research in Agriculture* (Soil and Water Sci.), 36(1), 55-74. (in Persian)

Parvez., Shumaila, Abbas, Ghulam., Shahid, M., Amjad, M., Hussain, M., Ahmad Asad, S., Imran, M., & Asif Naeem, M. (2020). Effect of salinity on physiological, biochemical and photostabilizing attributes of two genotypes of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) exposed to arsenic stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109814.

Ruan, CJ., Li, H., & Mopper, S. (2009). Characterization and identification of ISSR markers associated with resistance to dried-shrink disease in sea buckthorn. *Molecular Breeding*, 24, 255.

Reynolds, M.P., Rebetzke. G., Pellegrineschi. A., & Trethowan, R. (2006). Drought adaptation in wheat. In: Ribaut, J.M. (ed.), Drought Adaptation in Cereals. New York, NY, USA: Food Products Press, pp. 401-446.

Rui, M., Almeida, M., & Serralheiro, P., R. (2017). Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulture*, 3(2), 30.

Saiz-Rubio, V., & Rovira-Más, F. (2020). From Smart Farming towards Agriculture 5.0: A Review on Crop Data Management. *Agronomy*, *10*, 207.

Soltani, A., Gholipoor, M., & Zeinali, E. (2005). Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 55(1-2), 195-200.

Tricase, C., Lamonaca, E., Ingrao, C., Bacenetti, J., & Lo Giudice, A. (2018). A comparative Life Cycle Assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3747-3759.

Willenborg, Ch, J., C. Wildeman, J., K. Miller, A., G. Rossnagel, B., & J. Shirtliffe, S. (2005). Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes, and osmotic potentials, *Crop Science*, 45(2), 2023-2029.