

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropscience.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 793-805

Selection of salinity-tolerant genotypes through the evaluation of barley germplasm originating from ICARDA under saline conditions

Shirali Koohkan ^{*a}, Hadi Pirasteh Anousheh ^b, Abolghasem Moradgholi ^a, Mohammad Reza Keshtgar ^a

^a Horticulture Crops Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

^b Crop Physiology National Salinity Research Center, AREEO, Yazd, Iran

*Corresponding Author: koohkan182@gmail.com

Received: 1 February 2025

Accepted: 30 June 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.503865.1469

How to cite this article:

Koohkan, SH., Pirasteh Anousheh, H., Moradgholi, A. and Keshtgar, M., 2025. Selection of salinity-tolerant genotypes through the evaluation of barley germplasm originating from ICARDA under saline conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 793-805. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.503865.1469>

Abstract

Introduction: Soil salinity represents one of the most critical abiotic stress factors adversely impacting the growth, development, and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.), one of the oldest and most economically significant cereal crops worldwide. The continuous expansion of salinity-affected lands poses a major threat to global food security, particularly in arid and semi-arid regions where excessive irrigation further exacerbates soil salinization. In this context, the identification and deployment of salt-tolerant barley genotypes for cultivation in saline environments have become essential strategies for ensuring sustainable agricultural production.

Materials and Methods: The present study was conducted to evaluate the performance of barley genotypes obtained from the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) under saline field conditions, to identify promising candidates for breeding programs aimed at enhancing salinity tolerance. A total of 20 barley genotypes were selected from an initial set of 320 accessions previously screened at the Yazd Agricultural Research Center, Iran, during 2018–2020. These genotypes were subsequently compared with local cultivars under field conditions characterized by high salinity at the Zahak Agricultural Research Station in Sistan over two consecutive cropping seasons (2022–2024). The experimental layout followed a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Before planting in each season, soil samples were collected to assess baseline soil salinity and nutrient status, ensuring uniform salinity levels across experimental plots. Fertilizer applications were administered according to soil test recommendations to maintain optimal nutrient availability. A range of phenological, morphological, and yield-related traits were recorded, including plant height, days to spike emergence, days to physiological maturity, 1000-seed weight, seed yield per plot, biological yield, and harvest index. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using SAS software, and treatment means were compared via



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Duncan's multiple range test at the 1% significance level.

Results and Discussion: The ANOVA results revealed significant effects of year, genotype, and their interaction on the majority of measured traits, highlighting both environmental influence and genetic diversity among the evaluated barley genotypes. Plant height varied considerably, with genotype 74 attaining the greatest height (73.5 cm) and genotype 80 the shortest (59.67 cm). This variation reflects the combined effects of inherent genetic potential and the inhibitory influence of salinity stress on shoot elongation due to osmotic and ionic imbalances. Substantial variation was also observed in days to spike emergence and physiological maturity. Genotype 92 exhibited the longest time to spike emergence (102.83 days), whereas genotype 122 was the earliest. Earliness under saline conditions is advantageous as it allows genotypes to complete their life cycle before salinity stress peaks, thereby mitigating potential yield losses. Significant differences were recorded in 1000-seed weight, a key yield component. Genotype 74 produced the highest 1000-seed weight (38.17 g), while genotype 100 recorded the lowest (33.67 g). Reduced seed weight under saline conditions is commonly attributed to shortened seed-filling periods and accelerated maturation triggered by stress conditions. In terms of seed yield, genotype 96 significantly outperformed all others, achieving yields approximately 28% higher than genotypes 74 and 284. This outstanding performance highlights its potential for development as a salt-tolerant cultivar. Cluster analysis based on drought and salinity tolerance indices grouped the genotypes into three distinct clusters, with the third cluster comprising the highest-yielding genotypes under stress conditions. Correlation analysis revealed highly significant positive relationships among all measured traits at the 1% probability level. Notably, seed yield exhibited strong positive correlations with days to spike emergence ($r = 0.755$), days to maturity ($r = 0.774$), and 1000-seed weight ($r = 0.791$). These findings suggest that these traits can serve as reliable selection criteria in breeding programs targeting salinity tolerance in barley.

Conclusion: This study underscores the importance of utilizing genetic resources for the development of resilient and adaptable barley cultivars suitable for saline environments. The identification of Genotypes 96, 97, and 118 as high-performing and salt-tolerant candidates provides valuable options for enhancing barley production in salinity-affected regions like Sistan. Moreover, the significant genetic diversity observed among the tested genotypes presents promising prospects for the genetic improvement of barley for salinity tolerance through targeted breeding programs.

Keywords: Cluster analysis, Exotic genotypes, Grain yield, Salinity stress, Tolerant genotypes

گزینه‌های ژنوتیپ‌های متحمل به شوری از طریق ارزیابی ژرم‌پلاسم جو با منشأ ایکاردا در شرایط

شور

شیرعلی کوهکن^{۱*}، هادی پیراسته انوشه^۲، ابوالقاسم مرادقلی^۱، محمدرضا کشته‌گر^۱

۱- بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل،

ایران

۲- مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

* مسؤل مکاتبه: koohkan182@gmail.com

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.503865.1469

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

چکیده

شوری یکی از عوامل مهم در محیط است که می‌تواند به‌طور قابل توجهی بر رشد، نمو و بهره‌وری جو تأثیر بگذارد. ارزیابی و مقایسه واکنش ژنوتیپ‌های جو تحت شرایط شور برای معرفی رقم مناسب با توانایی تولید بالا و تحمل مناسب به شوری برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو امری ضروری است. در این پروژه، با بررسی ژنوتیپ‌های جو از خارج کشور و مقایسه آن‌ها با رقم‌های داخلی در شرایط شور، ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری معرفی شدند. به این منظور، ۲۰ ژنوتیپ دریافتی از مرکز تحقیقات کشاورزی یزد در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال متوالی (سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ تا ۱۴۰۲-۱۴۰۳) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج مقایسه میانگین‌های دو سال نشان‌دهنده تفاوت تنوع عملکرد در بین ژنوتیپ‌ها بود. در این میان، ژنوتیپ ۹۶ با نسبت ۲۷ درصد نسبت به دیگر ژنوتیپ‌ها افزایش داشت. در نتیجه ژنوتیپ‌های مناسب و جایگزین ارقام شاهد در مناطق با شرایط شوری در منطقه سیستان ژنوتیپ‌های ۹۶، ۹۷ و ۱۱۸ می‌توان در نظر گرفت. در نهایت این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ‌های زودرس عملکرد بهتری در شرایط تنش نشان دادند. منابع ژنتیکی در گروه‌بندی تجزیه خوشه‌ای، پتانسیل بالای جو را برای اصلاح و بهبود تحمل به تنش‌های محیطی نشان می‌دهد. یافته‌ها بر اهمیت استفاده از این منابع ژنتیکی برای توسعه ارقام متحمل و سازگار با شرایط مختلف محیطی تأکید می‌کند. **واژه‌های کلیدی:** تجزیه خوشه‌ای، تنش شوری، ژنوتیپ‌های خارجی، ژنوتیپ‌هایی متحمل، عملکرد دانه

مقدمه

مسمومیت یونی ناشی از تجمع یون‌های خاص، به‌ویژه سدیم، می‌تواند واکنش‌های متابولیکی گیاه را مختل کند. برای مقابله با این چالش‌ها، گیاهان در شرایط شوری کم تا متوسط با افزایش غلظت مواد محلول، فشار اسمزی داخلی خود را حفظ می‌کنند (Hussain et al., 2022).

در غلظت‌های بالای نمک، گیاهان با ورود و خروج یون‌ها، میزان سدیم (Na^+) درون سیتوپلاسم را کاهش داده و با ثابت نگه‌داشتن غلظت یون پتاسیم، نسبت Na^+/K^+ را پایین نگه می‌دارند. این سازوکار تا حدودی در مقابله با اثرات سوء ناشی از تنش شوری مؤثر است. نسبت Na^+/K^+ در گیاهان به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم جهت تفکیک گونه‌های متحمل از حساس گزارش شده است. دفع Na^+ از برگ‌ها، مکانیسم تحمل نمک در غلات است. میزان تحمل نمک در برنج، سورگوم، جو و گندم با غلظت Na^+ در برگ‌ها رابطه معکوس دارد. گیاهانی که نسبت Na^+/K^+ پایین‌تری داشته باشند، متحمل‌تر خواهند بود

شوری یک عامل تنش محیطی مهم است که می‌تواند عمیقاً بر رشد، نمو و عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.)، یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین محصولات غلات دنیا تأثیر بگذارد (Atta et al., 2023). تأثیر شوری بر جو، مانند سایر محصولات زراعی، شامل پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی پیچیده است (Al-Tardeh et al., 2023). درک این اثرات برای توسعه استراتژی‌هایی برای افزایش انعطاف‌پذیری محصول و تضمین امنیت غذایی در مناطق تحت تاثیر شوری بسیار مهم است (Thabet et al., 2022). پاسخ گیاهان به تنش شوری فرآیندی پیچیده و چندوجهی است که تحت‌تأثیر عواملی همچون غلظت نمک، نوع یون‌ها، شرایط محیطی و مرحله رشد گیاه قرار می‌گیرد. از یک طرف، تنش اسمزی ناشی از شوری باعث کاهش دسترسی گیاه به آب می‌شود و به‌همین دلیل به آن "خشکی فیزیولوژیک" نیز گفته می‌شود. از طرف دیگر،

با این حال، محدودیت در تنوع ژنتیکی ناشی از جایگزینی رقم و کاهش تنوع ژنتیکی در میان ارقام جو جدید، آنها را به تنش‌های غیرزیستی و زیستی حساس‌تر کرده است (Sreesaeng et al., 2024).

جو به‌عنوان چهارمین محصول غلات مهم و با ارزش است و کاربردهای متنوعی از جمله مصرف انسان، خوراک دام و تولید نوشیدنی و مالت دارد (Verma, 2019 Mittal, 2022). جو نقش مهم و اساسی هم در غذای انسان و هم در خوراک دام دارد. جو همچنین برای مصارف صنعتی و در تهیه نوشیدنی‌ها استفاده می‌شود و منبع سه ماده ضروری کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و فیبر (کاه) است. همچنین جو در مناطقی کشت می‌شود که سایر غلات به دلیل بارندگی کم، شوری خاک یا ارتفاع زیاد، هوای سرد و گرم نمی‌توانند به‌خوبی رشد کنند. در مناطق تنش‌زا، چون تحمل جو نسبت به تنش‌های خشکی و شوری بیشتر است، و از طرفی زودتر از گندم می‌رسد، کشت جو بر گندم ترجیح داده می‌شود (Emam, 2011). با این وجود تحمل به شوری در بین ژنوتیپ‌های جو متفاوت است. اختلافاتی که بین ژنوتیپ‌های جو از لحاظ تحمل به تنش شوری وجود دارد، این امکان را فراهم نموده است که بتوان ژنوتیپ‌های متحمل را با استفاده از روش‌های متنوع گزینش کرد. این روش به‌عنوان یک روش خوش‌آبیه در استفاده مؤثر از انرژی، قادر است با روش‌های مدیریتی آب‌و‌خاک به رقابت بپردازد (Kingsbury et al., 1970). سازگاری گیاهان به شوری مسئولیت بزرگی برای به‌نژادگران است. اصلاح و تولید ارقام متحمل به شوری می‌تواند موجب افزایش عملکرد در گیاهانی که برای تغذیه کشت می‌شوند، شده و همچنین موجب افزایش درآمد از طریق افزایش سطح زیر کشت در تولید محصولات مهم اقتصادی شود. قانون اصلی اصلاح ارقام مقاوم به شوری، داشتن تنوع ژنتیکی در بین گونه‌های مختلف است (Zhao et al., 2020).

این پژوهش به بررسی و تحلیل مکانیسم‌های فیزیولوژیکی پاسخ جو به تنش شوری می‌پردازد. هدف اصلی آن شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به شوری و توسعه راه‌کارهای مؤثر برای افزایش مقاومت به شوری، بهبود عملکرد و تضمین امنیت غذایی در مناطق تحت تأثیر شوری است. این مطالعه همچنین به دنبال درک بهتر تأثیرات تنش شوری بر رشد و نمو جو و

(Zhu et al., 2016). در جو ژنوتیپ‌های تحمل به شوری، با میزان کم انتقال Na^+ به ساقه و جذب بیشتر K^+ همبستگی دارند (Thabet and Alqudah, 2023). اثرات ترکیبی تنش اسمزی، عدم تعادل مواد مغذی و سمیت یونی می‌تواند به‌طور قابل توجهی سرعت رشد گیاهان جو را کاهش دهد. این امر در کاهش طول ریشه و ساقه، کاهش سطح برگ و رشد کلی گیاه مشاهده می‌شود. در نهایت، تنش‌های فیزیولوژیکی شوری می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد جو شود (Thabet et al., 2021). تنش شوری، بحرانی‌ترین تنش غیرزیستی و یک مسئله مهم در سراسر جهان، تولید محصول را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و خطری برای امنیت غذایی ایجاد می‌کند (Ahmed et al., 2013; Zeeshan et al., 2020; Hassani et al., 2021).

مساحت جهانی تحت تأثیر شوری حدود یک میلیارد هکتار است که از نظر شدت و وسعت به‌طور مداوم در حال افزایش است (Ivushkin et al., 2019). براساس گزارش سازمان غذا و کشاورزی، شوری حدود ۲۰ درصد از زمین‌های آبی در سطح جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند به بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد که منجر به کاهش قابل توجهی در عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Pitman and Läuchli, 2002; Mwando et al., 2020; Singh, 2021). این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که کمبود آب نیاز به آبیاری برای تولید مواد غذایی را ایجاد می‌کند، شدید است (Perri et al., 2022).

برای کاهش اثرات منفی شوری، یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه، معرفی گونه‌ها یا واریته‌های گیاهی متحمل به نمک است. اگرچه جو نسبتاً به تنش شوری متحمل است، اما شوری همچنان بر رشد و تولید جو تأثیر منفی می‌گذارد (Ali et al., 2022; Jadidi et al., Ahmed et al., 2013; 2022). با توجه به تنش شوری، بحرانی‌ترین مراحل رشد جو، مراحل جوانه‌زنی و رویشی هستند و می‌توانند به‌ترتیب حدود ۶۰ و ۴۵ درصد کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه را در طی این مراحل ایجاد کنند (Qiu et al., 2011). توسعه ارقام جو مقاوم به تنش شوری یک استراتژی مقرون‌به‌صرفه برای افزایش عملکرد محصول و تضمین تولید کشاورزی پایدار است. بنابراین، شناسایی ژنوم‌پلاسما متحمل به تنش شوری مهم است.

۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ گزینش شدند).

بر مبنای نتایج آزمون خاک (جدول ۲) کل کود فسفر (۱۵ کیلوگرم در هکتار) و یک-سوم کود نیتروژن (۵ کیلوگرم در هکتار) قبل از کاشت و مابقی کود نیتروژن در زمان‌های پنجه‌رفتن (۵۰ کیلوگرم در هکتار) و طویل‌شدن ساقه (۵ کیلوگرم در هکتار) به کار برده شدند. هر ژنوتیپ در سه خط دو متری با فاصله ۲۰ سانتی‌متر بین خطوط کشت شدند. آزمایش در شرایط شور به صورت آبیاری با آب شور با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر انجام گردید. تراکم مدنظر حدود ۴۵۰ بذر در مترمربع بود. بین هر ژنوتیپ یک خط نکاشت در نظر گرفته شد. آبیاری کلیه کرت‌ها به صورت همزمان در حد ظرفیت مزرعه (+سهم آبیاری) صورت گرفت.

ارزیابی ژنوتیپ‌ها در تحمل به شوری است تا بتوان ارقام مقاوم و پایدار برای کشت در شرایط نامساعد محیطی تولید کرد.

مواد و روش‌ها

در این پروژه، با بررسی ژنوتیپ‌های جو خارجی و مقایسه آن‌ها با رقم‌های داخلی در شرایط شور، ژنوتیپ‌های مقاوم به شوری معرفی شدند. به این منظور، ۲۰ ژنوتیپ دریافتی از مرکز تحقیقات کشاورزی یزد (جدول ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در دو سال متوالی (سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳) در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک مورد ارزیابی قرار گرفتند (لازم به یادآوری است که این ۲۰ ژنوتیپ از بین ۳۲۰ ژنوتیپ دریافتی از مرکز ایکاردا توسط همکاران مرکز تحقیقات کشاورزی یزد در سال‌های

جدول ۱- لیست ژنوتیپ‌های خارجی کشت شده

Table 1- List of cultivated genotypes

شماره ژنوتیپ	کد	نام تلاقی	شماره ژنوتیپ	کد	نام تلاقی
Genotype No	Code	Cross name	Genotype No	Code	Cross name
G1	TN-6	M122 (Quest)	G11	TN-89	Barabas
G2	TN-7	WI2291	G12	TN-92	Nymfe
G3	TN-14	Manal	G13	TN-95	Sebastian
G4	TN-20	Alanda 01	G14	TN-96	SJ055066
G5	TN-74	Pasadena	G15	TN-97	SJ056089
G6	TN-75	Mauritia	G16	TN-100	AZAF/SCARLETT
G7	TN-80	Aricada	G17	TN-118	Arta
G8	TN-82	Flagon	G18	TN-122	RD2660
G9	TN-83	Suzuka	G19	TN-125	KEOPS
G10	TN-87	NFC Tipple	G20	TN-284	IG 144015

(جدول ۲). این کار به منظور کنترل شوری در منطقه توسعه ریشه انجام گردید.

تاریخ کاشت در هر دو سال نیمه آبان‌ماه بود. پیش از شروع آزمایش و در طول فصل رشد نمونه خاک به منظور تعیین شوری عصاره اشباع خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد

جدول ۲- نتیجه آزمایش نمونه خاک آزمایشات شوری گندم ایستگاه زهک قبل از کاشت

Table 2- The result of the soil sample test of wheat salinity tests at Zahak station before planting

بافت خاک	اسیدیته	هدایت الکتریکی	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	مس	بور	
				P	K	Fe	Zn	Mn	Cu	B	
Soil texture	pH	EC (ds/m)	C Organic (%)	(mg.kg)							
سال اول Year 1	لومی - شنی Loam-Sandy	8.2	4.2	0.34	11	100	2.84	0.26	4.86	0.58	1.07
سال دوم Year 2	لومی - شنی Loam-Sandy	8.4	4.1	0.27	12	89	1.96	0.21	3.72	0.53	1.13

هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در انتهای فصل رشد و در مرحله رسیدگی کامل بوته‌ها مورد

در طول دو سال، درصد سبزشدن گیاهچه‌ها، مراحل فنولوژیک گیاه، درصد ابتلا به زنگ در طول فصل رشد، وزن

یک درصد داشته است. مطالعه حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌های جو زراعی از نظر صفات مورد ارزیابی، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. این یافته با نتایج گزارش شده توسط سایر پژوهشگران نیز هم‌خوانی و تطابق دارد (Shahmoradi, 2021). گستردگی مشاهده شده در ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی جو، نشان‌دهنده ظرفیت بالای این گونه گیاهی در سازگاری با شرایط محیطی متنوع است. این خزانه ژنی غنی می‌تواند منبع ارزشمندی برای برنامه‌های اصلاحی جهت توسعه ارقام با عملکرد بالا و مقاوم به طیف وسیعی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی باشد. این ذخیره ژنتیکی موجب شده است که منابع توارثی جو به‌عنوان ابزاری ارزشمند در پژوهش‌های مرتبط با تحمل یا مقاومت در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی مورد توجه قرار گیرند (Shahmoradi and Tabatabai, 2022).

بررسی قرار گرفت. برای برداشت نهایی (در خردادماه)، تمام بوته‌های هر دو خط به‌طور کامل برداشت شدند. انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر سال براساس عملکرد دانه انجام شد، به این شرط که درصد ابتلا به زنگ در آن‌ها پایین باشد. علاوه‌براین، ارقام بسیار زودرس از چرخه انتخاب حذف شدند. داده‌ها پس از بررسی نرمال بودن، تحت تجزیه واریانس قرار گرفتند و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد با نرم‌افزار آماری SAS مقایسه شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی ژنوتیپ‌های جو در دو سال زراعی مورد بررسی در منطقه سیستان نشان می‌دهد (جدول ۳)، اثرات سال زراعی و ژنوتیپ‌ها بر صفات مورد ارزیابی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال آماری

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در لاین‌های جو

Table 3- Analysis of variance (mean square) of the studied traits in barley Genotypes

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	روز تا گلدهی	روز تا رسیدگی	وزن هزاردانه	عملکرد دانه	عملکرد در پلات
Source of variation	df	Plant height	Days to flowering	Days to maturity	1000-Seed Weight	Seed yield	Yield/Plot
تکرار	2	1.633	2.608	0.108	6.633	96041.575	12445.633
Replication							
سال	1	962.034 **	5324.556 **	14675.284 **	1113.025 **	23691238.13 **	3072993.029 **
Year							
ژنوتیپ	35	34.594 **	8.803 **	4.737 **	8.950 **	233726.878 **	30289.012 **
Genotype							
سال*ژنوتیپ	19	102.119 **	10.948 **	10.698 **	6.220 ^{n.s}	462505.762 **	59940.095 **
*Year							
Genotype							
خطا	62	1.398	1.596	1.454	3.907	64500.947	8358.522
Error							
ضریب تغییرات	-	5.19	1.48	1.9	3.66	9.38	9.18
(%) CV							

^{n.s} و **: غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

^{n.s}, **: Non Significant, Significant at 1% probability levels, respectively.

می‌تواند نقش کلیدی در بهبود عملکرد ایفا کند. نتایج این مطالعه با یافته‌های گزارش شده در پژوهش‌های پیشین هم‌خوانی دارد (Tabatabaei et al., 2013; Rajaei and Dastfal, 2017; Sahfi et al., 2021).

اگرچه ارتفاع بوته عمدتاً تحت تأثیر ژنوتیپ است، اما در شرایط شور، گیاه بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز رشد اندام هوایی را برای مقابله با تنش شوری صرف می‌کند که این

مقایسه میانگین ارتفاع بوته بین ژنوتیپ‌ها نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی بود، به‌طوری‌که ژنوتیپ شماره ۷۴ با ۷۳/۵ سانتی‌متر بیشترین و ژنوتیپ شماره ۸۰ با ۵۹/۶۶۵ سانتی‌متر کمترین ارتفاع بوته را داشتند (جدول ۴). ارتفاع بوته به‌عنوان یکی از صفات مورفولوژیک تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار دارد و به‌دلیل ارتباط آن با خوابیدگی گیاه جو، از اهمیت زیادی برخوردار است. انتخاب ژنوتیپ‌هایی با ارتفاع مناسب

تأثیرگذار باشد (Poustini and Siosemardeh, 2004).

وزن دانه یکی از معیارهای اساسی برای ارزیابی عملکرد است. نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت‌هایی وجود دارد. به‌طور خاص، ژنوتیپ ۷۴ بیشترین وزن هزاردانه را با ۳۸/۱۷ گرم داشت ولی ژنوتیپ ۱۰۰ با کمترین وزن (۳۳/۶۶۵ گرم) بود. کاهش وزن دانه در شرایط تنش ناشی از کاهش طول دوره پر شدن و شتاب رسیدگی است.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۹۶ حدود ۲۸ درصد نسبت به ژنوتیپ ۷۴ و ۲۸۴ افزایش داشت. ارزیابی عملکرد بین ژنوتیپ‌ها و ارقام گندم نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های ۹۶، ۹۵، ۱۰۰، مهر و خاتم نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر برتری داشتند؛ بنابراین، در شرایط شور هر یک از این ژنوتیپ‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای دیگر ژنوتیپ‌ها باشند. محققین اهمیت بالای تعداد پنجه بارور را به‌عنوان علت اصلی کاهش عملکرد در شرایط تنش شوری ذکر کردند (Ghorbani et al., 2004).

عملکرد دانه به‌عنوان یک صفت پیچیده توسط صفات مختلف فنولوژیکی، مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کنترل می‌شود. بنابراین، کنترل ژنتیکی عملکرد به‌طور غیرمستقیم تحت‌تأثیر صفاتی است که با عملکرد همبستگی دارند. افزایش هر یک از اجزای عملکرد به سهم خود در افزایش عملکرد مؤثر است. بین اجزای تشکیل‌دهنده عملکرد رابطه معکوس وجود دارد و غلات پرمحصول عموماً آن‌ها هستند که اجزای متوسطی دارند. کاهش رشد در شرایط شوری ناشی از سمیت نمک، اختلاف تعادل یونی، عکس‌العمل بیوشیمیایی یا ترکیبی از این عوامل است (Kashem et al., 2000).

کاهش رشد گیاهان تحت تنش ممکن است به‌دلیل کاهش ذخیره انرژی گیاه باشد که منجر به کاهش و اختلال فعالیت‌های زیستی و متابولیکی در گیاهان مختلف می‌شود (Yang et al., 2009).

به‌دلیل اثرات منفی پتانسیل اسمزی بالای محلول خاک و جذب کم آب و عناصر غذایی و تأثیر منفی شوری بر فتوسنتز و فرآیندهای جانبی آن، انرژی مورد نیاز برای رشد مناسب ریشه و اندام هوایی در اختیار آن‌ها قرار نمی‌گیرد (Ashraf and Foolad, 2007).

امر موجب کاهش رشد اندام هوایی می‌شود (Deinlein et al., 2014).

علاوه‌براین، افزایش غلظت نمک در محیط رشد باعث ایجاد نوعی خشکی فیزیولوژیک در گیاه می‌شود که عامل اصلی در جلوگیری از ایجاد فشار تورژسانس در سلول‌ها و ممانعت از رشد و تقسیم سلولی است؛ این فرایند در نهایت منجر به کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Munns and Tester, 2008). محققین تأکید کرده‌اند که برای بهبود عملکرد دانه جو، انتخاب ژنوتیپ‌ها باید براساس صفات رویشی مانند درصد سبزیگی، ارتفاع بوته و تعداد روز تا گلدهی انجام شود (Shamsi-Mahmodabadi et al., 2009).

نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها نشان می‌دهد که ژنوتیپ ۹۲ دارای بیشترین مدت روز تا گلدهی (۱۰۲/۸۳۵ روز) و ژنوتیپ ۱۲۲ دارای کمترین تعداد روز تا گلدهی (روز) و همچنین زودرس‌ترین (۱۲۶ روز) و ژنوتیپ ۱۲۵ دیررس‌ترین (۱۳۰/۳۳۵ روز) در بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی قرار دارد، که نشان‌دهنده زودرسی و دیررسی ژنوتیپ‌ها می‌باشد. ژنوتیپ‌های ۱۲۲ و ۲۸۴ از ویژگی زودرسی مطلوب و مصرف آب کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بوده و می‌توان از آن‌ها برای انتخاب ارقام مناسب استفاده کرد. به‌عنوان یک فرضیه، می‌توان بیان کرد که زودرسی و فرار از مواجهه مستقیم با شوری، می‌تواند از عوامل مؤثر در تحمل ژنوتیپ‌ها به شوری باشد. در شرایط تنش شوری، استفاده از ارقام زودرس با عملکرد اقتصادی قابل قبول توصیه می‌شود. زودرسی این مزیت را به گیاه می‌دهد که قبل از آغاز تنش، عملکرد خود را تکمیل کند. ژنوتیپ‌های زودرس که سرعت رشد بالاتری دارند، آب در دسترس را به‌طور مؤثرتری مصرف کرده و در نتیجه، کمتر از ژنوتیپ‌های دیررس و کندرشد تحت‌تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند. این امر می‌تواند منجر به افزایش تولید گردد (Rajaei and Dastfal, 2017; Abbasipour Bahrani et al., 2023).

محققین دیگر در گزارشی بیان کرده‌اند که زمان لازم برای پر شدن دانه و رسیدگی آن تحت‌تأثیر شرایط تنش شوری قرار می‌گیرد. همچنین، کوتاه‌کردن طول دوره رشد در شرایط نامساعد به‌عنوان یکی از راه‌کارهای اجتناب از تنش مطرح شده است، با این حال، زودرسی ممکن است بر پتانسیل عملکرد گیاه

جدول ۴- مقایسه میانگین های ارتفاع بوته، رسیدگی و عملکرد ژنوتیپ های منتخب در دو سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ و ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در زابل

Table 4- Comparison of the mean plant height, maturity, and yield of selected genotypes across the 2022-2023 and 2023-2024 cropping seasons in Zabol

شماره ژنوتیپ Genotype	ارتفاع بوته Plant height (cm)	روز تا گلدهی Days to flowering (day)	روز تا رسیدگی Days to maturity (day)	وزن هزاردانه Seed-1000 weight (gr)	عملکرد در پلات Yield/Plot (g/plot)
TN-6	68.165 ^{abc}	100.5 ^{abcd}	130 ^{abc}	37.5 ^{abcd}	905 ^{cd}
TN-7	68 ^{abc}	101.665 ^{ab}	130.165 ^{ab}	35.17 ^{abcdef}	1081.665 ^{abc}
TN-14	68.665 ^{ab}	102 ^{ab}	127.33 ^{defg}	37.335 ^{abcd}	1031 ^{bcd}
TN-20	67.83 ^{abc}	100 ^{bcd}	126.835 ^{efg}	37.335 ^{abcd}	1030 ^{bcd}
TN-74	73.5 ^a	99.83 ^{bcd}	127.5 ^{cdefg}	38.17 ^a	880 ^d
TN-75	67.165 ^{abcd}	100.665 ^{abc}	127.17 ^{defg}	36.835 ^{abcde}	940 ^{cd}
TN-80	59.665 ^e	102.17 ^{ab}	129.335 ^{abcde}	37.165 ^{abcd}	1031.665 ^{bcd}
TN-82	64.165 ^{bcde}	100.835 ^{abc}	126.665 ^{fg}	37.665 ^{abc}	1055 ^{abcd}
TN-83	60.665 ^{de}	100.67 ^{abc}	127.665 ^{bcdefg}	34.67 ^{cdef}	973.335 ^{cd}
TN-87	61.5 ^{cde}	101.5 ^{ab}	127.335 ^{defg}	35.335 ^{abcdef}	940 ^{cd}
TN-89	62 ^{bcde}	102.33 ^{ab}	129.17 ^{abcdef}	34.5 ^{def}	1046.67 ^{bcd}
TN-92	61.665 ^{cde}	102.835 ^a	127.665 ^{bcdefg}	35.835 ^{abcdef}	996.67 ^{cd}
TN-95	64.5 ^{bcde}	101.835 ^{ab}	128.83 ^{abcdef}	37.835 ^{ab}	1208.335 ^{ab}
TN-96	63.335 ^{bcde}	102 ^{ab}	128.67 ^{abcdef}	37 ^{abcde}	1228.335 ^a
TN-97	64.83 ^{bcde}	102.165 ^{ab}	129.335 ^{abcde}	36 ^{abcdef}	1033.335 ^{bcd}
TN-100	62.165 ^{bcde}	101.335 ^{ab}	128 ^{abcdefg}	33.665 ^f	1195.835 ^{ab}
TN-118	61.835 ^{bcde}	98.665 ^{cde}	129.5 ^{abcd}	35 ^{bcdef}	1058.33 ^{abcd}
TN-122	66.335 ^{bcde}	97 ^e	126 ^g	36.665 ^{abcde}	1048.33 ^{bcd}
TN-125	67.67 ^{abc}	101.83 ^{ab}	130.335 ^a	34.165 ^{ef}	991.665 ^{cd}
TN-284	65 ^{bcde}	98 ^{de}	127.67 ^{bcdefg}	35.33 ^{abcdef}	880 ^d
مهر Mehr	62.034 ^{bcde}	99.4 ^{bcd}	126.756 ^{fg}	35.32 ^{abcdef}	1202.952 ^{ab}
خاتم Khatam	62.655 ^{bcde}	98.26 ^{de}	127.420 ^{defg}	36.124 ^{def}	119.888 ^{ab}
MBS-89-1	66.215 ^{bcde}	99.1 ^{bcd}	127.86 ^{bcdefg}	35.966 ^{bcdef}	1006.208 ^{bcd}

میانگین های مشخص شده با حروف متفاوت در هر ستون در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی دار دارند.

The means marked with different letters within each column indicate significant differences at the 5% significance level.

تحت تأثیر صفاتی است که با عملکرد همبستگی دارند. در واقع شناخت همبستگی بین عملکرد و اجزای آن و یافتن نوع رابطه بین آنها می تواند باعث افزایش عملکرد شود. با افزایش شوری، محتوای سدیم افزایش می یابد و غلظت بیشتر یون پتاسیم می تواند از ویژگی های ارقام متحمل به شوری در گیاه جو باشد (Sinebo, 2002). دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای به روش Ward برای ژنوتیپ های جو براساس شاخص های تحمل به خشکی در شکل ۱ آورده شده است. ژنوتیپ های مورد بررسی به سه خوشه تقسیم شدند. خوشه اول، دوم و سوم به ترتیب شامل ۹ و ۸ و ۳ ژنوتیپ جو بود. ویژگی خوشه اول ارتفاع کمتر و روز تا گلدهی طولانی تر و ویژگی خوشه دوم ژنوتیپ های دیررس در این گروه قرار دارند و ویژگی خوشه سوم دارای بیشترین میزان عملکرد در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه بود.

محققان گزارش کردند که عملکرد گیاه جو و بیشتر صفات وابسته به آن مانند ارتفاع گیاه، عملکرد دانه، وزن هزاردانه، تعداد دانه در سنبله و... تحت تنش شوری کاهش می یابد (Demiral et al., 2005).

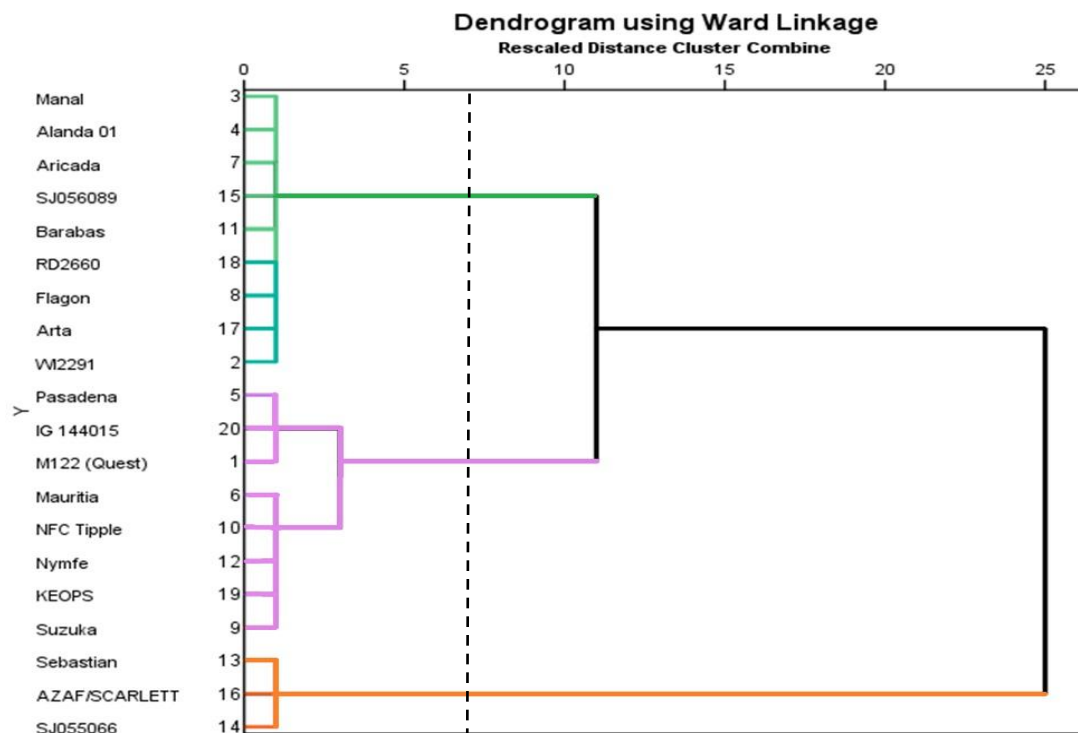
ضرایب همبستگی بین ارتفاع بوته، روز تا رسیدگی ها، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در ژنوتیپ های مورد مطالعه جو در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بین همه صفات همبستگی مثبت در سطح احتمال آماری یک درصد وجود دارد. عملکرد دانه با روز تا گلدهی ($r=0/755$)، روز تا رسیدگی ($r=0/774$) و وزن هزاردانه ($r=0/791$) همبستگی مثبت و معنی داری دارد، اما با ارتفاع بوته ($r=0/260$) میزان همبستگی مثبت کمتری نسبت به صفات مورد مطالعه داشت. محققان گزارش کردند که کنترل ژنتیکی عملکرد جو به طور غیرمستقیم

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در زابل

صفات	ارتفاع بوته height Plant	روز تا گلدهی Days to flowering	روز تا رسیدگی maturity Days to	وزن هزاردانه weight Seed-1000	عملکرد دانه Seed yield
ارتفاع بوته Plant height	1				
روز تا گلدهی Days to flowering	.432**	1			
روز تا رسیدگی maturity Days to	.496**	.961**	1		
وزن هزاردانه 1000-Seed weight	.523**	.785**	.791**	1	
عملکرد دانه Seed yield	.260**	.755**	.774**	.672**	1

**. همبستگی در سطح ۰.۰۱ (دوطرفه) معنادار است

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward برای ژنوتیپ‌های جو در دو سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و ۱۴۰۲-۱۴۰۳ در زابل

Figure 1- Dendrogram resulting from cluster analysis using Ward's method for barley Genotypes across the 2022-2023 and 2023-2024 cropping seasons in Zabol

نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر نشان داد که ژنوتیپ‌های جو تفاوت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در پاسخ به تنش شوری دارند. این تفاوت‌ها در واکنش به شوری، بیانگر وجود خزانه ژنی غنی در این گونه گیاهی است. چنین پتانسیل ژنتیکی در پاسخ به تنش شوری می‌تواند منبع ارزشمندی برای برنامه‌های اصلاحی جهت توسعه ارقام متحمل به شوری باشد، که این امر در مناطق با خاک‌های

ارقام مختلف یک گیاه از حیث میزان تحمل به شوری یکسان نیستند، لذا اصلاحگران همواره به دنبال شناسایی ارقام متحمل به شوری برای گیاهان زراعی هستند. در مراحل مختلف رشد یک گیاه واکنش به شوری می‌تواند متفاوت باشد. ارزیابی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی به‌ویژه در خلال مرحله جوانه‌زنی و سبزشدن عامل مهمی در انتخاب آنها برای کشت در شرایط مختلف است.

تنش‌های زیستی و غیرزیستی تبدیل می‌کند. یافته‌های این مطالعه بر اهمیت بهره‌گیری از تنوع ژنتیکی موجود در جو برای توسعه ارقام متحمل و سازگار با شرایط مختلف محیطی تأکید می‌کند. انتخاب ژنوتیپ‌های زودرس با ویژگی‌هایی نظیر وزن بالای هزاردانه، ارتفاع مناسب و دوره گلدهی کوتاه‌تر، می‌تواند راه‌کاری مؤثر برای افزایش تحمل به شوری و بهبود عملکرد در شرایط تنش باشد

سپاس‌گزاری

این مقاله بخشی از پروژه تحقیقاتی مصوب موسسه تحقیقات زراعی و باغی است؛ لذا از همکاران موسسه تحقیقات زراعی و باغی کشور به‌دلیل حمایت و راهنمایی در پروژه و همچنین کارکنان ایستگاه تحقیقات کشاورزی زهک به‌علت همکاری در اجرای پروژه کمال تشکر را دارد.

شور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. صفاتی نظیر ارتفاع بوته، روز تا گلدهی، وزن هزاردانه و عملکرد دانه، تأثیرات معناداری بر سازگاری و تحمل ژنوتیپ‌های جو در شرایط تنش شوری دارند. ارتباط مثبت و معنی‌دار میان این صفات، نقش کلیدی آن‌ها را در بهبود عملکرد نهایی گیاه نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌های زودرس به‌دلیل تکمیل دوره رشد قبل از مواجهه با شرایط حاد تنش، کارایی بیشتری در استفاده از منابع آبی داشته و عملکرد بهتری ارائه می‌دهند. همچنین، کاهش ارتفاع بوته در شرایط شوری ناشی از تخصیص انرژی گیاه به مقابله با تنش‌های محیطی و حفظ تعادل یونی است.

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های جو نشان‌دهنده وجود گروه‌بندی‌های متمایز براساس شاخص‌های تحمل به شوری و خشکی است. این خزانه ژنی، ظرفیت بالای گیاه جو را برای سازگاری با شرایط محیطی مختلف نشان می‌دهد و منابع ژنتیکی آن را به ابزاری ارزشمند برای اصلاح و بهبود تحمل به

References

- Abbasipour Bahrani, H., Ghazvini, H., Amiri, B. and Bazrafshan, F., 2023. Responses of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes to salinity stress under controlled and field conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75, pp.499–513. <https://doi.org/10.1007/s10343-022-00711-5>
- Ahmed, I.M., Dai, H., Zheng, W., Cao, F., Zhang, G., Sun, D. and Wu, F., 2013. Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between tibetan wild and cultivated barley. *Plant Physiology and Biochemistry*, 63, pp.49–60. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.11.004>
- Ali, B., Saleem, M.H., Ali, S., Shahid, M., Sagir, M., Tahir, M.B., Qureshi, K.A., Jaremko, M., Selim, S., Hussain, A., Rizwan, M., Ishaq, W. and Rehman, M.Z., 2022. Mitigation of salinity stress in barley genotypes with variable salt tolerance by application of zinc oxide nanoparticles. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.973782>
- Al-Tardeh, S.M., Alqam, H.N., Kuhn, A.J. and Kuchendorf, C.M., 2023. In vitro assessment of salinity stress impact on early growth in ten certified palestinian barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) potentially suitable for cultivation on former quarry substrates. *Water*, 15(6), 1065. <https://doi.org/10.3390/w15061065>
- Ashraf, M. and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, pp.206–216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
- Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A.P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D.J., Mondal, S., Bhattacharya, S., Jha, U.C. and Jespersen, D., 2023. Impacts of salinity stress on crop plants: improving

- salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, 14, 124173. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1241736>
- Deinlein, U., Stephan, A.B., Horie, T., Luo, W., Xu, G. and Schroeder, J.I., 2014. Plant salt tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science*, 19, pp.371-379. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.02.001>
- Demiral, M.A., Aydin, M. and Yorulmaz, A., 2005. Effect of salinity on growth chemical composition and antioxidative enzyme activity of two malting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Turkish Journal of Biology*, 29(2), 6, 117-123. <https://journals.tubitak.gov.tr/biology/vol29/iss2/6>
- Emam, Y., 2011. Cereal Production. 4th Edition, Shiraz University Press, Shiraz, 190 p. [In Persian].
- Ghorbani, M.H., Zeinali, E., Solatini, A. and Galeshi, S., 2004. The effect of salinity on growth, yield and yield components in two wheat cultivars. *Journal of Agriculture Science and Natural Resources*, 10 (4), pp.5-14. [In Persian].
- Hassani, A., Azapagic, A. and Shokri, N., 2021. Global predictions of primary soil salinization under changing climate in the 21st century. *Nature Communications*, 12(1), 6663. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26907-3>
- Hussain, M.I., Al-Dakheel, A.J., Chaudhry, U.K., Khan, M.I., Alhathloul, H.A.S., Alghanem, S.M. and Alaklabi, A., 2022. Morpho-physiological response of barley to assess genotypic differences of salinity tolerance under hyper arid climate. *Agricultural Water Management*, 27(2), 107832. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107832>
- Ivushkin, K., Bartholomeus, H., Bregt, A.K., Pulatov, A., Kempen, B. and de Sousa, L., 2019. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231, pp.111-260. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111260>
- Jadidi, O., Etmnan, A., Azizi-Nezhad, R., Ebrahimi, A. and Pour-Aboughadareh, A., 2022. Physiological and molecular responses of barley genotypes to salinity stress. *Genes*, 13, 2040. <https://doi.org/10.3390/genes13112040>
- Kashem, M., Sultana, N., Loboda, T., Mitsui, T. 2000. Alteration of starch- sucrose transition in germinating wheat seed under sodium chloride salinity. *Journal of Plant Biology*, 43, pp.121-127. <https://doi.org/10.1007/BF03030488>.
- Kingsbury, D.W., Portner, A. and Darling-Ton, R.W., 1970. Properties of incomplete Sendai virions and subgenomic viral RNAs. *Virology*, 42, pp.857-871. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(70\)90335-1](https://doi.org/10.1016/0042-6822(70)90335-1)
- Mittal, S., 2022. Wheat and barley production trends and research priorities: a global perspective. New horizons in wheat and barley research. *Springer Singapore*. Book Chapter: pp.3–18. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4449-8_1
- Munns, R. and Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, pp.651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

- Mwando, E., Angessa, T.T., Han, Y. and Li, C., 2020. Salinity tolerance in barley during germination—homologs and potential genes. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 21(2), pp.93–121. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1900400>
- Perri, S., Molini, A., Hedin, L.O. and Porporato, A., 2022. Contrasting effects of aridity and seasonality on global salinization. *Nature Geoscience*, 15(5), pp.375–381. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00931-4>
- Pitman, M.G. and Läuchli, A., 2002. Global impact of salinity and agricultural ecosystems. Salinity: environment - plants - molecules. *Kluwer Academic Publishers*, The Netherlands, pp.3–10. https://doi.org/10.1007/0-306-48155-3_1
- Poustini, K. and Siosemardeh, A. 2004. Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research*, 85, pp.125-133. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00157-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00157-6)
- Qiu, L., Wu, D., Ali, S., Cai, S., Dai, F., Jin, X., Wu, F. and Zhang, G., 2011. Evaluation of salinity tolerance and analysis of allelic function of HvHKT1 and HvHKT2 in tibetan wild barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 122, pp.695–703. <https://doi.org/10.1007/s00122-010-1479-2>
- Rajaei M. and Dastfal M., 2017. Study of yield and salinity tolerance indices in wheat lines and cultivars under saline conditions. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, 10(1), pp.150-139. [In Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.537>.
- Sahfi, S.S., Mousavi Nik, S.M., Tabatabaei, S.A., Sabbagh, S.K. and Ghanbari, S.A., 2021. Evaluation of barley cultivars sensitive and tolerant to salt stress using tolerance indices in central regions of Iran. *Journal of Crop Production*, 14(1), pp.103-122. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.18504.2380>
- Shahmoradi, Sh. and Tabatabaei, S.A., 2022. Evaluation of salt stress tolerance of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Seedlings and Seeds*, 38(3), pp.281-259. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/spj.2023.361285.1296>
- Shahmoradi, Sh., 2021. Exploiting the morphological and phenological diversity in barley landraces of Iran. *Desert*, 26 (2), 267-278. <https://doi.org/10.22059/jdesert.2021.319467.1006809>
- Shamsi-Mahmodabadi, H., MajidiHervan, A., Normohamadi, G., Mirhoseini-Dehabadi, S.R. and HeidariSharifabad, H., 2009. Investigation of genetic diversity and evaluation of hulls barley genotypes to salinity stress. *Plant and Ecosystem*, 18, 1. 44-59. [In Persian].
- Sinebo, W., 2002. Yield relationships of barleys grown in a tropical highland environment. *Crop Science*, 42, pp.428-437. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.4280>
- Singh, A., 2021. Soil salinization management for sustainable development: a review. *Journal of Environmental Management*, 277, 111383. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>
- Sreesang, J., Qiu, C.W., Zhang, S. Heng Shi, S., Luo, L., Holford, P. and Wu, F., 2024. Identification and characterization of hull-less barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm for salt tolerance. *Plant Growth Regulation*, 104(2), 975-989. <https://doi.org/10.1007/s10725-024-01187-1>

- Tabatabaei, S.A., Kouchaki, A.R. and Mollasadeghi, J., 2013. Evaluation of salinity tolerance of barley cultivars under laboratory and field conditions. *Quarterly Journal of Crop Plant Physiology*, 5(20), pp.87-101. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.2008403.1392.5.20.7.8>
- Thabet, S.G., Alomari, D.Z., Börner, A., Brinch-Pedersen, H. and Alqudah, A.M., 2022. Elucidating the genetic architecture controlling antioxidant status and ionic balance in barley under salt stress. *Plant Molecular Biology*, 110, pp.287–300. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01302-8>
- Thabet, S.G., Alqudah, A.M., 2023. New genetic insights into improving barley cope with salt stress via regulating mineral accumulation, cellular ion homeostasis, and membrane trafficking. *Environmental and Experimental Botany*, 208, 105252. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4254383>
- Thabet, S.G., Moursi, Y.S., Sallam, A., Karam, M.A. and Alqudah, A.M., 2021. Genetic associations uncover candidate SNP markers and genes associated with salt tolerance during seedling developmental phase in barley. *Environmental and Experimental Botany*, 188, 104499. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104499>
- Verma, R.S.P., 2019. Barley: global challenges and perspectives under non-tropical dry areas. *Wheat and Barley Research*, 10(3), pp.123–137. <https://doi.org/10.25174/2249-4065/2018/85893>
- Yang, B., Lee, C., Xiang, W., Xie, J., He, J.H., Kotlanka, R.K., Low, S.P. and Feng, H., 2009. Electromagnetic energy harvesting from vibrations of multiple frequencies. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 19(3), 035001. <https://doi.org/10.1088/0960-1317/19/3/035001>
- Zeeshan, M., Lu, M., Sehar, S., Holford, P. and Wu, F., 2020. Comparison of biochemical, anatomical, morphological, and physiological responses to salinity stress in wheat and barley genotypes deferring in salinity tolerance. *Agronomy*, 10(1), 127. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010127>
- Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J-K. and Shabala, S., 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *The Innovation*, 1(1), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
- Zhu, M., Shabala, L., Cuin, T.A., Huang, X., Zhou, M., Munns, R. and Shabala, S., 2016. Na⁺/H⁺ exchanger expression and activity in wheat. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), pp.835-844. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv493>