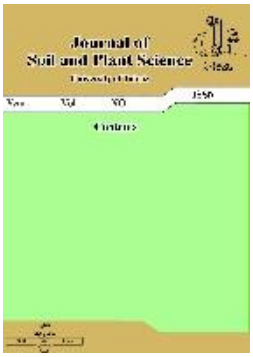
J Soil Plant Sci, 2025, 35(4): 23-39.

https://doi.org/10.22034/sps.2025.69805.1022

Journal of Soil and Plant Science

E-ISSN: 3092-6106
https://sps.tabrizu.ac.ir



Research Article

Determining the Salinity Tolerance Threshold of Sardari Wheat in Rainfed Lands of Semi-Arid Region in Zanjan Province

Ali Reza Vaezi[1]✉, Fatemeh Babaei[2], Hadiseh Safiloo[3]

1- Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
E-mail: vaezi.alireza@gmail.com or vaezi.alireza@znu.ac.ir
2-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
E-mail: fbabaei_a@yahoo.com
3-Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
E-mail: hadissafiloo143@gmail.com

Received: October 22, 2025	**Revised:** December 06, 2025
Accepted: December 19, 2025	**Published:** December 19, 2025

Extended Abstract

Background and Objectives

Soil salinity is one of the most important factors influencing agricultural crops growth and yield including wheat (*Triticum aestivum* L.). It is a global issue threatening land productivity. Some soil properties and crop yield can be affected by soil salinity. Soil water potential decreases under soil salinity conditions and decreases water uptake at various growth stages especially during germination and greening stages. Soil moisture is the most important factor influencing growth and development of agricultural crops. Water scarcity is a major factor limiting agriculture development especially under rainfed condition. Plant root availability to soil water can be affected by soil salinity. Some human activities such as fertilization affects root water uptake and in consequence plant growth. In most studies, saline soils commonly referred to as soils with electrical conductivity (EC) more than 4 dS/m in saturated soil extracts. In other word, EC = 4 dS/m is a threshold for salinity in most irrigated crops. Despite there are various studies on the salinity tolerance threshold in agricultural crops, a little information is on this subject under natural soil salinity condition in rainfed lands. Therefore, this study was conducted to determine the salinity threshold tolerance of winter wheat in rainfed lands of semi-arid regions.

Materials and Methods

This study was performed in rainfed lands of Zanjan province in North West of Iran. Toward this, 84 rainfed lands with slope ranging from zero to 2% were considered in the studied area. The grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sardari along with soil physicochemical properties were measured in each rainfed field at three replications. Relative wheat grain yield was computed using the proportion of wheat grain yield from each rainfed land and the maximum wheat grain yield among the rainfed lands. The correlation analysis was used to determine the relation between the relative wheat grain yield and soil physicochemical properties and the minimum statistically level was defined as 95%. The linear function of Mass and Hoffman (1977) was used for describing the linear relationship between the relative wheat grain yield and soil salinity. The salinity threshold tolerance for winter wheat was determined using the considerable relative grain yield loss at the lowest soil salinity.

Results
Results indicated that higher variation is in wheat grain yield in the rainfed fields, so that it was ranged from 356 kg per hectare to 1799 kg per hectare. Differences in soil properties is the major factor causing differences wheat grain yield in the area. The relative wheat grain yield was between 0.2 and 1 in the rainfed fields. The analysis of correlation matrix between the relative wheat grain yield and soil properties revealed that except to soil salinity, there was not any direct dependency between the relative wheat grain yield and other soil properties. The relative wheat grain yield was significantly affected by soil salinity, EC ($r = -0.25$, $p < 0.05$). The rainfed fields with higher soil salinity degree had lower relative wheat grain yield in the area. Soil salinity in the rainfed fields varies from 0.44 to 3.38 dS/m. Soil salinity of 2.08 dS/m was the salinity tolerance threshold of winter wheat plant in the rainfed lands.

Conclusion
This study indicated that soil salinity was the major factor controlling wheat grain yield in the rainfed fields. The soil salinity increases water osmotic pressure and decreases soil water potential as well as the root availability to soil water in the rainfed lands. There were not natural factors causing salinity in the soils and the soil salinity in the rainfed lands was strongly affected by the human activities. Therefore, the use of conservation tillage systems and the lower use of chemical fertilizers are the effective methods to water conservation and prevent negative effects of salinity in the rainfed lands.

Keywords: Electrical conductivity, Relative crop yield, Slope, Soil properties, Susceptibility to salinity.

Author Contributions
Conceptualization, A.V. and F.B.; methodology, A.V. and F.B.; software, A.V. and H.S.; validation, A.V. and H.S.; formal analysis, A.V. and H.S.; investigation, A.V. and F.B.; resources, A.V. and F.B.; data curation, A.V. and H.S.; writing-original draft preparation, A.V. and H.S.; writing–review and editing, A.V.; visualization, A.V.; supervision, A.V..; project administration, A.V.; funding acquisition, A.V. and F.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Acknowledgements
This paper is published as a part of a PhD thesis supported by the Soil Science and Engineering Department of the University of Zanjan, Iran. The authors are thankful to the University of Zanjan for financial supports.

Data Availability Statement
Data is available on reasonable request from the authors.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

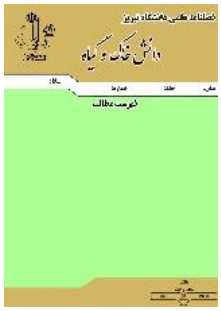
Cite this article: Vaezi, A.R., Babaei, F. & Safiloo, H. (2025). Determining the salinity tolerance threshold of Sardari wheat in rainfed lands of semi-arid region in Zanjan province. *Journal of Soil and Plant Science*, 35(4), 23-39.
https://doi.org/10.22034/sps.2025.69805.1022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Copyright © 2025 The Authors.

Publisher: The University of Tabriz

OPEN ACCESS JOURNALS



نشریه دانش خاک و گیاه، جلد ۳۵، شماره ۴

صفحه‌های ۲۳ تا ۳۹، زمستان ۱۴۰۴

https://doi.org/10.22034/sps.2025.69805.1022

E-ISSN: 3092-6106

https://sps.tabrizu.ac.ir

مقاله پژوهشی

تعیین آستانه تحمل به شوری گندم رقم سرداری در دیمزارهای با اقلیم نیمه‌خشک در استان زنجان

علی‌رضا واعظی[1]✉، فاطمه بابایی[2] و حدیثه صفی‌لو[3]

۱-نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

رایانامه: vaezi.alireza@znu.ac.ir or vaezi.alireza@gmail.com

۲-گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: fbabaei_a@yahoo.com

۳-گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: hadissafiloo143@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۳۰	**تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۴/۰۹/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸	**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۹/۲۸

چکیده

با وجود آنکه بررسی‌های متنوعی در مورد تعیین آستانه تحمل به شوری گیاهان زراعی انجام شده‌است اما اطلاعات بسیار کمی در مورد گندم دیم در شرایط طبیعی شوری خاک وجود دارد. از این رو، این پژوهش برای تعیین آستانه تحمل به شوری گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) پاییزی رقم سرداری در دیمزارهای با اقلیم نیمه‌خشک در استان زنجان انجام شد. برای این کار، ۸۴ کشتزار گندم دیم در اراضی با شیب صفر تا ۲ درصد به‌دلیل عدم‌امکان تولید رواناب در سراسر پهنه استان زنجان انتخاب شدند. سپس محصول دانه گندم و ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک در هر کشتزار تعیین شدند. محصول نسبی گندم از نسبت محصول دانه گندم در هر کشتزار به بیشترین محصول دانه گندم در کشتزارهای مورد بررسی محاسبه شد. نتایج نشان داد که محصول نسبی گندم در کشتزارهای منطقه از ۰/۲۰ تا ۱ تغییر کرد و میانگین آن ۰/۵۷ بود. بررسی ماتریس همبستگی میان محصول نسبی گندم و ویژگی‌های خاک نشان داد که به استثنای شوری خاک ($r = -0/25$ $p < 0/05$)، سایر ویژگی‌های خاک رابطه معناداری با محصول نسبی گندم نداشتند. شوری خاک مهمترین عامل محدود کننده محصول دانه گندم در کشتزارهای دیم استان زنجان بود. اگرچه در محدوده شوری خاک بین ۰/۴۴ و ۱/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغییرات زیادی در محصول نسبی گندم وجود داشت لیکن از الگوی مشخصی پیروی نکرد. تحلیل رابطه میان محصول نسبی و شوری خاک با استفاده از تابع توصیفی Maas & Hoffman نشان داد که مقدار ۲/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر عصاره اشباع خاک به عنوان حد آستانه تحمل شوری گندم دیم در منطقه موردِ مطالعه بود. یافته‌های این پژوهش نشان داد که حد آستانه تحمل به شوری گندم دیم کمتر از حد گزارش شده برای بسیاری از گیاهان (۴ دسی‌زیمنس بر متر) بود و بر این اساس می‌توان کشتزارهای گندم دیم حساس به شوری خاک را در منطقه شناسایی کرد.

واژه‌های کلیدی: حساسیت به شوری، شیب، قابلیت هدایت الکتریکی، محصول نسبی، ویژگی‌های خاک.

استناد به این مقاله: واعظی، ع.ر.، بابایی، ف. و صفی‌لو ح. (۱۴۰۴). تعیین آستانه تحمل به شوری گندم رقم سرداری در دیمزارهای با اقلیم نیمه‌خشک در استان زنجان. *نشریه دانش خاک و گیاه*، ۳۵(۴)، ۳۹-۲۳.

https://doi.org/10.22034/sps.2025.69805.1022

مقدمه

شوری خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی و غیرزیستی، موجب کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود و تهدیدی جدی برای تولید محصولات کشاورزی در سطح جهانی به شمار می‌رود. کاهش شدید تولید محصول و کیفیت آن در مناطقی که با شوری مواجه هستند، به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشاورزان و پژوهشگران تبدیل شده است (Fatahi *et al.*, 2025). میزان بیش از حد نمک بر ویژگی‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها اثر منفی می‌گذارد. تغییرات فیزیکی و شیمیایی ناشی از افزایش غلظت املاح در خاک بر فعالیت میکروب‌های خاک و گسترش ریشه گیاهان مؤثر است و در نهایت بر رشد و تولید محصول اثر می‌گذارد (Syed *et al.*, 2021). تأثیر شوری خاک بر رشد گیاه و تولید محصول به واسطه نقش آن در کاهش پتانسیل اسمزی آب، اثرهای ویژه یونی و برهم زدن تعادل عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک است (Homaei, 2002). این عامل بر فعالیت ریزجانداران خاک نیز اثر می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2019). به‌طور کلی، می‌توان گفت شوری مانع جذب آب، عدم‌تعادل یونی، عدم‌تعادل هورمونی شده، موجب کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی، رشد گیاه و عملکرد محصول می‌شود (Najafi & Sarhangzadeh, 2012; Saleh *et al.*, 2017; Hussein *et al.*, 2019).

مسئله شوری خاک در کره زمین از یک سو تحت تأثیر تغییرات اقلیمی است (Shahid *et al.*, 2018) و از سوی دیگر تحت تأثیر مدیریت نامطلوب انسان در خاک‌های کشاورزی مانند آبیاری با آب نامناسب و کوددهی است (Balasubramaniam *et al.*, 2023). شوری خاک یک مشکل گسترده روی کره زمین است به‌طوری که بیش از یک میلیارد هکتار در بیش از ۱۰۰ کشور جهان درگیر مسئله شوری خاک هستند (Singh *et al.*, 2022). طبق تخمین فائو[1]، بیش از ۶ درصد از زمین‌های جهان دچار شوری هستند (Parihar *et al.*, 2015). بر اساس گزارش‌ها تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد از کل زمین‌های کشاورزی تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرند (Kumar *et al.*, 2020). همچنین، شوری خاک یکی از حیاتی‌ترین تنش‌های غیرزیستی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کره زمین است (Hussain *et al.*, 2019; Smanov *et al.*, 2023). شوری خاک و آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب آسیا، آسیای مرکزی و شمال آفریقا در حال گسترش است و به‌شدت بر بهره‌وری کشاورزی اثرگذار شده است. برآوردها نشان می‌دهد که نزدیک ۵۰ درصد از زمین‌های تحت آبیاری در این مناطق شور شده‌اند (FAO, 1988).

گندم به عنوان محصول راهبردی نقش مهمی در امنیت غذایی و تغذیه‌ای دارد و افزایش سریع شوری خاک و آب، تهدیدی جدی برای تولید این محصول در سطح جهانی است. تنش شوری بر رشد و نمو گندم اثرهای منفی می‌گذارد و منجر به کاهش عملکرد و کیفیت دانه آن می‌شود (El Sabagh *et al.*, 2021). همچنین، بررسی‌ها نشان داد که افزایش شوری خاک با محدود کردن فعالیت ریزجانداران خاک باعث کاهش سرعت تجزیه کاه و کلش گندم می‌شود (Xie *et al.*, 2019). ارزیابی میزان تحمل گیاهان در برابر شوری، موضوعی مهم در مدیریت اثرهای زیانبار شوری بر عملکرد محصولات کشاورزی است. تحمل به شوری محصول عموماً به عنوان پاسخ محصول نسبی به میزان افزایش شوری ناحیه ریشه ارزیابی می‌شود. شوری ناحیه ریشه بر مبنای قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (EC_e) یا آب آبیاری (EC_w) بیان می‌شود (Maggio *et al.*, 2007).

یکی از معیارهای پرکاربرد برای سنجش مقاومت گیاهان به شوری، تعیین آستانه تحمل گیاه به شوری است. این مفهوم، بیشترین درجه شوری خاک است که باعث افت قابل‌ملاحظه عملکرد محصول نمی‌شود. در گزارش‌هایی که در مورد اثر شوری بر رشد و عملکرد محصولات انجام گرفته است، قابلیت هدایت الکتریکی ۴

[1]-Food and Agriculture Organization of the United Nations

دسی‌زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک را به عنوان آستانه تحمل به شوری بیان کرده‌اند و این در شرایطی است که قابلیت هدایت الکتریکی ۲ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان محدوده شوری جزئی در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس خاک‌های با قابلیت هدایت الکتریکی بالاتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان خاک‌های شور طبقه-بندی می‌شوند (FAO, 1988). با وجود آنکه پژوهش‌های زیادی در مورد اثرهای شوری بر رشد گیاهان انجام گرفته است اما بررسی‌ها در مورد تعیین آستانه تحمل به شوری کمتر است. در بیشتر موارد، اثرهای سطوح مختلف شوری آب آبیاری بر افت عملکرد محصول بررسی و با استفاده از توابع ریاضی، آستانه تحمل شوری برای کاهش عملکرد تعیین شده است (Maas and Hoffman, 1977).

نتایج چنین بررسی‌ها در شرایط گلخانه‌ای نشان داده است که شوری آستانه آب آبیاری بسته به نوع رقم ذرت و مرحله رشد آن متفاوت بود (Mass *et al.*, 1983). افزایش شوری و عمق کاشت بر مؤلفه‌های رشد گیاهچه تأثیر منفی دارد و زمانی که این دو عامل هم زمان اثر بگذارند تأثیر نامطلوب آن‌ها بیشتر می‌شود (Ghorbani *et al.*, 2008). بررسی‌ها نشان داد که افزایش سطح شوری در ارقام مختلف گندم باعث کاهش سطح فعال برگ، طول ساقه و مقدار کل ماده خشک می‌شود (Yadlarlou *et al.*, 2008). چگونگی استقرار دانه در مراحل اولیه رشد گیاهان زراعی بر میزان تحمل بر شوری اثر می‌گذارد (Khayatnezhad *et al.*, 2010). تحمل بر شوری در گونه‌های مختلف گیاه متفاوت است. بررسی‌ها در ۱۱ رقم گندم نان در شرایط آزمایشگاهی تحت تأثیر سطوح مختلف شوری (۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نمک NaCl) نشان داد که افزایش غلظت شوری به‌تدریج درصد جوانه‌زنی و صفات گیاهچه را کاهش داد (Kandil *et al.*, 2012).

بررسی‌ها بر روی درجه تحمل به شوری در ارقام گندم بهاره نشان داد که شوری باعث افزایش معنادار غلظت سدیم و پرولین و کاهش معنادار بقیه صفات رویشی گندم می‌شود (Azadi *et al.*, 2013). پژوهش‌های مزرعه‌ای برای تعیین آستانه تحمل به شوری چهار رقم گندم نان (کویر، روشن، مرودشت و ماهوتی) با آبیاری با آب شور (در سطوح ۲، ۵، ۸، ۱۱، ۱۴ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) نشان داد که آستانه تحمل به شوری ارقام کویر، روشن، ماهوتی و مرودشت به‌ترتیب ۵، ۴/۵۸، ۳/۳۴ و ۵/۶۷ دسی‌زیمنس بر متر بود (Ranjbar and Banakar, 2015). شبیه‌سازی عملکرد و تعیین حد آستانه مقاومت به شوری دو گیاه گندم و جو در دشت گرمسار نشان داد که آستانه تحمل به شوری برای این دو گیاه به‌ترتیب ۵/۸ و ۳/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر بود (Talesh *et al.*, 2017). نتایج تحقیقات نشان داد که افزایش تدریجی تنش‌های شوری، اثر کاهشی بر متغیرهای رشد گندم داشت (Khan *et al.*, 2017). نوع خاک نیز در تحمل گیاه به شوری اثر می‌گذارد. یافته‌ها نشان داد که عدم کاهش عملکرد برای ذرت و سویا در خاک لوم رسی سیلتی نشان‌دهنده کاهش اثر تنش شوری در بافت‌های ریزتر است. علاوه بر این، ترکیب یون‌ها در محلول خاک نیز ممکن است در پاسخ محصول به شوری نقش داشته باشد (Butcher *et al.*, 2018).

پژوهشگران تحمل به شوری گونه‌های گندم را تحت آبیاری با آب چاه با شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر بررسی و مشاهده کردند که افزایش شوری خاک بر تعداد دانه در سنبله و وزن دانه و در نتیجه عملکرد گندم پاییزی اثر منفی می‌گذارد (Nekir *et al.*, 2019). بررسی‌های مزرعه‌ای برای مقایسه تحمل به شوری لاین‌های امیدبخش گندم در پنج سطح شوری آب آبیاری (۲، ۵، ۸، ۱۱ و ۱۴) نشان داد که تنش شوری با کاهش معنادار ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه همراه است و آستانه تحمل به شوری برای ژنوتیپ‌های مختلف از ۴/۲۰ تا ۷/۴۱ دسی‌زیمنس بر متر تغییر می‌کند (Shiran Tafti *et al.*, 2019). در برخی پژوهش‌ها به اثرهای شوری ناشی از آب زیرزمینی بر عملکرد گندم پرداخته شد و نتایج نشان داد که

نزدیکی آب زیرزمینی به سطح خاک (کمتر از ۸۰ سانتی‌متر)، موجب تشدید اثرهای شوری خاک و افت شدید عملکرد گندم شد (Kiremit *et al.*, 2023). راهکارهایی محدود برای مقابله با تنش شوری خاک در زمین‌های کشاورزی وجود دارد که از این میان می‌توان اصلاح خاک و انتخاب گونه‌های مقاوم گیاهی را نام برد. نخستین گام در این مسیر تعیین میزان تحمل گیاهان به شوری و در نتیجه انتخاب ارقام مقاوم به شوری برای دستیابی به عملکرد مطلوب است (Chaparzadeh *et al.*, 2011).

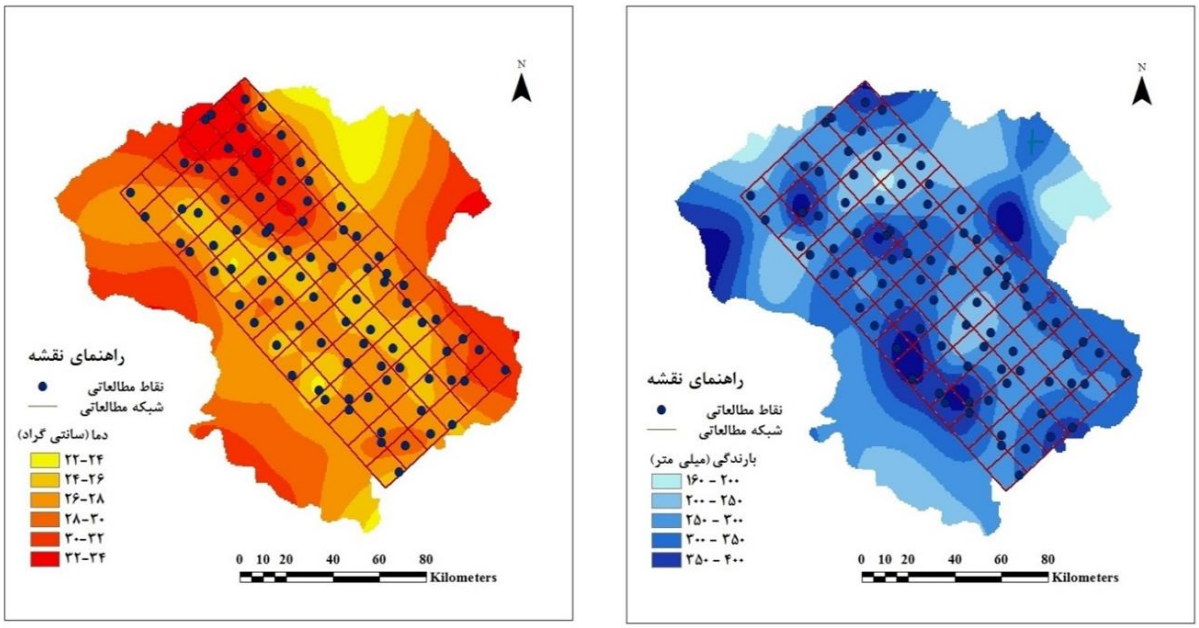
با توجه به شرایط بارندگی در کشور و مدیریت نامطلوب در زمین‌های کشاورزی، بخش زیادی از خاک‌ها در معرض شوری قرار دارند. برآوردها نشان می‌دهد حدود ۲۷ میلیون هکتار از اراضی کشور با مسئله شوری و سدیمی بودن روبرو هستند (Rezvani Moghaddam and Koocheki, 2001). حدود ۲۵ درصد از اراضی کشاورزی در ایران در منطقه نیمه‌خشک قرار دارند (Khalili *et al.*, 2005). گندم مهمترین محصول زراعی تحت کشت در این نواحی اقلیمی است. حدود چهار هزار هکتار از کشت گندم در این نواحی در شرایط دیم انجام می‌شود. با توجه به کمبود بارندگی و در نتیجه کاهش مقدار آب خاک، اثرهای منفی شوری به‌ویژه در دوره‌های خشک‌سالی در افت عملکرد محصول قابل‌توجه است. اطلاعات کافی در مورد اثرهای شوری بر عملکرد گندم در کشتزارهای دیم این مناطق وجود ندارد. از این رو، هدف از این مطالعه تعیین آستانه تحمل به شوری خاک در گندم دیم در کشتزارهای منطقه نیمه‌خشک استان زنجان بود.

مواد و روش‌ها

کشتزارهای گندم دیم مورد بررسی

این پژوهش در کشتزارهای دیم گندم در استان زنجان که یکی از نواحی تحت کشت دیم گندم در شمال غرب ایران است، انجام شد. مساحت کشتزارهای دیم گندم در این منطقه حدود ۳۱۰ هزار هکتار و سرداری رقم غالب تحت کشت در آن‌ها است. مقدار عملکرد دانه گندم (رقم سرداری) در این کشتزارها از یک تن بر هکتار تا دو تن بر هکتار تغییر می‌کند و میانگین آن بر اساس گزارش Nazari *et al.* (2024) برابر ۱/۲۳ تن بر هکتار است. متوسط بارندگی و میانگین درجه حرارت سالانه منطقه به‌ترتیب ۳۲۳ میلی‌متر و ۱۰/۹ درجه سلسیوس و دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. مقدار عملکرد سالانه در منطقه به شدت به تغییرات بارندگی و درجه حرارت وابسته است. در دوره‌های ترسالی، به‌دلیل کاهش محدودیت کم‌آبی (کاهش تنش خشکی) و پیامدهای منفی آن از نظر شوری آب خاک، مقدار محصول دانه گندم در برخی کشتزارها به دو تن بر هکتار می‌رسد. در سطح استان زنجان، منطقه‌ای به مساحت ۱۲۰۹۶ کیلومتر مربع با ابعاد ۷۲ کیلومتر در ۱۶۸ (از شمال غرب تا جنوب شرق) که دربرگیرنده بخش غالب کشتزارهای استان است، درنظر گرفته شد. بر اساس شیوه نمونه‌برداری منظم، منطقه مورد بررسی به ۸۴ شبکه مربعی به ابعاد ۱۲ کیلومتر در ۱۲ کیلومتر جدا شد. از آنجا که پستی و بلندی زمین در کنار ویژگی‌های خاک عاملی مهم در رشد و عملکرد گندم در کشتزارهای دیم است، با بازدید صحرایی از هر شبکه، کشتزارهایی که از شیب اندکی (صفر تا ۲ درصد) برخوردار بوده و تحت کشت گندم قرار داشتند، انتخاب شدند. در این محدوده از شیب، احتمال تولید رواناب در کشتزارها محدود است و بخش غالب آن در خاک نفوذ می‌یابد. همچنین، برای رفع نقش سابقه کشت بر رشد گیاه، کشتزارهایی در یک سال پیش تحت آیش بودند، مد نظر قرار گرفتند. با توجه به نقش مهم بارندگی در فراهمی آب در کشتزارهای دیم، نقشه بارندگی منطقه تهیه شد و در هر شبکه تلاش شد کشتزارهایی که در محدوده بارندگی ۳۰۰ میلی‌متر (با دامنه تغییرات

۱۰ درصد) بودند، انتخاب شدند. بدین ترتیب از میان کشتزارهای دیم متنوع در استان زنجان، ۸۴ کشتزار تحت کشت دیم گندم انتخاب شدند. مختصات جغرافیایی هر کشتزار با سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شدند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت شبکه‌های مورد بررسی و تغییرات بارندگی در استان زنجان.

تعیین محصول نسبی گندم در کشتزارها

در اواسط تیرماه همزمان با رسیدن محصول در کشتزارهای دیم منطقه، به کشتزارهای مورد بررسی مراجعه شد و در هر کشتزار دیم، سه مکان (بالادست، میان‌دست و پایین‌دست شیب) برای نمونه‌برداری گیاه به‌طور تصادفی انتخاب شدند. برای نمونه‌برداری گیاه از یک پلات چوبی ۱ متر× ۱ متر (McClellan *et al.*, 2012) استفاده شد و پس از شمارش تعداد بوته‌ها در واحد سطح (یک مترمربع)، تمام خوشه‌های گندم موجود در پلات برداشت شد. سپس بوته‌های گندم برداشت شده به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از ۲۴ ساعت خشک شدن در دمای اتاق، وزن آن اندازه‌گیری شد، سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سلسیوس در آون قرار گرفت و وزن خشک آن‌ها به‌دست آمد. محصول نسبی گندم از نسبت محصول دانه در هر کشتزار به بالاترین مقدار محصول دانه در کشتزارهای مورد بررسی محاسبه شد.

نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های خاک کشتزارهای موردِ مطالعه

با مراجعه به کشتزارها، سه نمونه خاک از پیرامون هر پلات به صورت دست‌نخورده با استفاده از سیلندر فلزی با قطر ۴/۸۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۵/۲۶ سانتی‌متر از خاک سطحی تهیه شد. در مجموع ۲۵۲ نمونه خاک دست‌نخورده برداشته شد و جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها، از نسبت جرم خاک آون خشک به حجم سیلندر به دست آمد. رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای یا FC به روش مزرعه‌ای با غرق آب کردن کرت و اندازه‌گیری رطوبت جرمی خاک سطحی پس از خروج آب ثقلی تعیین شد. برای اطمینان از خروج آب ثقلی، تغییرات رطوبت خاک در فواصل زمانی مختلف تعیین شد و هنگامی که تغییرات اساسی در رطوبت خاک وجود نداشت نشان داد که آب

ثقلی از منطقه ریشه خارج شده است. همچنین، ۲۵۲ نمونه خاک دست‌خورده با استفاده از بیلچه از نقاط مذکور از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر (Ghol Moghadam *et al.*, 2024) تهیه شد. نمونه‌ها در سایه قرار گرفته و خشک شدند و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شدند. در خاک نرم، توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری، رطوبت اشباع در نمونه گل اشباع از نسبت جرم آب به جرم خاک خشک به دست آمد. رطوبت نقطه پژمردگی دائم[۱] (PWP) با استفاده از دستگاه غشای فشاری با اعمال مکش ۱۵ بار، از تفاوت رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم، مقدار آب قابل‌دسترس[۲] (AWC) حساب شد.

برای اندازه‌گیری pH خاک ابتدا گل اشباع تهیه شد. سپس با استفاده از دستگاه pHمتر، pH خاک‌ها قرائت گردید. درجه شوری خاک یا EC خاک در عصاره گل اشباع با استفاده از دستگاه ECسنج به دست آمد. درصد ماده آلی خاک با روش اکسایش تر اندازه‌گیری شد (Nelson *et al.*, 1982). مقدار کلسیم کربنات معادل خاک[۳] (CCE) به روش تیتر کردن با هیدروکلریک اسید نرمال و خنثی‌سازی با سود (Richards, 1954) تعیین شد. ظرفیت تبادل کاتیونی[۴] (CEC) با استفاده از روش سدیم استات یک نرمال (pH = 8.2) به دست آمد (Chapman, 1965). با اندازه‌گیری سدیم قابل‌تبادل خاک به‌وسیله دستگاه فلیم فتومتر در عصاره به دست آمده با آمونیوم استات یک نرمال و اندازه‌گیری غلظت کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری، نسبت جذب سدیم[۵] یا SAR از نسبت غلظت کاتیون سدیم به ریشه میانگین مربعات غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم تعیین شد (Sparks *et al.*, 2020).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای توصیف مقادیر محصول دانه گندم، محصول نسبی و ویژگی‌های خاک آماره‌های توصیفی شامل کمترین، بیشترین، میانگین و ضریب تغییرات تعیین شدند. برای بررسی نرمال بودن یا نبودن توزیع آماری داده‌ها از آماره‌های چولگی[۶] و کشیدگی[۷] استفاده شد. برای تعیین ارتباط بین محصول دانه گندم و هر یک از ویژگی‌های خاک از از شیوه ماتریس همبستگی استفاده شد. برای تعیین آستانه تحمل به شوری گندم، تابعی پیوسته از محصول نسبی در برابر شوری خاک به دست آمد. در این ارتباط سعی شد روش پیشنهادی Mass & Hoffman (1977) استفاده شود (Homaei, 2002). برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

محصول نسبی گندم و ویژگی‌های خاک

محصول دانه گندم دیم از۳۵۸/۶ تا ۱۷۹۸/۶ کیلوگرم بر هکتار در کشتزارها تغییر می‌کند و به‌طور میانگین ۱۰۳۱/۵ کیلوگرم بر هکتار بوده و ضریب تغییرات آن ۳۰/۳ درصد بود. محصول نسبی گندم نیز بین ۰/۲۰ و ۱ و میانگین آن ۰/۵۷ بود. این تغییرات بیانگر تغییرپذیری نسبتاً متوسط عملکرد گندم در کشتزارها بود. خاک‌ها

[1]-Permanent wilting point
[2]-Available water content
[3]-Calcium carbonate equivalent
[4]-Cation exchange capacity
[5]-Sodium adsorption ratio
[6]-Skewness
[7]-Kurtosis

نسبتاً ریزبافت (لوم رسی)، pH خنثی تا کمی قلیایی (۷/۶۸)، با ماده آلی کم (۰/۸۲ درصد) (فائو، ۲۰۰۶) و آهکی (حدود ۱۹/۶۷ درصد کلسیم کربنات معادل) بودند. ظرفیت تبادل کاتیونی متوسط (۱۷/۵۵) بود. شوری خاک کشتزارها از ۰/۴۴ تا ۳/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر تغییر کرد و میانگین آن ۱/۲۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. کلرید و سدیم دو یون غالب در عصاره اشباع خاک بودند. بررسی ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک کشتزارها نشان داد که نقطه پژمردگی دائم (PWP) کمترین مقدار تغییر را میان خاک کشتزارها داشت، در حالی که نسبت جذب سدیم (SAR) بیشترین تغییرپذیری (حدود ۹۱ درصد) را بین خاک کشتزارها نشان داد (جدول ۱). بر اساس مقادیر شوری و SAR، خاک کشتزارها از نوع غیرشور و غیرسدیمی بودند. بررسی آماره‌های چولگی و کشیدگی محصول دانه گندم و ویژگی‌های خاک نیز نشان داد که محصول دانه گندم و برخی از ویژگی‌های خاک شامل فراوانی شن، رس، سنگریزه، نقطه پژمردگی دائم، آب قابل‌دسترس، pH، ماده آلی، کلسیم کربنات معادل و ظرفیت تبادل کاتیونی از توزیع آماری نرمال برخوردار بودند در حالی که درصد سیلت، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، شوری و نسبت جذب سدیم دارای توزیع غیرنرمال بودند. توزیع آماری این ویژگی‌های خاک با استفاده از توابع لگاریتم و توانی به صورت نرمال درآمد.

جدول ۱- توصیف آماری محصول دانه گندم، محصول نسبی و ویژگی‌های خاک در کشتزارهای دیم گندم استان زنجان.

متغیر	کمترین	بیشترین	میانگین	ضریب تغییرات (٪)	کشیدگی	چولگی
Grain yield (kg/ha)	۳۵۸/۶۰	۱۷۹۸/۵۶	۱۰۳۱/۴۵	۳۰/۲۷	-۰/۵۷	۰/۰۱
Relative grain yield	۰/۲۰	۱/۰۰	۰/۵۷	۳۰/۲۶	-۰/۵۷	۰/۰۱
Sand (%)	۱/۴۴	۶۸/۶۸	۳۲/۸۵	۴۴/۹۷	-۰/۱۶	۰/۲۹
Silt (%)	۸/۲۷	۵۹/۴۰	۲۳/۸۷	۴۷/۸۴	۰/۲۱	۰/۹۳
Clay (%)	۱۵/۲۰	۷۳/۱۶	۴۳/۳۱	۳۵/۴۶	-۰/۸۴	۰/۱۲
MWD (mm)	۰/۰۰	۴/۵۵	۲/۵۷	۲۸/۱۳	۳/۳۱	-۰/۳۲
BD (g/cm^3)	۱/۳۱	۱/۷۹	۱/۴۰	۸/۳۳	۰/۹۷	۱/۴۴
PWP (cm^3/cm^3)	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۱۹	۲۶/۸۹	-۰/۴۸	۰/۴۷
FC (cm^3/cm^3)	۰/۲۲	۰/۸۰	۰/۳۴	۲۱/۰۷	۱۶/۷۸	۲/۵۱
AWC (cm^3/cm^3)	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۱۵	۲۵/۲۸	-۰/۶۵	۰/۰۵
EC (dS/m)	۰/۴۴	۳/۳۸	۱/۲۱	۷۰/۳۸	-۰/۱۱	۱/۳۲
pH	۷/۳۹	۷/۸۷	۷/۶۸	۱/۲۱	۰/۱۴	-۰/۳۱
OM (%)	۰/۶۱	۱/۲۹	۰/۸۲	۳۹/۸۳	۰/۴۲	۰/۴۸
CCE (%)	۴/۵۳	۳۲/۱۴	۱۷/۷۶	۳۵/۱۵	-۰/۵۰	۰/۲۱
CEC (meq/100g)	۶/۹۳	۲۸/۹۷	۱۷/۵۵	۲۹/۱۹	-۰/۵۵	۰/۰۳
SAR $(meq/L)^{0.5}$	۰/۰۸	۶/۲۴	۱/۱۹	۹۰/۸۵	۹/۸۴	۲/۸۳

BD:جرم مخصوص ظاهری، PWP: نقطه پژمردگی دائم، FC: رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، AWC: آب قابل‌دسترس، EC: قابلیت هدایت الکتریکی، OM: ماده آلی خاک، CCE: کلسیم کربنات معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، SAR: نسبت جذب سدیم.

نقش ویژگی‌های خاک در محصول نسبی گندم

جدول ۲ ضرایب همبستگی پیرسون میان محصول نسبی گندم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزارها را نشان می‌دهد. نتایج نشان دادند که همبستگی معناداری میان محصول نسبی گندم و بسیاری از ویژگی‌های خاک وجود نداشت و تنها محصول دانه گندم دیم با مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC) دارای همبستگی معنادار ($p<۰/۰۵$ ،$r=-۰/۲۳$) بود. اگرچه در برخی پژوهش‌ها به نقش ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک در عملکرد گندم اشاره شده است (Gozdowski *et al.*, 2017; Mirkhani *et al.*, 2020)، برهمکنش این عوامل در کشتزارهای مورد بررسی موجب شده است اثرهای مستقیم آن‌ها در محصول نسبی گندم معنادار نشود. همچنین نبود ارتباط معنادار بین محصول نسبی و ویژگی‌های مختلف خاک می‌تواند به این دلیل باشد که ارتباط بین محصول نسبی گندم و ویژگی‌های خاک از نوع غیرخطی است. نکته دیگر آن که ممکن است سایر عوامل ناشناخته نیز در مقدار محصول نسبی گندم در کشتزارهای منطقه مؤثر بودند اما در این مطالعه امکان بررسی آن‌ها فراهم نشد. به هر حال، نتایج اثر کاهشی شوری خاک بر عملکرد گندم در کشتزارهای دیم را نشان داد. این موضوع به نقش منفی شوری خاک در پتانسیل آب خاک و در نتیجه فراهمی آب برای ریشه گندم در شرایط دیم اشاره دارد. نتایج بررسی‌های پژوهشگران روی محصول دانه گندم در شرایط تنش شوری نشان داد که، سطوح شوری کمتر از ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر تأثیر منفی بر رشد گیاهچه گندم نداشت، در حالی که افزایش سطوح شوری به بیش از ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌طور قابل توجهی تمام ویژگی‌های رشد را کاهش داد (Ragab *et al.*, 2021). همچنین، نتایج مؤید این است که همبستگی مثبتی میان درجه شوری خاک و درصد رس ($p<۰/۰۵$ ،$r=۰/۲۲$) وجود داشت. به عبارت دیگر، خاک‌هایی که حاوی ذرات رس بیشتری بودند، از درجه شوری بالاتری هم برخوردار بودند. این موضوع به‌دلیل نقش رس در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و حفظ ذخایر کاتیونی در خاک است. پژوهش حاضر نشان داد که در کشتزارهای دارای شوری نسبتاً بالاتر، پتانسیل اسمزی خاک نقشی اساسی در کاهش رشد و نمو گیاه و افت عملکرد گندم داشت. کمبود آب در خاک در اغلب اوقات طی دوره رشد در کشتزارهای دیم وجود دارد. این موضوع از یک سو باعث افزایش مکش خاک و فشار اسمزی آب خاک می‌شود و در نتیجه افت هر دو جزء پتانسیل آب خاک (پتانسیل ماتریک و پتانسیل اسمزی) را به دنبال دارد. اهمیت این موضوع در کشتزارهای دیم طی دوره‌های خشکسالی دوچندان است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی در دوره خشکسالی به عنوان تنها ویژگی تعیین‌کننده خاک در محصول دانه گندم است و با افزایش درجه شوری خاک در شرایط خشکی، با وجود افزایش تهویه خاک و تنفس ریشه گندم (Mohammadi *et al.*, 2017)، عملکرد به شدت کاهش می‌یابد (McDonald, 2006). شوری عامل مهمی در ارزیابی وضعیت رطوبتی خاک و عملکرد گندم در شرایط آبیاری است. با افزایش سطوح شوری آب آبیاری، دقت مدل‌ها در پیش‌بینی رطوبت خاک بیشتر می‌شود (Soltani *et al.*, 2021). گزارش‌ها نشان می‌دهد که پیامدهای شوری خاک در مراحل مختلف رشد یکسان نیست. همچنین، نتایج پژوهشگران حاکی از این است که آبیاری با آب شور در شرایط گلخانه‌ای، تحمل به شوری در سورگوم در مراحل مختلف رشد یکسان نیست و بر خلاف مرحله بلوغ، بیشترین حساسیت به شوری در مرحله رشد رویشی گیاه است (Maas *et al.*,1986). با توجه به نقش منفی شوری در عملکرد گندم در کشتزارهای دیم مورد بررسی می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت شوری خاک می‌تواند در افزایش فراهمی آب برای ریشه و بهبود عملکرد گندم سودمند باشد. به کارگیری روش‌های خاکورزی حفاظتی برای افزایش ذخیره آب در خاک از یک سو و کاهش مصرف کودهای شیمیایی برای کاهش شوری، راه کارهایی برای مقابله با اثرهای منفی شوری در کشتزارهای دیم هستند.

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین محصول دانه گندم دیم، محصول نسبی و ویژگی‌های خاک در کشتزارهای دیم استان زنجان.

	Sand	Silt	Clay	MWD	BD	PWP	FC	AWC	pH	EC	OM	CCE	CEC	SAR	RWGY
Sand	۱														
Silt	-۰/۳۷**	۱													
Clay	-۰/۷۲**	-۰/۲۹**	۱												
MWD	-/۰۱۶	-۰/۰۹	۰/۹۳	۱											
BD	۰/۵۳**	۰/۲۱	-۰/۷۰**	-۰/۰۶	۱										
PWP	-۰/۶۶**	-۰/۲۵*	۰/۹۱**	۰/۱۱۱	-۰/۶۳**	۱									
FC	-۰/۵۳**	-۰/۱۴	۰/۶۵**	۰/۱۸	-۰/۶۶**	۰/۵۷**	۱								
AWC	۰/۲۷	۰/۰۲	-۰/۰۹	۰/۰۷	-۰/۳۲**	-۰/۳۰**	۰/۴۱**	۱							
pH	-۰/۵۰**	-۰/۲۰	-۰/۶۹**	۰/۱۱	-۰/۴۳**	۰/۶۸**	۰/۴۸**	-۰/۱۰	۱						
EC	-۰/۰۷	-۰/۱۸	۰/۲۲*	-۰/۱۱	-۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۰۱	-۰/۲۰	۰/۰۵	۱					
OM	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	-۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵	-۰/۱۷	-۰/۰۸	۱				
CCE	-۰/۵۶**	-/۲۶*	۰/۷۴**	۰/۱۳	-۰/۵۲**	۰/۶۹**	۰/۵۴**	-۰/۰۸	۰/۵۸**	۰/۱۸	۰/۰۵	۱			
CEC	-۰/۵۳**	-۰/۲۴*	۰/۶۸**	۰/۱۲	-۰/۴۸**	۰/۶۳**	۰/۵۰**	-۰/۰۷	۰/۵۰**	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۹۹**	۱		
SAR	۰/۷۲	-۰/۰۴	-۰/۳۹	-۰/۰۸	۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۱	۰/۰۷	-۰/۰۱	۰/۲۶*	-۰/۰۹	-۰/۹۲	-۰/۰۹	۱	
RWGY	-۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۵	۰/۰۴	-۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۲۵*	۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۰۴	-۰/۰۸	۱

BD:جرم مخصوص ظاهری، PWP: نقطه پژمردگی دائم، FC: رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، AWC: آب قابل‌دسترس، EC: هدایت الکتریکی، OM: ماده آلی خاک، CCE: کلسیم کربنات معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، SAR: نسبت جذب سدیم.

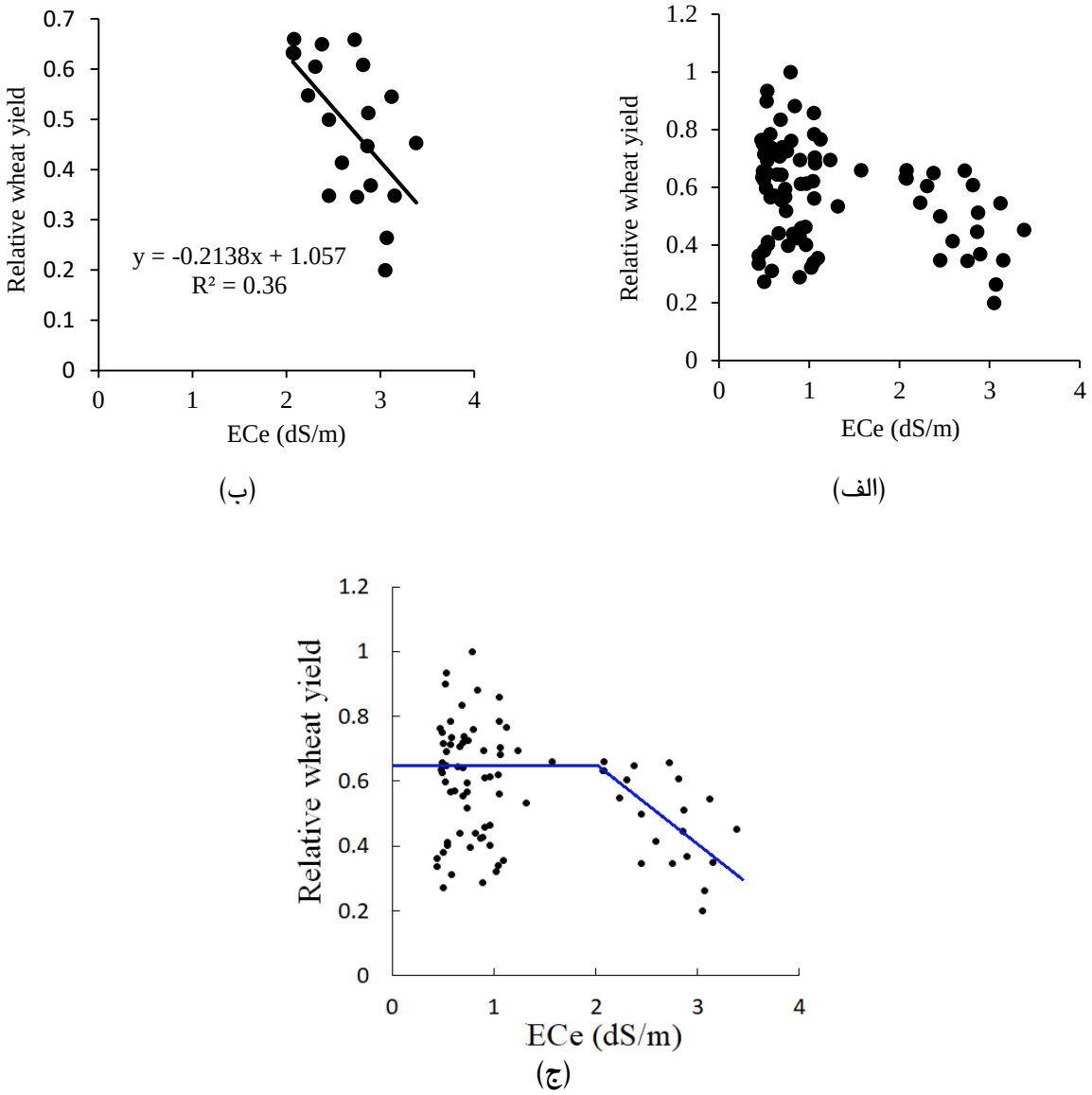
*معنادار در سطح احتمال ۵ درصد و ** معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

دانش خاک و گیاه Soil and Science Plant

آستانه تحمل به شوری گندم دیم

بررسی توزیع داده‌های محصول نسبی گندم و شوری خاک نشان داد که توزیع همگنی بین این دو متغیر وجود نداشت و می‌توان داده‌ها را به دو توزیع (داده‌های با شوری خاک بین ۰/۴۴ و ۱/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر و داده‌های با شوری بین ۲/۰۸ و ۳/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر) جدا کرد (شکل ۳-الف). در این صورت محصول نسبی به‌ترتیب از ۰/۲۷ تا ۱ و از ۰/۲۰ تا ۰/۶۶ متغیر بود. به‌طور کلی، این نتیجه نشان می‌دهد که تغییرات شوری خاک از ۰/۴۴ تا ۳/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر باعث تغییرات شدید در محصول نسبی گندم (از ۲۷ تا ۶۶ درصد) می‌شود. در محدوده شوری خاک بین ۰/۴۴ و ۱/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر، تغییرات زیادی در محصول نسبی گندم دیم رخ داد. با این وجود، روند افزایشی یا کاهشی در محصول نسبی وجود نداشت، در حالی که در محدوده شوری خاک بین ۲/۰۸ و ۳/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش درجه شوری خاک، محصول نسبی دچار کاهش شدیدی شد و یک تابع خطی را می‌توان برای این بخش از داده‌ها تعریف کرد (شکل ۳-ب) که بر اساس آن به ازای افزایش هر واحد در هدایت هیدرولیکی عصاره اشباع خاک، به اندازه ۰/۲۱ واحد (۲۱ درصد) از محصول نسبی دانه گندم کاسته می‌شود.

پژوهشگران بررسی گسترده‌ای را در زمینه آستانه تحمل به شوری با استفاده از داده‌های حاصل از مطالعه تیمارهای شوری بر عملکرد محصولات کشاورزی انجام دادند و بیان کردند که گیاهان، شوری را تا حد آستانه تحمل می‌کنند و بالاتر از آن، با افزایش شوری، عملکرد تقریباً به صورت خطی کاهش می‌یابد (Maas *et al.*, 1977). یافته‌های دیگر پژوهشگران نیز نشان می‌دهد که تغییرات محصول نسبی گوجه‌فرنگی در برابر شوری آب آبیاری به‌صورت دو ناحیه خطی متقاطع رخ می‌دهد که نخستین ناحیه، آستانه ویژه تحمل گیاه به شوری را مشخص می‌کند که در آن عملکرد شروع به کاهش می‌کند و دومین بخش، ناحیه کاهشی است که میزان کاهش عملکرد را بیان می‌کند (Maggio *et al.*, 2007). چنانچه از منطق این پژوهشگران برای تحلیل رابطه میان محصول نسبی گندم و شوری خاک در شرایط کشتزار استفاده شود، می‌توان آستانه تحمل به شوری گندم را استخراج کرد. نتایج نشان داد که این مقدار در محدوده ۲/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر است (شکل ۳-ج). این مقدار متفاوت از حد آستانه تحمل به شوری در برخی گیاهان است که در بررسی‌های حاصل از اعمال تیمارهای شوری در شرایط گلخانه‌ای به دست آمده است. به عنوان مثال پژوهشگران حساسیت ذرت به شوری را در مراحل مختلف رشد با استفاده از آبیاری با آب شور در شرایط گلخانه‌ای بررسی و مشاهده کردند که با افزایش شوری آب آبیاری، سبز شدن جوانه‌ها و رشد گیاهچه به تأخیر افتاد و آستانه شوری آب آبیاری برای جلوگیری از کاهش عملکرد ماده خشک، حدود ۵/۸ دسی‌زیمنس بر متر است (Mass *et al.*, 1983). تحمل به شوری شنبلیله در مراحل مختلف رشد متفاوت است، به‌طوری که شنبلیله در مرحله جوانه‌زنی بیشترین میزان تحمل به شوری را دارد. در مرحله رشد رویشی، تحمل به شوری شنبلیله کمتر شده به‌طوری که آستانه تحمل به شوری آن ۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (Banakar *et al.*, 2025). برای غربالگری ژنوتیپ‌های گندم از نظر مقاومت به شوری با استفاده از آبیاری با غلظت‌های مختلف نمک (۰، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) انجام شد که نشان می‌دهد که مشخصه‌های جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تأثیر معنادار شوری قرار دارند و با افزایش غلظت نمک، کاهش قابل‌توجهی در سرعت جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه، مقدار نسبی آب، ظرفیت نگهداری آب و شاخص بنیه برای اکثر گونه‌های گندم مشاهده شد (Hasan *et al.*, 2017). رشد و عملکرد مطلوب ارقام متحمل به شوری با کاهش نسبت K^+/Na^+، افزایش سطح پرولین و کاهش تنش اکسیداتیو مرتبط است(Siddiqui *et al.*, 2017). توانایی یک رقم گندم در انتقال مجدد کربوهیدرات‌های محلول یکی از صفات تعیین‌کننده تحمل به تنش شوری است (Reisi *et al.*, 2021). با توجه به بررسی‌های بالا می‌توان گفت که مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه حساس‌ترین مرحله به شوری در گندم است و آستانه تحمل ارقام مختلف به شوری به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های مختلف مانند آلفا-آمیلاز و تأثیر آن بر جذب آب در شرایط تنش شوری است (El-Hendawy *et al.*, 2019).



شکل ۳- رابطه بین محصول نسبی گندم و شوری خاک بر اساس داده‌های ۸۴ کشتزار (الف) و بر اساس داده‌های بخش دوم که شوری خاک اثر معنادار بر محصول نسبی داشته است (ب) و رابطه بین محصول نسبی گندم و شوری خاک بر اساس تابع توصیفی Mass & Hoffman (1977) (ج).

نتیجه‌گیری

بررسی رابطه میان محصول نسبی گندم و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در کشتزارهای دیم نشان داد که به غیر از شوری خاک سایر ویژگی‌های خاک نقشی مستقیم در محصول نسبی گندم در کشتزارهای دیم ایفا نمی‌کنند. بین محصول نسبی گندم و شوری خاک رابطه عکسی حاکم است که نشان می‌دهد در کشتزارهایی که درجه شوری خاک بالاتر است، محصول نسبی گندم پایین است. این نتیجه مؤید آن است که شوری با تأثیر بر پتانسیل اسمزی آب باعث افت انرژی آب و فراهمی آب برای گیاه می‌شود. با توجه به محدودیت آب در کشتزارهای دیم این تأثیر در زمان‌هایی که بارندگی کمتر است، بیشتر نمایان می‌شود. همچنین، در دوره‌های خشکسالی شوری خاک نقشی اساسی در افت محصول نسبی گندم در کشتزارهای دیم ایفا می‌کند. بررسی توزیع آماری داده‌های بین محصول نسبی گندم و شوری خاک نشان می‌دهد که داده‌های همگنی بین این دو وجود ندارد به‌طوری که داده‌ها از نظر شوری بر دو بخش (بین ۰/۴۴ و ۱/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر و بین ۲/۰۸ و ۳/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر)

قابل‌تفکیک هستند. رابطه خطی کاهشی میان محصول نسبی گندم و شوری بیشتر از ۲/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر وجود دارد و به این ترتیب می‌توان آستانه تحمل به شوری گندم را در کشتزارهای دیم ۲/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر بیان کرد. به‌کارگیری روش‌های حفاظت آب مانند خاکورزی حفاظتی و نیز مدیریت بهینه مصرف کودهای شیمیایی، راهکارهایی برای کاهش اثرهای منفی شوری بر محصول نسبی گندم در کشتزارهای دیم منطقه نیمه‌خشک هستند.

تقدیر و تشکر

از گروه علوم و مهندسی خاک برای در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاهی و از پشتیبانی مالی دانشگاه زنجان برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Azadi, A., Pazoki, A., Hoseini Sianaki, H., Zandipor, M., Mirzaabdolah, N., & Abasi zadeh A. (2013). Screening for salinity tolerance of spring wheat cultivars at germination and seedling stages. *Plant and Ecosystem Journal*, 9, 1–34. (in Persian with English abstract)

Balasubramaniam,T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. *Plants,* 12(12), 2253. https://doi.org/10.3390/plants12122253

Banakar, M.H., Amiri, H., Ranjbar, G., & Babaie Zarch, M.J. (2025). Threshold of salinity tolerance and yield reduction slope of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) at different growth stages. *Iranian Journal of Soil Research (Soil and Water Science.)*, 39(1), 53–73. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22092/ijsr.2025.369218.774

Butcher, K., Wick, A.F., DeSutter, T., Chatterjee, A., & Harmon, J. (2018). Corn and soybean yield response to salinity influenced by soil texture. *Agronomy Journal*, 110(4), 1243–1253. https://doi.org/10.2134/agronj2017.10.0619

Chaparzadeh, N., & Zarandi Miandoab, L. (2011). The effects of salinity on pigments content and growth of two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Plant Biologi*cal Science, 3(9), 13-26. (in Persian with English abstract) 20.1001.1.20088264.1390.3.9.3.3

Chapman, H.D. (1965). Cation exchange capacity. In: Black, C.A. (ed.) *Methods of Soil Analysis*.. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI. USA. 2, 891-901. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c6

El Sabagh, A., Islam, M.S., Skalicky, M., Ali Raza, M., Singh, K., Anwar Hossain, M., Arshad, A. (2021). Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate. *Adaptation and Management Strategies. Frontiers in Agronomy*, 3, 661932. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932

El-Hendawy, S., Elshafei, A., Al-Suhaibani, N., Alotabi, M., Hassan, W., Dewir, Y.H., & Abdella, K. (2019). Assessment of the salt tolerance of wheat genotypes during the germination stage based on germination ability parameters and associated SSR markers. *Journal of Plant Interactions*, 14(1), 151-163. https://doi.org/10.1080/17429145.2019.1603406.

FAO. (1988). Saline soils and their management. In: S*alt-affected Soils and their Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Fatahi, B., Soltani Howyzeh, M. (2025). Challenges of salinity and remedial strategies in sugarcane: Investigating the impact of salinity and innovative methods for adaptation. *Journal of Crop Breeding,* 17(2), 56-81. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.61882/jcb.2024.1537

Ghassemabadi, F.H., Eisvand, H.R., & Akbarpour, O.A. (2018). Evaluation of salinity tolerance of different clover species at germination and seedling stages. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 8(3), 2469-2477. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.30495/ijpp.2018.540991

Ghatei, P., Dehestani-Ardakani, M., Gholamnezhad, J., Momenpour, A., & Fakharipour, Z. (2021). Improving Growth and Physiological Chracteristics in Salt Stressed lantana (*Lantana camara*

L.) by Application of Exogenous Salicylic Acid. *Sustainable Acricultur and Production Science,* 31(4), 95-115. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/saps.2021.43284.2587

Ghol Moghadam, R.S., Saba, J., Shekari, F. & Roustaii, M. 2024. Using double and triple biplots for identification of superior winter wheat genotypes in term of root traits, yield and yield components under rainfed conditions. *Cereal Research*, 14(3), 267-290. https://doi.org/10.22124/cr.2025.28331.1834

Ghorbani, M.H., & Porfarid, A. (2008). The effect of salinity and sowing depth on wheat seed emergence. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources,* 14(5), 1-8. (in Persian with English abstract).

Gozdowski, D., Leszczyńska, E., Stępień, M., Rozbicki, J., & Samborski, S. (2017). Within-field variability of winter wheat yield and grain quality versus soil properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(9), 1029-1041. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1323091

Hasan, M.M., Baque, M.A., Habib, M.A., Yeasmin, M., & Hakim, M.A. (2017). Screening of salt tolerance capability of wheat genotypes under salt stress condition. *Universal Journal of Agricultural Research*, 5(4), 235-249. https://doi.org/10.13189/ujar.2017.050405.

Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Anee, T.I, Masud, A.A.C., & Nowroz, F. (2022). Salt stress responses and tolerance in soybean. *Plant stress Physiology-perspectives in Agriculture*. IntechOpen, 102835. https://doi.org/10.5772/intechopen.102835.

Homaei, M. (2002). *Plant Response to Salinity.* Publication No. 58, Iranian National Committee on Irrigation & Drainage (IRNCID), Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)

Hussain, S., Shaukat, M., Ashraf, M., Zhu, C., Jin, Q., & Zhang, J. (2019). Salinity stress in arid and semi-arid climates: Effects and management in field crops. *In: Climate Change and Agriculture*. IntechOpen, 13. https://doi.org/10.5772/intechopen.87982

Kamyab Talesh, F., Mostafazadeh Fard, B., Vazifedoust, M., Navabian, M. & Shayannejad, M. 2017. Yield simulation and salt tolerance determination of wheat and barley using SWAP model: A case study in Garmsar region. *Agricultural Engineering*, 39(2), 45-54. (in Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22055/agen.2017.12554

Kandil, A.A., Sharief, A.E., & Elokda, M.A. (2012). Germination and seedling characters of different wheat cultivars under salinity stress. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(2), 585-596. http://dx.doi.org/10.6000/1927-5129.2012.08.02.52.

Khalili, A. (2005). New achievements in perception, management and use. *Soil and Water Research Institute of Iran*, 24–71. (in Persian with English abstract)

Khan, A., Shafi, M., Bakht, J., & Anwar, S. (2017). Effect of salinity and seed priming on growth characters of wheat varieties. *Sarhad Journal of Agriculture*, 33(3), 435-446. http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2017/33.3.435.446

Khayatnezhad, M., Gholamin, R., Jamaati-e-Somarin, S.H., & Zabihi-e-Mahmoodabad, R. (2010). Study of NaCl salinity effect on wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars at germination stage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 9(2), 128-132. http://www.idosi.org/aejaes/jaes9(2)/4.pdf

Kiremit, M.S., & Arslan, H. (2023). Effects of different shallow and saline groundwater depths on soil salinity, evapotranspiration, grain yield and spike traits of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 209(3), 402-421.https://doi.org/10.1111/jac.12632Digital Object Identifier

Kumar, A., Singh, S., Gaurav, A.K., Srivastava, S., & Verma, J.P. (2020). Plant growth-promoting bacteria: biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1216. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01216

Maas, E.V., & Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance- current assessment: *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 115-134. https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001137

Maas, E.V., Hoffman, G.J., Chaba, G.D., Poss, J.A., & Shannon, M.C. (1983). Salt sensitivity of corn at various growth stages: *Irrigation Science*, 4(1), 45-57. https://doi.org/10.1007/BF00285556.

Maas, E.V., Poss, J.A., & Hoffman, G.J. (1986). Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrigation Science*, 7(1), 1-11. https://doi.org/10.1007/BF00255690.

Maggio, A., Raimondi, G., Martino, A. and De Pascale, S., 2007. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59(3), 276-282.https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.02.002

McClellan, R.C., McCool, D.K., Rickman, R.W. (2012). Grain yield and biomass relationship for crops in the Inland Pacific Northwest United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(1), 42-50. https://doi.org/10.2489/jswc.67.1.42.

McDonald, G. K. (2006). Effects of soil properties on variation in growth, grain yield and nutrient concentration of wheat and barley. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46(1), 93-105. https://doi.org/10.1071/ea04015.

Mirkhani, R., Vaezi, A.R. & Rezaei, H. (2020). Using soil properties to estimate the irrigated wheat yield in agricultural lands of Nazarabad region in Alborz province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(5), 1227-1237. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.292897.668404

Mohammadi, M. H., Khataar, M., & Shekari, F. (2017). Effect of soil salinity on the wheat and bean root respiration rate at low matric suctions. *Paddy and Water Environment*, 15(3), 639-648. https://doi.org/10.1007/s10333-017-0582-2.

Mohammadian, A., Ebrahimi Nokandeh, S., Damsi, B.H., & Jamalomidi, M. (2015). The effect of different levels of salinity on germination and growth indices of four cultivars of Arachis hypogaea L. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 28(1), 23-33. (in Persian with English abstract) . https://doi.org/20.1001.1.23832592.1394.28.1.3.8

Najafi N., & Sarhangzadeh E. (2012). Effect of NaCl salinity and soil waterlogging on growth characteristics of forage corn in greenhouse conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 3(10), 1–15. (in Persian with English abstract) https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089082.1391.3.2.1.1

Nazari, H., Eshraghi-Nejad, M., Rostaii, M., Alavi-Siney, S.M. (2024). Selection of superior bread wheat lines based on agronomic, phenological and morphophysiological traits using the ideal genotype selection index (SIIG) under dryland conditions of Zanjan province. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 13(2), 295-311. (in Persian with English abstract) . https://doi.org/10.22092/idaj.2024.363119.406.

Nekir, B., Mamo, L., Worku, A., & Bekele, T. (2019). Evaluation of wheat varieties/lines for salt tolerance at different growth stages. *Greener Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 6(1), 1-7. https://doi.org/10.15580/GJSSPN.2019.1.060619105.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*. 9, 539-579. https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., & Prasad, S.M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research,* 22(6), 4056-4075. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1.

Ragab, K.E., & Kheir, A.M.S. (2021). Determination of the most effective characteristics in grain yield of bread wheat under salinity stress. *Menoufia Journal of Plant Production*, 6(5), 299-312. https://doi.org/10.21608/mjppf.2021.175592

Ranjbar, G. and Banakar, M. H. (2010). Salt tolerance threshold of four commercial wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Journal of Soil Research*, 24, 237-242. (in Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2011.126637

Reisi, R., Abooei Mehrizi, F., & Poustini, K., (2021). Evaluation of soluble carbohydrates remobilization and some physiological traits of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under salt stress and non-stressed conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 229-240.). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2020.299064.654697

Rezvani Moghaddam, P. and Koocheki, A. (2001). Research history on salt affected lands of Iran: Present and future prospects – Halophytic ecosystem. *International Symposium on Prospects of Saline Agriculture in the GCC Countries*. Dubai, UAE.

Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. U.S. Salinity Laboratory Staff. USDA. Hand book No. 60. Washington, D C, USA. 160.

Roșca, M., Mihalache, G., & Stoleru, V. (2023). Tomato responses to salinity stress: From

morphological traits to genetic changes. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1118383. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1118383

Saleh J., Najafi N., & Oustan S. (2017). Effects of silicon application on wheat growth and some physiological characteristics under different levels and sources of salinity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(10), 1114–1122. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1323090

Shahid, S.A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques: In Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. *Springer International Publishing*, 1-42. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3_1.

Shiran Tafti, M., Pirasteh-Anosheh, H. & Amini Sefidab, A. (2019). Determining threshold salinity tolerance of wheat promising lines under greenhouse and field conditions. *Cereal Research*, 9(3), 235-248. (in Persian with English Abstract) https://doi.org/10.22124/cr.2019.14592.1522.

Siddiqui, M.N., Mostofa, M.G., Akter, M.M., Srivastava, A.K., Sayed, M.A., Hasan, M.S., & Tran, L.S.P. (2017). Impact of salt-induced toxicity on growth and yield-potential of local wheat cultivars: oxidative stress and ion toxicity are among the major determinants of salt-tolerant capacity. *Chemosphere*, 187, 385-394. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.078

Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1), 39-67. https://doi.org/10.1111/sum.12772

Smanov, Z.M., Laiskhanov, S.U., Poshanov, M.N., Abikbayev, Y.R., Duisekov, S.N., & Tulegenov, Y.A. (2023). Mapping of cornfield soil salinity in arid and semi-arid regions. *Journal of Ecological Engineering*, 24(1), 146-158. https://doi.org/10.12911/22998993/155952.

Soltani, A.,Tabatabai, S.M., & Ghadri, S.J. (2021). Evaluation of soil salinity and wheat yield using the SALTMED model (Case study: Bukan plain). *Water and Soil Science Journal*, 31(2), 41-54. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/ws.2021.11638

Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loeppert, R. H. (Eds.). (2020). *Methods of Soil analysis, part 3: Chemical methods*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI. USA.

Syed, A., Sarwar, G., Shah, S.H., Muhammad, S. (2021). Soil salinity research in 21st century in Pakistan: its impact on availability of plant nutrients, growth and yield of crops: C*ommunications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(3), 183-200. https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1854294.

Xie, W., Wu, L., Wang, J., Zhang, Y., & Ouyang, Z. (2017). Effect of salinity on the transformation of wheat straw and microbial communities in a saline soil. *Communications in Soil Science and Plant* Analysis, 48(12), 1455-1461. https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1373787.

Yadlarlou, L., & Majidi, E. (2008). Evaluation of salinity stress on morphophysiological traits of four saline tolerant wheat cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1), 205-215. (in Persian with English abstract)

Yazdani-Biouki, R., Banakar, M.H., Beyrami, H., Karimi, M., & Soltani-Gerdfaramarzi, V. (2021). Estimation of some salinity-related growth characteristics and evaluation of salinity tolerance threshold of milk thistle (*Silybum marianum* L.): *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6(14), 2037-2046. (in Persian with English abstract) https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.2021.14.6.10.1

Zhang, W.W., Chong, W.A.N.G., & Rui, X.U.E. (2019). Effects of salinity on the soil microbial community and soil fertility. *Journal of Integrative Agriculture*, *18*(6), 1360-1368. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62077-5

Zörb, C., Geilfus, C.M., & Dietz, K.J. (2019). Salinity and crop yield. *Plant Biology*, 21, 31-38. https://doi.org/10.1111/plb.12884