University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 13, No. 1, Spring 2023 (65-76)
doi: 10.22124/CR.2023.25409.1783
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Modeling the impact of salinity stress on yield of hybrid and improved varieties of rice during different growth stages

Razieh Tolouinasab[1], Safoora Asadi Kapourchal[2*], Hasan Ramezanpour[3] and Mojtaba Rezaei[4]

1. M.Sc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran ([*] Corresponding author: safooraasadi@guilan.ac.ir)
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
4. Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Salinity of soil and water resources are the most important factors reducing yield in many crop plants, including rice. Considering the increase in salinity of soil and water resources in many paddy farms in Iran, and considering the different sensitivity of rice plants at different growth stages to water and soil salinity, it is necessary to manage saline water resources in these areas. In this experiment, the effects of different levels of irrigation water salinity on grain yield of two hybrid (Bahar) and improved (Dorfak) rice varieties at different growth stages were investigated. The objective of this experiment was to obtain the best application time of saline water with the minimum reduction of rice grain yield.

Materials and methods

This study was conducted as a pot experiment in factorial based on completely randomized design with three factors and three replications in the Rice Research Institute of Iran (RRII), Rasht, Iran. The experimental factors included irrigation water salinity in four levels as the first factor, 2, 4, 6, and 8 dS/m, application time of salinity stress in four levels as the second factor, tillering, panicle formation, heading and maturity growth stages, and rice variety in two levels as the third factor, the hybrid variety of Bahar and the improved variety of Dorfak. Moreover, irrigation with normal water with a salinity of 0.4 dS/m was also considered as a control treatment for comparison with the other salinity treatments. A mix of NaCl+$CaCl_2$ salts in a ratio of 2:1 were used to apply salinity treatments. After the end of each growth stage, leaching was carried out and irrigation with normal water was continued until the end of the growth stage. At the end of the growth and harvesting grains, grain yield based on 14% moisture, biological yield and harvest index were measured. SPSS software was used for statistical analysis and Tukey's test was used to comparison of means at 1% probability level.

Research findings

The results of analysis of variance indicated that the effect of different salinity levels and its application stage on grain yield of both rice varieties was significant at 1% probability level. The results of comparison of means revealed that the improved variety Doefak showed more salinity tolerance and produced more grain yield at different salinity levels compared to the hybrid variety Bahar. The most sensitive and resistant growth stages to salinity stress were tillering (with an average grain yield of 6.82 g/pot for the hybrid variety Bahar and 8.07 g/pot for the improved variety Dorfak) and maturity (with an average grain yield of 14.71 g/pot for the hybrid variety Bahar and 15.90 g/pot

for the improved variety Dorfak) stages, respectively. The lowest biological yield (14.37 g/pot) and harvest index (2.53%) in the improved variety Dorfak was obtained at the tillering stage and the salinity level of 8 dS/m. Also, the lowest biological yield (12.89 g/pot) and harvest index (4.61) in the hybrid variety Bahar was observed at the salinity level of 8 dS/m and at the heading and panicle formation stages, respectively. Modeling the effect of different salinity levels on grain yield indicated that yield variations in different salinity levels and at the different growth stages followed a quadratic equation. Coefficients of determination of the regression equations of grain yield in different salinity levels for the improved variety Dorfak at the tillering (R^2=0.99), panicle formation (R^2=0.99), heading (R^2=0.95) and maturity (R^2=0.98) stages, and also for the hybrid variety Bahar at the tillering (R^2=0.99), panicle formation (R^2=0.99), heading (R^2=0.99) and maturity (R^2=0.99) stages, revealed that the application time of salinity stress is more important than the salinity levels.

Conclusion

Application of different salinity levels caused a significant difference in grain yield of both improved and hybrid varieties, so that a significant decrease was observed in grain yield of both Dorfak and Bahar varieties with the increasing salinity levels, and the lowest grain yield was obtained at the salinity level of 8 dS/m. Application time of salinity stress was also very important and caused a significant difference in reduction of grain yield. The results of this experiment showed that under the water limitation conditions or in the absence of suitable water quality, it is possible to prevent the reduction of rice grain yield by managing irrigation water at different growth stages and using lower quality water in the final and maturity growth stages.

Keywords: Irrigation water quality, Maturity stage, Regression model, Tillering stage

Received: February 25, 2023 Accepted: May 15, 2023

Cite this article:

Tolouinasab, R., Asadi Kapourchal, S., Ramezanpour, H. and Rezaei, M. 2023. Modeling the impact of salinity stress on yield of hybrid and improved varieties of rice during different growth stages. *Cereal Research*, 13(1): pp. 65-76.

تحقیقات غلات
دوره سیزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۲ (۷۶-۶۵)
doi: 10.22124/CR.2023.25409.1783
مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

مدل‌سازی اثر تنش شوری بر عملکرد ارقام هیبرید و اصلاح‌شده برنج طی دوره رشد

راضیه طلوعی‌نسب[۱]، صفورا اسدی کپورچال[۲*]، حسن رمضان‌پور[۳] و مجتبی رضایی[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران (*نویسنده مسئول: safooraasadi@guilan.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

چکیده جامع

مقدمه: شوری منابع خاک و آب از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در بسیاری از گیاهان از جمله برنج است. با توجه به افزایش شوری منابع آب و خاک در بسیاری از نقاط زیر کشت برنج در کشور و با توجه به حساسیت یا تحمل متفاوت برنج به شوری آب و خاک در مراحل مختلف رشد، مدیریت منابع آب‌های لب‌شور در این مناطق ضروری است. در این آزمایش، اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری طی دوره رشد بر عملکرد دو رقم برنج هیبرید و اصلاح شده بررسی شد و هدف از اجرای آن، دستیابی به بهترین زمان کاربرد آب شور برای رسیدن به کم‌ترین میزان افت عملکرد بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور به صورت گلدانی زیر پوشش بارن‌گیر انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل شوری آب آبیاری در چهار سطح ۲، ۴، ۶ و ۸ دسیزیمنس بر متر به عنوان فاکتور اول، زمان اعمال تنش شوری در چهار سطح شامل مراحل پنجه زنی، تشکیل خوشه، ظهور خوشه و رسیدگی به عنوان فاکتور دوم، و رقم برنج در دو سطح شامل رقم اصلاح شده درفک و رقم هیبرید بهار به عنوان فاکتور سوم بود. علاوه بر این، آبیاری با آب معمولی با شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر نیز به‌عنوان تیمار شاهد آزمایش جهت مقایسه با سایر تیمارهای شوری در نظر گرفته شد. جهت اعمال تیمارهای شوری از نمک کلرید سدیم و سولفات کلسیم به نسبت دو به یک استفاده شد. پس از پایان هر مرحله رشد، آبشویی گلدان‌ها انجام و ادامه آبیاری تا پایان مرحله رشد با آب معمولی انجام شد. پس از رسیدن محصول، عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح مختلف شوری و مرحله اعمال آن بر عملکرد دانه هر دو رقم برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم اصلاح شده درفک در مقایسه با رقم هیبرید بهار تحمل بیش‌تری در مقابل شوری از خود نشان داد و عملکرد بیش‌تری در سطوح مختلف شوری تولید کرد. حساس‌ترین و متحمل‌ترین مرحله رشد گیاه به تنش شوری به‌ترتیب مرحله پنجه‌زنی (با میانگین عملکرد ۶/۸۲ و ۸/۰۷ گرم بر گلدان به‌ترتیب برای هیبرید بهار و رقم درفک) و مرحله رسیدگی (با میانگین عملکرد ۱۴/۷۱ و ۱۵/۹۰ گرم بر گلدان

به‌ترتیب برای هیبرید بهار و رقم درفک) بود. کم‌ترین مقدار زیست‌توده و شاخص برداشت در رقم اصلاح شده درفک در مرحله پنجه‌زنی و شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب با مقدار ۱۴/۳۷ گرم بر گلدان و ۲/۵۳ درصد به‌دست آمد. همچنین، کم‌ترین مقدار زیست‌توده و شاخص برداشت در رقم هیبرید بهار در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب در مراحل خوشه‌دهی (۱۲/۸۹ گرم بر گلدان) و تشکیل خوشه (۴/۶۱ درصد) مشاهده شد. مدل‌سازی اثر سطوح مختلف شوری بر عملکرد دانه نشان داد که تغییرات عملکرد با اعمال سطوح مختلف شوری در مراحل مختلف رشد از معادله درجه دوم تبعیت کرد. ضرایب تشخیص معادلات رگرسیونی عملکرد دانه در سطوح مختلف شوری برای رقم اصلاح شده درفک در مراحل پنجه‌زنی (R^2=۰/۹۹)، تشکیل خوشه (R^2=۰/۹۹)، خوشه‌دهی (R^2=۰/۹۵) و رسیدگی (R^2=۰/۹۸) و نیز برای رقم هیبرید بهار در مراحل پنجه‌زنی (R^2=۰/۹۹)، تشکیل خوشه (R^2=۰/۹۹)، خوشه‌دهی (R^2=۰/۹۹) و رسیدگی (R^2=۰/۹۹)، نشان داد که زمان اعمال تنش شوری مهم‌تر از میزان شوری است.

نتیجه‌گیری: اعمال سطوح مختلف شوری موجب اختلاف معنی‌دار در عملکرد دانه هر دو رقم اصلاح شده و هیبرید شد، به‌طوری که با افزایش سطوح شوری، کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه هر دو رقم درفک و بهار مشاهده شد و کم‌ترین عملکرد دانه در سطح شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر به‌دست آمد. مرحله اعمال شوری نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود و سبب اختلاف معنی‌دار در میزان کاهش عملکرد شد. در مجموع نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط کم‌آبی و یا در صورت عدم دسترسی به آب با کیفیت مناسب، می‌توان با مدیریت آب در مراحل مختلف رشد و استفاده از آب با کیفیت پایین‌تر در مراحل انتهایی رشد و رسیدگی، از کاهش عملکرد دانه برنج تا حد زیادی جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب آبیاری، مدل رگرسیونی، مرحله پنجه‌زنی، مرحله رسیدگی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۵

نحوه استناد به این مقاله:

طلوعی‌نسب، راضیه، اسدی کپورچال، صفورا، رمضان‌پور، حسن و رضایی، مجتبی. ۱۴۰۲. مدل‌سازی اثر تنش شوری بر عملکرد ارقام هیبرید و اصلاح‌شده برنج طی دوره رشد. *تحقیقات غلات*، ۱۳(۱): ۷۶-۶۵.

مقدمه

برنج با نام علمی *Oryza Sativa* L. دومین غله مهم و راهبردی است که گزینه اصلی سبد غذایی مردم جهان می‌باشد (Sadooghi *et al*., 2016). ۱۶۰میلیون هکتار از اراضی کشاورزی دنیا زیر کشت برنج بوده و با توجه به اینکه غذای اصلی نیمی از مردم جهان است، بنابراین تأثیر مستقیمی بر زندگی بیش از سه میلیارد نفر در جهان و اقتصاد چندین کشور تولید کننده برنج در دنیا دارد. از این‌رو باید تولید سالیانه آن افزایش یابد تا پاسخ‌گوی نیاز رو به افزایش ناشی از رشد جمعیت نیز باشد (Tartarini *et al*., 2019). در ایران چهار استان مازندران، گیلان، خوزستان و گلستان به‌ترتیب بالاترین سطح زیر کشت و تولید برنج را دارند. استان‌های مازندران و گیلان با دارا بودن ۳۳۱۴۰۶ و ۲۴۵۵۹۰ هزار هکتار سطح زیر کشت از مهم‌ترین استان‌های تولید کننده برنج هستند (Ministry of Agriculture-Jahad, 2023). با توجه به شرایط نامطلوب آب‌های زراعی مورد بهره‌برداری در استان‌های گیلان و مازندران و شوری منابع آب و خاک مورد استفاده در برخی مناطق این استان‌ها به‌دلیل شرایط اقلیمی و سوء مدیریت، مدیریت منابع مورد استفاده و اختلاط آب‌های شور با آب‌های با کیفیت بهتر و مطالعه واکنش ارقام مختلف در این شرایط می‌تواند راه‌گشا باشد (Rezaee *et al*., 2013).

برنج از گیاهان زراعی حساس به شوری (Homaee, 2002) است. به‌طور کلی، حد بحرانی برای کاهش عملکرد برنج را شوری برابر با سه دسی‌زیمنس بر متر عصاره اشباع خاک عنوان کرده‌اند (Zeng and Shannon., 2000). آستانه حساسیت برنج بسته به نوع رقم متفاوت است. مطالعات انجام شده توسط حسام‌الزمان و همکاران (Hasamuzzaman *et al*., 2009)، بیابانی و همکاران (Biabani *et al*., 2012)، میردار منصوری و همکاران (Mirdarmansouri *et al*., 2014) و فلاح و همکاران (Fallah *et al*., 2015) نیز نشان داده است که میزان این حساسیت در ارقام مختلف برنج متفاوت است. ماس و هافمن (Mass and Haffman, 1977) آستانه حساسیت شدید به شوری را برای برنج ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر جهت جوانه‌زنی عنوان کردند که با مطالعه شریفی (Sharifi, 2013) مطابقت داشت. فلاح و همکاران (Fallah *et al*., 2015) و ابراهیمی‌راد و همکاران (Ebrahimi Rad *et al*., 2016)، حساس‌ترین مرحله رشدی برنج به شوری را دوره زایشی و مقاوم‌ترین مرحله را ظهور خوشه و رسیدگی عنوان کردند. تنش شوری در دوره رشد رویشی برنج، تأخیر در گل‌دهی و رسیدگی، کاهش تعداد پنجه و بیوماس سطح برگ را به‌دنبال دارد. در مرحله زایشی نیز تنش شوری منجر به کاهش تعداد دانه پر، نرخ باروری خوشه و وزن صد دانه می‌شود. همچنین، اثر تنش شوری بر عملکرد با افزایش دمای هوا و و میزان تبخیر، افزایش می‌یابد (Asch *et al*., 2000). با توجه به افزایش شوری منابع آب و خاک در بسیاری از مناطق زیر کشت برنج در کشور و لزوم مدیریت منابع آب‌های نسبتاً شور در این مناطق، پژوهش حاضر اجرا شد که هدف از انجام آن، ارزیابی عملکرد دو رقم برنج هیبرید و اصلاح شده در سطوح متفاوت شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد جهت دستیابی به بهترین زمان کاربرد آب شور با حداقل افت عملکرد بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تنش شوری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دو رقم برنج هیبرید (بهار) و اصلاح شده (درفک) و مدل‌سازی عملکرد برنج در سطوح متفاوت شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار انجام شد. آزمایش زیر پوشش باران‌گیر در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور در شهر رشت با مختصات جغرافیایی ′۱۲ °۳۷ عرض شمالی، ′۳۸ °۴۹ طول شرقی و ارتفاع تقریبی هفت متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۹ انجام شد. فاکتور اول شوری آب آبیاری در چهار سطح شامل ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، فاکتور دوم مراحل رشد گیاه شامل پنجه‌زنی، تشکیل خوشه، ظهور خوشه و رسیدگی، و فاکتور سوم رقم برنج شامل دو رقم هیبرید بهار و اصلاح شده درفک بود. لازم به ذکر است که در کنار تیمارهای شوری، یک تیمار آبیاری با آب شیرین با شوری ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر نیز به‌عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. برای انجام این آزمایش، گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر از خاک پر شدند و در هر یک، سه عدد نشا که با آب نرمال تهیه شده بودند، کشت شد. برای مشخص شدن مقدار خاک مورد نیاز برای هر گلدان، ابتدا جرم ویژه ظاهری خاک به‌روش کلوخه و پارافین (Blake and Hartge, 1986) اندازه‌گیری و سپس گلدان‌ها با جرم ویژه ظاهری مشابه با خاک طبیعی پر شدند. بافت خاک به‌روش

هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986) و کربن آلی خاک به‌روش والکلی و بلاک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال، فسفر قابل جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم قابل جذب خاک نیز با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد. خاک مورد استفاده دارای بافت لای رسی با جرم ویژه ظاهری ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و فاقد شوری بود. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۹ در دوره رشد برنج نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این آزمایش

Table 1. Soil physico-chemical properties of the studied in this experiment

Soil texture	Organic carbon (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	EC (dS/m)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Specific gravity (g/cm^3)
Silty clay	2.14	0.17	33.2	263	0.7	4	44	52	1.2

جدول ۲- متوسط ماهانه اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۹ در دوره رشد برنج

Table 2. Monthly average of meteorological data of the studied region during rice growing period in 2020

Month	Temperature (˚C)		Relative humidity (%)		Rainfall (mm)	ET_0
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum		
April-May	13.4	22.7	61.8	93.2	37.2	70.4
May-June	18.7	30.4	48.1	90.6	48.7	145.1
June-July	21.0	31.7	50.9	87.4	30.8	128.8
July-August	21.1	29.6	62.2	93.5	68.3	79.0

آبیاری گلدان‌ها تا هفت روز با آب معمولی و غیرشور (EC=0.4 dS/m) انجام شد و سپس تیمارهای مورد نظر اعمال شدند. به‌منظور ایجاد شرایط غرقابی برای گلدان‌ها، فاصله سطح خاک از لبه گلدان‌ها پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد و آبیاری غرقاب دائم با بار آبی پنج سانتی‌متر روی خاک انجام شد. جهت اعمال تیمارهای شوری، از نمک کلرید سدیم و سولفات کلسیم به‌نسبت دو به یک استفاده شد. پس از پایان هر مرحله رشد، آبشویی انجام و ادامه آبیاری تا پایان دوره رشد با آب معمولی ادامه یافت. پس از رسیدن و برداشت محصول، عملکرد دانه بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت در هر دو رقم مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح احتمال یک درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر عامل‌های مورد مطالعه بر عملکرد دانه برنج در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر ساده رقم، مرحله رشد و سطوح شوری، و نیز برهم‌کنش بین تمامی این عامل‌ها (به‌جز برهم‌کنش رقم × شوری) بر عملکرد دانه برنج معنی‌دار بود. تاثیر معنی‌دار شوری بر عملکرد دانه برنج در مطالعات بسیاری از محققین از جمله بیابانی و همکاران (Biabani *et al*., 2012)، فلاح و همکاران (Fallah *et al*., 2015)، جعفری‌راد و همکاران (Jafari Rad *et al*., 2015) و ابراهیمی‌راد و همکاران (Ebrahimi Rad *et al*., 2016) نیز گزارش شده است. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش مرحله رشد × سطوح شوری بر میزان عملکرد دانه هر یک از رقم‌های اصلاح شده و هیبرید برنج (جدول ۴، شکل ۱) نشان داد که عملکرد هر دو رقم اصلاح شده و هیبرید با افزایش سطح شوری، کاهش یافت، اما میزان کاهش در هر دو رقم بستگی به مرحله رشد گیاه داشت، به‌طوری که اعمال شوری در مراحل پنجه‌زنی و تشکیل خوشه نسبت به مراحل خوشه‌دهی و رسیدگی، کاهش عملکرد بیش‌تری را در هر دو رقم ایجاد کرد. همچنین، علاوه بر وجود اختلاف معنی‌دار بین عملکرد دانه دو رقم، به‌نظر می‌رسد که شیب کاهش عملکرد تحت تاثیر تیمارهای مختلف شوری در مراحل مختلف رشد، در رقم هیبرید بیش‌تر از رقم اصلاح شده بوده و رقم اصلاح شده در مواجه با شوری از تحمل بیش‌تری نسبت به رقم هیبرید برخوردار بوده است (شکل ۱).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه دو رقم برنج

Table 3. Analysis of variance of the effect of investigated treatments on grain yield of two rice varieties

Source of variation	df	Mean square	F	P-value
Variety	1	141.096**	31.362	0.000
Growth stage	3	333.375**	74.101	0.000
Salinity level	3	1029.617**	228.859	0.000
Variety × Growth stage	3	54.577**	12.131	0.000
Variety × Salinity level	3	1.886 ns	0.419	0.740
Salinity level × Growth stage	9	11.580*	2.574	0.013
Salinity level × Growth stage × Variety	9	30.893**	6.867	0.000
Error	64	4.499		

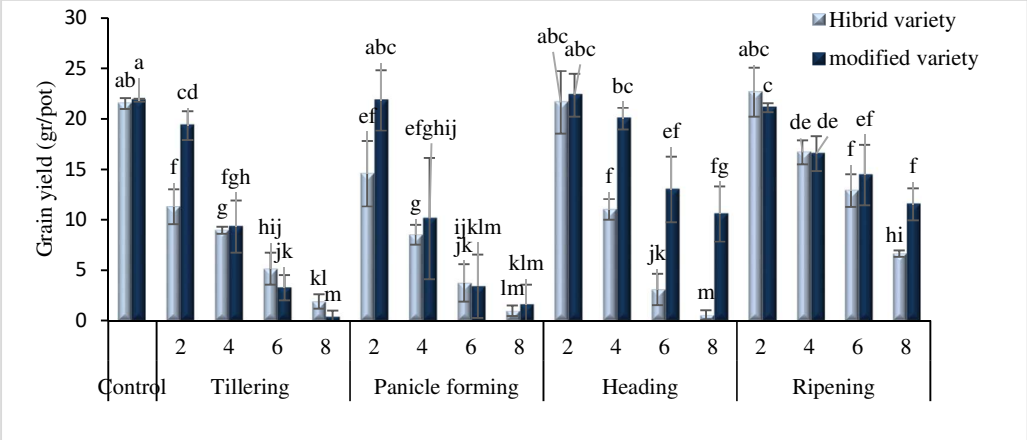
ns, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه (گرم در گلدان) ارقام برنج هیبرید بهار و اصلاح شده درفک

Table 4. Comparison of means of grain yield (g/pot) of two rice varieties of hybrid and modified

Growth stage of salinity application	Salinity leve (dS/m)	Hybrid variety, Bahar (Mean ± Standard deviation)	Improved variety, Dorfak (Mean ± Standard deviation)
Control	-	21.53 ± 0.54 ab	21.85 ± 0.15 a
Tillering	2	11.30 ± 1.73 f	19.34 ± 1.43 cd
	4	8.96 ± 0.35 g	9.32 ± 2.58 fgh
	6	5.15 ± 1.58 hij	3.26 ± 1.25 jk
	8	1.90 ± 0.72 kl	0.37 ± 0.63 m
Panicle forming	2	14.56 ± 3.24 ef	21.83 ± 2.99 abc
	4	8.51 ± 0.98 g	10.12 ± 6.01 efghij
	6	3.74 ± 1.86 jk	3.40 ± 3.14 ijklm
	8	0.98 ± 0.52 lm	1.59 ± 1.96 klm
Heading	2	21.64 ± 3.10 abc	22.35 ± 2.12 abc
	4	11.02 ± 1.03 f	20.02 ± 1.07 bc
	6	3.09 ± 1.56 jk	13.00 ± 3.26 ef
	8	0.55 ± 0.48 m	10.57 ± 2.74 fg
Maturity	2	22.64 ± 2.43 abc	20.10 ± 0.45 c
	4	16.68 ± 1.18 de	16.55 ± 1.72 de
	6	12.89 ± 1.63 f	14.43 ± 3.00 ef
	8	6.65 ± 0.32 hi	11.53 ± 1.59 f

Means followed by at least one similar letter in each column are not significantly different by Tukey's test at 1% probability level.



شکل ۱- اثر تنش شوری بر عملکرد دانه ارقام هیبرید (بهار) و اصلاح شده (درفک) در مراحل مختلف رشد

Figure 1. Effect of salinity stress on grain yield of rice hybrid (Bahar) and improved (Dorfak) varieties at different growth stages. Treatments with the same letter are not significantly different at 1% probability level.

مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت رقم اصلاح شده درفک در مراحل مختلف رشد در سطوح مختلف شوری در جدول ۵ ارایه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مرحله پنجه‌زنی حساس‌ترین مرحله به شوری بوده است. شانون و همکاران (Shannon *et al*., 1998) و فلاح و همکاران (Fallah *et al*., 2015) نیز کاهش معنی‌دار زیست‌توده را با افزایش شوری گزارش کردند. سعیدزاده و همکاران (Saeedzadeh *et al*., 2018) کاهش زیست‌توده در ارقام مختلف برنج را بین ۲۳ تا ۸۹ درصد گزارش کردند. شوری افزون بر ایجاد تنش اسمزی در گیاهان، جذب و انتقال مواد غذایی ضروری مانند کلسیم و پتاسیم را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. با توجه به نقش کاتالیزوری پتاسیم در گیاه، سوخت و ساز نوری کاهش و تنفس افزایش می‌یابد که منجر به کاهش کربوهیدرات در گیاه می‌شود (Fallah *et al*., 2015). خاتون و فلاورز (Khatun and Flowers, 1995) نشان دادند که در شرایط تنش شوری، فتوسنتز مختل شده و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها کاهش می‌یابد و منجر به کاهش زیست‌توده در شرایط تنش شوری می‌شود. نتایج این آزمایش نیز نشان داد که با افزایش شوری در تمامی مراحل رشد گیاه، عملکرد زیست‌توده کاهش یافت، اما میزان کاهش در هر مرحله متفاوت بود. بر اساس نتایج مقایسه میانگین زیست‌توده در تیمارهای مختلف شوری در چهار مرحله رشدی گیاه، کم‌ترین عملکرد زیست‌توده در مرحله پنجه‌زنی (۱۴/۳۷) و بیش‌ترین مقدار آن پس از شاهد، در مرحله ظهور خوشه (۵۲/۴۸) مشاهده شد.

سطوح مختلف شوری بر شاخص برداشت رقم اصلاح شده درفک نیز معنی‌دار و میزان تغییرات آن در مراحل رشدی مختلف، متفاوت بود. بر اساس نتایج، برای شاخص برداشت نیز مرحله پنجه‌زنی حساس‌ترین مرحله بود. در تمام مراحل رشدی گیاه با افزایش شوری، میزان شاخص برداشت کاهش یافت که میزان این تغییرات در مرحله پنجه‌زنی و تشکیل خوشه در تیمارهای مختلف شوری بسیار زیاد بود، اما شیب تغییرات در سطوح مختلف شوری در مراحل ظهور خوشه و رسیدگی کم‌تر بود. بنابراین شاید بتوان گفت مراحل پنجه‌زنی و تشکیل خوشه، حساس‌ترین مرحله به شوری بودند و در مقابل، مراحل ظهور خوشه و رسیدگی از حساسیت کم‌تری برخوردار بودند. از این نتیجه می‌توان برای مدیریت آبیاری در مناطقی که آب با کیفیت مناسب در دسترس نیست، استفاده کرد.

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده (گرم در گلدان) و شاخص برداشت (درصد) در رقم اصلاح شده درفک

Table 5. Comparison of means of biological yield (g/pot) and harvest index (%) in the improved variety, Dorfak

Growth stage	Salinity level (dS/m)	Biological yield (Mean ± Standard deviation)	Harvest index (Mean ± Standard deviation)
Control	-	45.63 ± 0.78 b	46.00± 0.78 a
Tillering	2	43.82 ± 2.86 bc	44.41 ± 6.28 ab
	4	35.14 ± 4.91 de	26.41 ± 5.62 c
	6	32.43 ± 4.84 de	10.09 ± 3.63 de
	8	14.37 ± 3.60 f	2.53 ± 4.37 e
Panicle formation	2	50.68 ± 4.60 ab	43.12 ± 4.83 ab
	4	41.89 ± 1.10 c	24.03 ± 13.90 cd
	6	32.95 ± 3.66 de	9.81 ± 9.22 de
	8	24.43 ± 7.73 ef	5.48 ± 6.72 de
Heading	2	52.48 ± 5.29 a	42.68 ± 3.02 ab
	4	44.22 ± 3.29 abc	45.43 ± 4.00 ab
	6	35.99 ± 3.43 d	35.90 ± 6.70 bc
	8	31.87 ± 1.30 de	33.34 ± 9.31 bc
Maturity	2	48.86 ± 2.77 ab	41.22 ± 2.42 b
	4	47.21 ± 2.53 ab	35.05 ± 3.05 c
	6	45.21 ± 1.70 b	31.92 ± 6.52 c
	8	34.14 ± 5.63 de	35.11 ± 10.32 abc

Means followed by at least one similar letter in each column are not significantly different by Tukey's test at 1% probability level.

مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت رقم هیبرید بهار در مراحل مختلف رشد در سطوح مختلف شوری در جدول ۶ ارایه شده است. برای رقم هیبرید شیب کاهشی با افزایش میزان شوری در مراحل ظهور خوشه و رسیدگی نسبت به مراحل پنجه‌زنی و تشکیل خوشه بیش‌تر بود. کم‌ترین عملکرد زیست‌توده در تیمار هشت دسی‌زیمنس بر متر و در مرحله ظهور خوشه مشاهده شد، در حالی‌که بیش‌ترین عملکرد زیست‌توده متعلق به مرحله رسیدگی بود. کاهش میزان زیست‌توده برنج تحت تاثیر شوری در مطالعات شانون و همکاران (Shannon *et al*., 1998) و ژنگ و همکاران (Zeng *et al*., 2003) نیز گزارش شده است. نتایج مطالعات شمس‌الدین و فرحبخش (Shamsoddin and Farahbakhsh, 2009) نیز کاهش وزن خشک گیاه را در شرایط تنش شوری هم‌زمان با کاهش کلروفیل برگ‌ها نشان داد. فلاح و همکاران (Fallah *et al*., 2015) نیز کاهش زیست‌توده برنج را در اثر تنش شوری گزارش کردند.

میزان تغییرات شاخص برداشت رقم هیبرید نیز در مراحل پنجه‌زنی، تشکیل و ظهور خوشه با افزایش سطوح شوری زیاد بود، در حالی‌که شیب این تغییرات در مرحله رسیدگی کم‌تر از مراحل دیگر رشد بود. بیش‌ترین میزان شاخص برداشت در مرحله خوشه‌دهی و کم‌ترین میزان آن در مرحله تشکیل خوشه به‌ثبت رسید (جدول ۶). بنابراین طبق نتایج این آزمایش شاید بتوان گفت در رقم هیبرید نیز مراحل پایانی رشد (مراحل خوشه‌دهی و رسیدگی)، متحمل‌ترین مرحله به تنش شوری است.

رضایی و همکاران (Rezaee *et al*., 2013) نیز نشان دادند که شاخص برداشت در تیمارهای مختلف شوری اختلاف معنی‌داری داشت و با افزایش شوری میزان شاخص برداشت کاهش یافت. قلی‌زاده (Gholizadeh, 2012)، میردار منصوری و همکاران (Mirdarmansouri *et al*., 2014) و ابراهیمی‌راد و همکاران (Ebrahimi Rad *et al*., 2016) نیز نتایج مشابهی را ارایه دادند. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که در صورت دسترسی نداشتن به آب با کیفیت مناسب، با مدیریت آبیاری می‌توان آب با کیفیت کم‌تر را در مرحله رسیدگی استفاده کم‌ترین تغییر را در میزان شاخص برداشت ایجاد کرد. تغییرات عملکرد رقم‌های مورد مطالعه در سطوح مختلف شوری در هر مرحله از رشد به‌صورت معادله درجه دوم در جدول ۷ و شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۶- مقایسه میانگین عملکرد زیست‌توده (گرم در گلدان) و شاخص برداشت (درصد) در رقم هیبرید بهار

Table 6. Comparison of means of biological yield (g/pot) and harvest index (%) in the hybrid rice variety, Bahar

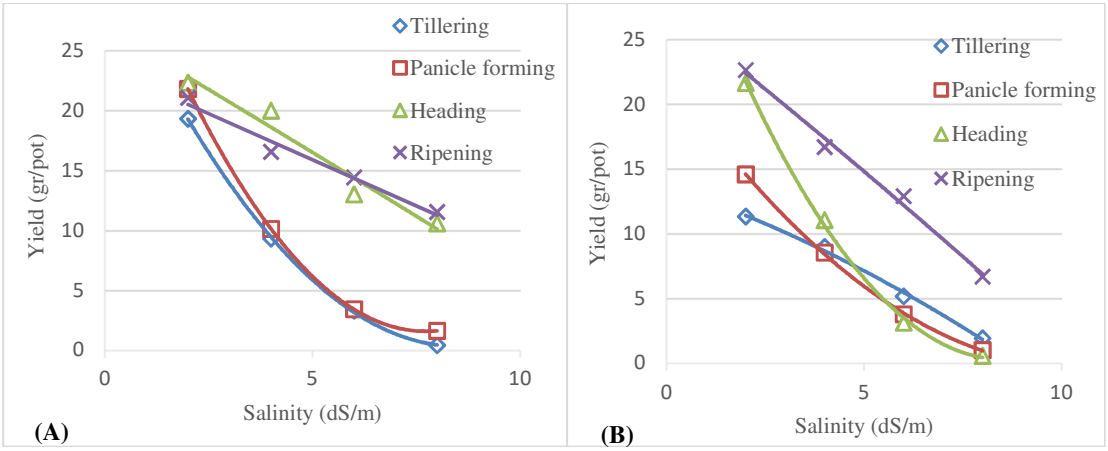
Growth stage	Salinity level (dS/m)	Biological yield (Mean ± Standard deviation)	Harvest index (Mean ± Standard deviation)
Control	-	68.37 ± 1.62 a	42.57 ± 1.38 a
Tillering	2	33.67 ± 2.25 ef	33.44 ± 2.89 cd
	4	35.46 ± 1.16 e	25.27 ± 0.74 e
	6	22.15 ± 3.59 h	24.24 ± 9.91 def
	8	24.13 ± 8.62 fgh	8.37 ± 3.10 gh
Panicle formation	2	40.86 ± 8.94 cde	35.85 ± 4.88 bcd
	4	33.31 ± 4.52 efg	25.61 ± 0.84 e
	6	34.44 ± 2.01 e	11.08 ± 6.07 fgh
	8	24.08 ± 5.10 gh	4.61 ± 3.34 h
Heading	2	46.90 ± 3.84 c	46.14 ± 5.18 a
	4	31.95 ± 2.62 ef	34.80 ± 5.94 bcd
	6	24.66 ± 4.47 gh	12.08 ± 3.88 fg
	8	12.89 ± 4.82 i	5.33 ± 5.77 g
Maturity	2	56.74 ± 1.38 b	39.99 ± 5.26 abc
	4	43.65 ± 2.31 cd	38.19 ± 0.84 b
	6	36.15 ± 6.31 def	35.95 ± 3.92 bcd
	8	28.15 ± 3.32 fgh	23.78 ± 2.18 e

Means followed by at least one similar letter in each column are not significantly different by Tukey's test at 1% probability level.

جدول ۷- معادلات تغییرات عملکرد رقم‌های مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد

Table 7. Equations of yield changes of the studied varieties at different growth stages

Variety	Growth stage	Equation	R^2
Improved variety (Dorfak)	Tillering	$Y=0.4456X^2- 7.60X+32.72$	0.999
	Panicle forming	$Y=0.6188X^2-9.55X+38.47$	0.999
	Heading	$Y=-0.0062X^2-2.05X+26.95$	0.9542
	Maturity	$Y=0.1031X^2-2.57X+25.67$	0.9894
Hybrid variety (Bahar)	Tillering	$Y=-0.0569X^2-1.0318X+13.69$	0.996
	Panicle forming	$Y=0.2056X^2-4.332X+22.46$	0.999
	Heading	$Y=0.505X^2-8.61X+36.97$	0.998
	Maturity	$Y=-0.0175X^2-2.413X+27.30$	0.992



شکل ۲- اثر سطوح تنش شوری و مراحل رشد بر عملکرد برنج رقم هیبرید بهار (A) و اصلاح شده درفک (B)

Figure 2. The effect of salinity stress levels and growth stages on grain yield of hybrid rice variety, Bahar (A), and improved rice variety, Dorfak (B)

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که اعمال سطوح مختلف شوری سبب اختلاف معنی‌دار در میزان عملکرد هر دو رقم اصلاح شده و هیبرید شد و در هر دو رقم با افزایش سطوح شوری، عملکرد دانه کاهش یافت، به‌طوری که کم‌ترین مقدار عملکرد در سطح شوری هشت دسی زیمنس بر متر به‌دست آمد. نوع رقم نیز در میزان کاهش عملکرد تاثیر معنی‌داری داشت، به‌طوری که رقم اصلاح شده در مقایسه با رقم هیبرید نسبت به شوری از تحمل بیش‌تری برخوردار بود و کاهش عملکرد کم‌تری را نشان داد. مرحله اعمال شوری نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بود و سبب اختلاف معنی‌دار در میزان کاهش عملکرد شد، به‌طوری که حساس‌ترین و مقاوم‌ترین مرحله به اعمال تنش شوری به‌ترتیب مرحله پنجه‌زنی (با میانگین عملکرد ۶/۸۲ گرم بر گلدان در رقم هیبرید و ۸/۰۷ گرم بر گلدان در رقم اصلاح شده) و مرحله رسیدگی (با میانگین عملکرد ۱۴/۷۱ گرم بر گلدان در رقم هیبرید و ۱۵/۹۰ گرم بر گلدان در رقم اصلاح شده) بود. ضریب تشخیص (R^2) معادلات رگرسیونی عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف شوری در رقم اصلاح شده درفک در مراحل مختلف رشد، شامل پنجه‌زنی، تشکیل خوشه، خوشه‌دهی و رسیدگی به‌ترتیب برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۹، ۰/۹۵ و ۰/۹۸ و برای رقم هیبرید بهار در تمامی مراحل رشدی مطالعه شده برابر با R^2=۰/۹۹ بود. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه اثر هر دو عامل زمان و میزان شوری بر عملکرد دانه برنج اهمیت دارد، اما زمان اعمال تنش شوری مهم‌تر از میزان شوری است. در مجموع، نتایج این آزمایش نشان داد که در شرایط کم‌آبی و یا در صورت عدم دسترسی به آب با کیفیت مناسب، می‌توان با مدیریت آب در مراحل مختلف رشد و استفاده از آب با کیفیت کم‌تر در مراحل انتهایی رشد و رسیدگی، از کاهش عملکرد دانه برنج تا حد زیادی جلوگیری کرد.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

Asch, F., Dingkuhn, M. and Dorffling, K. 2000. Salinity increases CO_2 assimilation but reduces growth in field-grown irrigated rice. *Plant and Soil*, 218, pp. 1-10. https://doi.org/10.1023/A:1014953504021.

Biabani, A., Sabouri, H. and Nakhzari, A. 2012. Study of yield components of rice cultivars under salinity stress condition. *Journal of Plant Production*, 19(4), pp. 173-186. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.4.10.2.

Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986. Bulk Density. In: Klute, A. (Ed.). Methods of Soil Analysis: Part I. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition. American Society of Agronomy, Inc., and Soil Science Society of America, Inc. pp. 363-375. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13.

Ebrahimi Rad, H., Babazadeh, H., Rezaei, M. and Amiri, E. 2016. Modeling response of Hashemi rice variety to change in salinity levels during the growth stages. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 10(2), pp. 168-176. [In Persian].

Fallah, A., Farahmanfar, E. and Moradi, F. 2015. Effect of salt stress on some morpho-physiological characters of two rice culitivars during different growth stages at greenhouse. *Journal of Applied Field Crop Research*, 28(107), pp. 175-182. [In Persian]. https://doi.org/10.22092/AJ.2015.105720.

Gee, G.W. and Bauder, J.W. 1986. Particle-Size Analysis. In: Klute, A. (Ed.). Methodes of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., and Soil Science Society of America, Inc. pp. 383-411. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15.

Gholizadeh, F. 2012. Effects of salt stress in germination stage in rice genotypes (*Oryza sativa* L.). *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 2(6), pp. 75-81. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22285458.1391.2.6.9.4.

Homaee, M. 2002. Plants Response to Salinity. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). ISBN: 964-6668-37-2. 107 p. [In Persian].

Hasamuzzaman, M., Fujita, M., Islam, M.N., Ahamed, K.U. and Nahar, K. 2009. Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. *International Journal of Integrative Biology*, 6(2), pp. 85-90.

Jafari Rad, S., Zavareh, M., Khaledian, M.R. and Rezaei, M. 2015. Evaluation of different rice genotypes tolerance to saline irrigation water. *Journal of Crop Production and Processing*, 5(17), pp. 1-12. [In Persian]. https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.17.1.

Khatun, S. and Flowers, T.J. 1995. Effects of salinity on seed set in rice. *Plant, Cell & Environment*, 18(1), pp.61-67. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1995.tb00544.x.

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

Ministry of Agriculture - Jahad. 2023. Agricultural statistics. Vol. one: Crop plants. Ministry of Agriculture–Jahad, Tehran, Iran. [In Persian].

Mirdarmansouri, Sh., Babaeian Jelodar, N.A. and Bagheri, N.A. 2014. Effects of NaCl Stress on Grain Yield and their Components in Iranian Rice Genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 6(14), pp. 67-83. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1393.6.14.6.7.

Rezaee, M., Davatgar, N., Khaledian, M.R., Ashrafzadeh, A., Kavoosi, M. and Zavareh, M. 2013. Study of the effect of saline water on rice yield under water stress conditions. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 36(1), pp. 81-88. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1392.36.1.8.9 .

Sadooghi, L., Homaee, M., Noroozi, A.A. and Asadi Kapourchal, S. 2016. Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province. *Cereal Research*, 6(3), pp. 397-410. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1395.6.3.10.2.

Saeedzadeh, F., Taghizadeh, R. and Gurbanov, E. 2018. Investigation the effect of salinity on agronomic and biochemical traits of different rice cultivars under field conditions. *Crop Physiology Journal*, 9(36), pp. 101-120. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008403.1396.9.36.7.8.

Shamsoddin Saeed, M. and Farahbakhsh, H. 2009. The effect of salinity on yield and some agronomical and physiological traits of two maize (*Zea may*s L.) cultivars in Kerman. *Plant Productions*, 32(1), pp. 13-25. [In Persian].

Shannon, M.C., Rhoades, J.D., Draper, J.H., Scardaci, S.C. and Spyres, M.D. 1998. Assessment of salt tolerance in rice cultivars in response to salinity problems in California. *Crop Science*, 38(2), pp. 394-398. https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800020021x.

Sharifi, P. 2013. Evaluating the effect of salinity stresses on some of the traits of rice at the germination stage. *Plant and Ecosystem*, 9(34-1), pp. 31-39. [In Persian].

Tartarini, S., Paleari, L., Movedi, E., Sacchi, G.A., Nocito, F.F. and Confalonieri, R. 2019. Analysis and modeling of processes involved with salt tolerance and rice. *Crop Science*, 59(3), pp.1155-1164. https://doi.org/10.2135/cropsci2018.10.0609.

Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), pp. 29-38.

Zeng, L. and Shannon, M.C. 2000. Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. *Agronomy Journal*, 92(3), pp. 418-423. https://doi.org/10.2134/agronj2000.923418x.

Zeng, L., Lesch, S.M. and Grieve, C.M. 2003. Rice growth and yield respond to changes in water depth and salinity stress. *Agricultural Water Management*, 59(1), pp. 67-75. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00088-4.