



University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research

Vol. 14, No. 1, Spring 2024 (1-28)

doi: 10.22124/CR.2024.26628.1808

pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Meta-analysis of the effect of salinity stress on grain yield, yield components and physiological characteristics in rice (*Oryza sativa* L.)

Peyman Sharifi^{1*}

1. Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran (* Corresponding author: sharifi@iaurasht.ac.ir)

Comprehensive abstract

Introduction

Rice is often very sensitive to salinity in both seedling and reproductive stages. Excess salt and mineral salts in the soil or irrigation water can cause great damage to the plant, disrupting the natural growth of the plant and limiting the actual performance potential of rice varieties. Many researches have been conducted on the effect of salinity stress on rice. Although each research separately has a special value, the results of these researches are different and it will be difficult to summarize them separately in order to obtain a general and comprehensive result. In the meta-analysis method, statistical analysis of a large number of researches is performed and by evaluating the overlap of the results of smaller studies, a general summary is obtained from the findings of all studies. Therefore, the results of the meta-analysis method has more validity. The purpose of the current study was to meta-analyze the results of the researches conducted on the effect of salinity stress on rice.

Materials and methods

To obtain the necessary data for the present study, the Persian keywords “rice”, “salinity stress”, “grain yield”, “yield components”, “NaCl”, “photosynthetic pigments”, “sodium content”, “potassium content”, “vegetative growth stage” and “reproductive growth stage” or their English equivalents were searched from the agricultural research information banks, such as Magiran, SID, Elsevier and Google. Salinity stress was also considered at two levels including mild stress (4 dS.m⁻¹) and severe stress (8 dS.m⁻¹). Out of the 50 reviewed studies on the effect of salinity stress on growth, yield, yield components, content of elements and photosynthetic characteristics of rice, 38 articles were selected and their data were extracted. Comprehensive meta-analysis (CMA) software was used for statistical analysis of the extracted data and drawing the relevant graphs.

Research findings

The results of the homogeneity test statistics of data extracted from previous studies (Q, I² and Tau²) showed that the heterogeneity between the studies for grain yield and panicle number per plant under severe salinity stress (8 dS.m⁻¹) and plant height under mild stress (4 dS.m⁻¹) was low and non-significant, therefore the fixed model was used in the meta-analysis. However, random model was used for other traits in both salinity stress conditions due to the heterogeneity between studies. Overall effect size for grain yield, plant height, panicles per plant, filled grains per panicle and potassium content were on the left side of the zero axis under both severe and mild stress conditions, indicating a significant reduction of these traits under salinity stress. But, the overall effect size for sodium content in both severe and mild salinity stresses were on the right side of the zero axis, which indicated the increasing effect of salinity stress on sodium content. The results of the overall effect size showed a decrease in chlorophylls a and b under both salinity stress conditions and carotenoids in mild stress. The results showed that grain yield with a decrease of 72.8 and 118.9 percent at the stress levels of 4 and 8 dS.m⁻¹, respectively, was the most sensitive and vulnerable trait to salinity stress. Also, the



decrease in the number of panicles per plant was 30.42 and 35.29 percent, and in the number of filled grains per panicle was 25.16 and 57.84 percent at salinity levels of 4 and 8 dS.m⁻¹, respectively. This finding showed that the decrease in the number of panicles per plant at mild salinity stress was more than the number of filled grains per panicle, while with the increasing of salinity level to 8 dS.m⁻¹ (sever stress), the number of filled grains per panicle was more affected and showed more sensitivity to high levels of salinity stress compared to the number of panicles per plant.

Conclusion

The results of this study showed that increasing the number of fertile panicles and the number of filled grains per panicle, higher levels of potassium, lower levels of sodium, reducing the ratio of Na⁺/K⁺, maintaining the amount of chlorophyll pigments at the optimal level and preventing their destruction, increasing proline accumulation and activity of catalase and guaiacol peroxidase enzymes, prevention of cell membrane destruction and reduction of ion leakage, were suitable criteria for assessing salinity tolerance and identifying rice tolerant genotypes. The varieties Gharib Siah Reihani, Xudao9, Nagdong, Pokkali, Zayandehroud and Seng-e Tarom as well as a mutant line of Nemat variety were salinity tolerant genetic resources and can be used in breeding programs of salinity tolerance in rice.

Keywords: Accumulation plot, Funnel plot, Homogeneity, Potassium, Sodium

Received: January 4, 2024

Accepted: March 10, 2024

Cite this article:

Sharifi, P. (2024). Meta-analysis of the effect of salinity stress on grain yield, yield components and physiological characteristics in rice (*Oryza sativa* L.). *Cereal Research*, 14(1), 1-28. doi: [10.22124/CR.2024.26628.1808](https://doi.org/10.22124/CR.2024.26628.1808).



فرا تحلیل اثر تنش شوری بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک در برنج (*Oryza sativa* L.)

پیمان شریفی^{*۱}

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران (* نویسنده مسئول: sharif@iaurasht.ac.ir)

چکیده جامع

مقدمه: گیاه برنج اغلب بسیار حساس به شوری در هر دو مرحله گیاهچه‌ای و زایشی است. نمک و املاح اضافی موجود در خاک یا آب آبیاری می‌تواند خسارت‌های فراوانی به گیاه وارد کند، به طوری که رشد طبیعی گیاه را مختل و پتانسیل عملکرد واقعی واریته‌های برنج را محدود کند. پژوهش‌های زیادی در زمینه تأثیر تنش شوری در برنج انجام شده است. اگرچه هر پژوهش به طور جداگانه دارای ارزش ویژه‌ای است، اما نتایج این پژوهش‌ها متفاوت بوده و جمع‌بندی جداگانه آن‌ها جهت دستیابی به یک نتیجه جامع و فراگیر دشوار خواهد بود. در روش فراتحلیل یا متا آنالیز (Meta-analysis)، تجزیه و تحلیل آماری تعداد زیادی از پژوهش‌ها انجام می‌شود و با بررسی همپوشانی نتایج مطالعات کوچک‌تر، برآیندی کلی از یافته‌های تمامی این پژوهش‌ها به دست می‌آید و بنابراین از اعتبار بیشتری برخوردار است. هدف از مطالعه حاضر، فراتحلیل نتایج مطالعات انجام شده در زمینه اثر تنش شوری در برنج بود.

مواد و روش‌ها: برای دستیابی به داده‌های لازم برای انجام مطالعه حاضر، واژه‌های کلیدی فارسی شامل «برنج»، «تنش شوری»، «عملکرد دانه»، «اجزای عملکرد»، «NaCl»، «رنگیزه‌های فتوسنتزی»، «میزان سدیم»، «میزان پتاسیم»، «مرحله رشد رویشی» و «مرحله رشد زایشی» و یا معادل انگلیسی این واژه‌ها از بانک‌های اطلاعاتی پژوهش‌های زراعی نظیر SID, Magiran, Elsevier و Google جستجو شد. تنش شوری نیز در دو سطح شامل تنش ملایم (۴ دسی‌زیمنس بر متر) و تنش شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر) در نظر گرفته شد. در این راستا، از ۵۰ پژوهش بررسی شده با موضوع تأثیر تنش شوری بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد، محتوای عناصر و ویژگی‌های فتوسنتزی برنج، ۳۸ مقاله انتخاب و داده‌های آن‌ها استخراج شد. برای تحلیل آماری داده‌های استخراج شده و رسم نمودارهای مربوطه از نرم‌افزار جامع فراتحلیل (CMA) استفاده شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج حاصل از آماره‌های آزمون همگنی داده‌های استخراج شده از پژوهش‌های قبلی (I^2 و τ^2) نشان داد که برای عملکرد دانه و تعداد خوشه در بوته در تنش شوری شدید (۸ دسی‌زیمنس بر متر) و ارتفاع بوته در تنش ملایم (۴ دسی‌زیمنس بر متر)، ناهمگنی بین مطالعات پایین و غیر معنی‌دار بود و از این رو از مدل ثابت در فراتحلیل بهره گرفته شد. در مقابل، برای سایر صفات مورد مطالعه در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید شوری، میزان ناهمگنی بین مطالعات، بالا و معنی‌دار بود و بنابراین از مدل تصادفی استفاده شد. اندازه اثر کلی برای عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و میزان پتاسیم در هر دو شرایط تنش شدید و ملایم شوری در سمت چپ محور صفر قرار گرفت که بیانگر کاهش معنی‌دار این صفات تحت شرایط تنش بود، اما برای میزان سدیم در هر دو شرایط تنش شدید و ملایم شوری در سمت

راست محور صفر گرفت که نشان دهنده تأثیر افزایش تنش شوری بر میزان سدیم گیاه بود. نتایج به دست آمده از اندازه اثر کلی، کاهش کلروفیل‌های a و b را در هر دو شرایط و کاروتنوئید را در شرایط تنش ملایم نشان داد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه به ترتیب با کاهش ۷۲/۸ و ۱۱۸/۹ در صدی به ترتیب در سطوح تنش شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، حساس‌ترین و آسیب‌پذیرترین صفت نسبت به تنش بود. همچنین، کاهش تعداد خوشه در بوته در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب ۳۰/۴۲ و ۳۵/۲۹ درصد و کاهش تعداد دانه پر در خوشه به ترتیب ۲۵/۱۶ و ۵۷/۸۴ درصد بود. بنابراین، میزان کاهش تعداد خوشه در بوته در تنش شوری ملایم (۴ دسی‌زیمنس بر متر) بیش تر از تعداد دانه پر در خوشه بود، اما با افزایش سطح شوری به ۸ دسی‌زیمنس بر متر (تنش شدید)، تعداد دانه پر در خوشه تأثیر بیش تری پذیرفت و حساسیت بیش تری نسبت به تعداد خوشه در بوته در سطوح بالاتر تنش شوری نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش تعداد خوشه‌های بارور و تعداد دانه پر در خوشه، سطوح بالاتر پتا سیم و پایین تر سدیم، کاهش نسبت Na^+/K^+ ، حفظ میزان رنگیزه‌های کلروفیل در حد مناسب و جلوگیری از تخریب آن‌ها، افزایش تجمع پرولین، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز، جلوگیری از تخریب غشای سلولی و کاهش نشت یونی، معیارهای انتخاب مناسبی برای ارزیابی تحمل به شوری و شناسایی ژنوتیپ‌های برنج متحمل هستند. همچنین، رقم‌های Pokkali, Nagdong, Xudao9، غریب سیاه ریحانی، زاینده‌رود، سنگ طارم و یک لاین موتانت از رقم نعمت، به عنوان منابع ژنتیکی متحمل به شوری بودند و بنابراین می‌توان از آن‌ها در برنامه‌های به‌نژادی تحمل به شوری در برنج استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، سدیم، نمودار انباشت، نمودار قیفی، همگنی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

نحوه استناد به این مقاله:

شریفی، پیمان. (۱۴۰۳). فراتحلیل اثر تنش شوری بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک در برنج (*Oryza sativa* L.). تحقیقات غلات، ۱۴(۱)، ۲۸-۱. doi: [10.22124/CR.2024.26628.1808](https://doi.org/10.22124/CR.2024.26628.1808)

مقدمه

برنج یکی از مهم ترین گیاهان زراعی است و نقش مهمی در تأمین کالری بخش بزرگی از جمعیت جهانی را دارد (Mirdar Mansuri *et al.*, 2020). برنج به عنوان یک محصول اغلب بسیار حساس به تنش شوری در هر دو مرحله گیاه چهای و زایشی طبقه بندی می شود و کمک اضافی موجود در خاک می تواند سبب خسارت های فراوانی برای آن شود. این تنش، به رشد طبیعی گیاه زیان وارد می کند، پتانسیل عملکرد واقعی واریته های برنج را محدود می کند و یکی از مانع های عمده در افزایش تولید برنج در سراسر جهان است (Sharifi, 2020). شوری خاک یک مشکل عمده در کشاورزی است، زیرا تجمع بالای یون Na^+ در گیاهان باعث ایجاد سمیت می شود که می تواند منجر به کاهش عملکرد شود (Farooq *et al.*, 2021).

پژوهش های زیادی در زمینه تأثیر تنش های محیطی در برنج انجام شده است. اگرچه هر پژوهش به طور جداگانه دارای ارزش ویژه ای است، اما نیاز است که نتیجه هر کدام از آنها به همراه نتایج پژوهش های دیگر بررسی شوند تا نتیجه ای فراگیر به دست آید. اگر پژوهشگری بخواهد همه این مطالعات را مرور کند، رسیدن به یک نتیجه فراگیر دشوار خواهد بود. اما اگر نتیجه به دست آمده حاصل تجزیه و تحلیل آماری تعداد زیادی از پژوهش های مختلف باشد (که به آن فراتحلیل یا Meta-analysis گفته می شود)، از نظر آماری می توان گفت که از این سلسله مطالعات چه نتایجی به دست آمده است. هدف از این نوع تجزیه، به دست آوردن اطلاعاتی بیش تر نسبت به اطلاعات موجود در پژوهش ها است که با بررسی هم پوشانی نتایج مطالعات کوچک تر و با استفاده از یک یا چند تحلیل آماری به دست می آید. با توجه به اینکه این اطلاعات حاصل نتایج چندین پژوهش است، از اعتبار بیشتری برخوردار است (Gurevitch *et al.*, 1992; Gurevitch & Hedges, 1999; Hedges *et al.*, 1999).

از آنجا که مدل های فراتحلیل مبتنی بر اثرات ثابت و تصادفی هستند، بنابراین انتخاب نوع مدل در انجام فراتحلیل بسیار مهم است. برای ارزیابی همگنی مطالعات از شاخص های I^2 و Tau^2 استفاده می شود تا بر اساس آن، درباره ادامه فراتحلیل بر پایه مدل تصادفی یا ثابت تصمیم گیری شود. معیار انتخاب مدل مناسب در فراتحلیل، آزمون های ناهمگنی است. معنی دار بودن آزمون ناهمگنی، بیانگر این است که مطالعات حاضر در فراتحلیل،

از جهات مختلف مانند شیوه نمونه گیری، طرح تحقیق و غیره ناهمگن هستند و بنابراین باید از مدل اثرات تصادفی بهره گرفته شود. در صورت معنی دار نبودن آزمون، استفاده از مدل اثرات ثابت مانع است. در وضعیت ناهمگنی، نتایج حاصل از یک مدل با اثرات تصادفی قابلیت تعمیم بیشتری نسبت به یک مدل با اثرات ثابت دارند. معیار Tau^2 ، توزیع اندازه های اثر واقعی پیرامون میانگین (Distribution of true effect sizes about the mean) و معیار I^2 ، نسبت واریانس در ست به دلیل تفاوت در اندازه اثر (Proportion of variance that is due to differences about effect size) را بیان می دارند. به بیانی دیگر، معیار I^2 درصد تغییرات ناشی از ناهمگنی (و نه شانس) را بین مطالعات توصیف می کند (Higgins *et al.*, 2003). معیار Tau^2 نشان دهنده واریانس بین مطالعه در یک فراتحلیل با اثرات تصادفی است که تخمینی از میزان ناهمگنی یا تنوع واقعی بین اندازه اثر مطالعات وارد شده در مدل می باشد. تخمین برابری با صفر برای معیار Tau^2 نشان می دهد که هیچ تنوع قابل توجهی بین مطالعات فرا تر از آنچه که به طور تصادفی انتظار می رود، وجود ندارد. به عبارت دیگر، بیانگر آن است که اندازه اثر مطالعات در زیر گروه یکسان و همگن است. هنگامی که مطالعات اندکی وجود داشته باشند یا زمانی که تخمین اثر نادقیق باشد، تخمین معیار Tau^2 قابلیت اعتماد کمتری دارد (Higgins *et al.*, 2003).

مطالعات زیادی در زمینه تأثیر تنش شوری بر عملکرد، اجزای آن، ویژگی های کیفی و همچنین محتوای عناصر در برنج انجام شده است. بیابانی و همکاران (Biabani *et al.*, 2012) با ارزیابی چهار رقم برنج تحت تنش شوری صفر، ۰.۴، ۰.۸ و ۱.۲ دسی زیمنس بر متر نشان دادند که اعمال تنش شوری سبب کاهش صفات تعداد دانه پر در خوشه، تعداد خوشه در بوته و میزان جذب پتاسیم و افزایش میزان جذب سدیم شد. حبیب الهی و همکاران (Habibollahi *et al.*, 2012) با اندازه گیری رنگدانه های فتوسنتزی گیاه چه های ۲۵ روزه دو رقم برنج که به مدت ۹۶ ساعت در معرض تنش شوری قرار گرفته بودند، نشان دادند که میزان رنگدانه های فتوسنتزی در رقم متحمل زاینده رود به طور معنی داری کاهش یافت، در حالی که در رقم حساس خزر با وجود کاهش معنی دار نبود. سعیدپور و همکاران (Saedipour *et al.*, 2015) با بررسی اثر تنش شوری در دو ژنوتیپ برنج نشان دادند که

قدیرنژاد شیده و همکاران (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2020) با ارزیابی پنج لاین موتانت برنج در سه سطح تنش شوری (صفر، ۴۵ و ۷۵ میلی مولار بر لیتر) نشان دادند که با افزایش سطح تنش، واکنش لاین ها از نظر میزان کلروفیل a و b متفاوت بود. مجیدی مهر و امیری فها یانی (Majidi-Mehr & Amiri-Fahlani, 2021) با ارزیابی واکنش ۱۱ ژنوتیپ برنج در چهار سطح شوری (صفر، ۴۴، ۸۸ و ۱۳۲ میلی مولار) نشان دادند که افزایش سطح شوری، سبب کاهش محتوای نسبی کلروفیل و عملکرد دانه شد. کامروا و همکاران (Kamrava *et al.*, 2021) با ارزیابی اثر تنش شوری در چهار سطح صفر، ۳، ۶ و ۹ دسی زیمنس بر متر در رقم برنج در محیط هیدروپونیک نشان دادند که محتوای یون سدیم با افزایش شوری تا ۹ دسی زیمنس بر متر افزایش و مقدار کلروفیل a و b و پتاسیم کاهش یافت. افخمی قادی و همکاران (Afkhami Ghadi *et al.*, 2021) با ارزیابی نه ژنوتیپ برنج تحت سه سطح تنش شوری ناشی از کلرید سدیم (صفر، ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر)، کاهش عملکرد را در اثر تنش شوری نشان دادند. رافالیاریونی و همکاران (Rafaliarivony *et al.*, 2022) با ارزیابی ۷۲ ژنوتیپ برنج تحت تنش شوری در دو آزمایش مزرعه‌ای (۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر) و گلدانی (صفر، ۴ و ۸ دسی زیمنس بر متر) نشان دادند که صفات ارتفاع بوته، تعداد خوشه و عملکرد دانه تحت تأثیر تنش شوری قرار گرفتند. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2022) اثر معنی‌دار تنش شوری را بر ظرفیت جذب یون‌های K، Na و Cu گزارش کردند. آن‌ها نشان دادند که با افزایش میزان شوری، در صد گنجی، میزان آمیلوز و قوام ژل در سطوح پایین‌تر تنش شوری افزایش یافت و سپس با افزایش بیش‌تر میزان شوری، از میزان این صفات کاسته شد. سونونه و همکاران (Sonone *et al.*, 2023) نشان دادند که با افزایش سطح تنش شوری، میزان هر دو رنگدانه کلروفیل a و b کاهش یافت. مطالعات دیگر نیز تأثیر تنش شوری را بر کاهش عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژی یک برنج گزارش کرده‌اند (Zeng *et al.*, 2002; Ali *et al.*, 2004; Moradi & Ismail, 2007; Mohammadi-Nejad *et al.*, 2010; Sharifi, 2012 a, b; Sharifi *et al.*, 2012; Sadradini & Salahshour Dalivand, 2012; Fallah *et al.*, 2012; Sharifi, 2013; Mirdar Mansuri *et al.*, 2014; Rezaei *et al.*, 2014; Salahshour Dalivand *et al.*, 2014; Mortezaeinejad *et al.*, 2016; Bhusan *et al.*, 2016; Musavizadeh

با آنکه نسبت K^+/Na^+ ممکن است به خوبی مقاومت به شوری را نشان ندهد، اما با توجه به تجمع اندک یون Na^+ تحت تنش شوری در لاین مقاوم در مقایسه با لاین حساس، پیشنهاد دادند که اجتناب از تجمع بیش از حد یون Na^+ یا تحمل به آن می‌تواند مقاومت به شوری را در برنج آسان کند. ایشان همچنین بیان داشتند که نتایج به ظاهر متناقض در این زمینه در مطالعات مختلف می‌تواند به تنوع در سطح تنش شوری، زمان اعمال شوری و یا نوع واریته برگردد. شکایلا و همکاران (Shakeela *et al.*, 2016) با ارزیابی واکنش چهار ژنوتیپ برنج به تنش شوری در مراحل اولیه گیاهچه‌ای نشان دادند که شوری میزان پتاسیم و محتوای کاروتنوئید را در ژنوتیپ‌های برنج کاهش داد، اما با افزایش تنش شوری بر میزان محتوای سدیم، آسیب‌گشایی، محتوای کلروفیل و مقدار کل‌فنل افزوده شد، هرچند واکنش ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. سعیدزاده و همکاران (Saeidzadeh *et al.*, 2016) با ارزیابی ۱۰ ژنوتیپ برنج در خاک غیر شور (۳۶/۰ دسی زیمنس بر متر) و شور (۷۷/۴ دسی زیمنس بر متر)، نشان دادند که با وجود واکنش متفاوت از قلم به تنش شوری، از عملکرد آن‌ها به میزان معنی‌داری کاسته شد. کبریا و همکاران (Kibria *et al.*, 2017) با ارزیابی اثر تنش شوری (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی مول بر لیتر NaCl) بر چهار ژنوتیپ برنج نشان دادند که تنش شوری سبب کاهش ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، رنگ‌بزه کلروفیل و میزان پتاسیم شد. فروغ و همکاران (Forough *et al.*, 2018) با ارزیابی رقم هاشمی و لاین موتانت پیشرفته حاصل از آن تحت تنش شوری نشان دادند که لاین موتانت با داشتن مقادیر بیش‌تر یون K^+ و کم‌تر یون Na^+ در بخش‌های هوایی خود، دارای مقاومت بیش‌تری بود. چانا و همکاران (Channa *et al.*, 2019) با ارزیابی ده ژنوتیپ برنج تحت سه سطح شوری صفر، ۶ و ۹/۱ دسی زیمنس بر متر، ضمن مشاهده افزایش یون سدیم و کاهش یون پتاسیم در کاه و دانه ژنوتیپ‌ها در اثر تنش شوری، واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها را به تنش شوری نشان دادند. ایراکوز و همکاران (Irakoze *et al.*, 2020) با ارزیابی اثر تنش شوری در دو سطح صفر و ۳۰/۴ دسی زیمنس بر متر از دو منبع $NaCl$ و Na_2SO_4 در دو ژنوتیپ برنج مشاهده کردند که شوری ناشی از $NaCl$ به شدت محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی را کاهش داد، اما شوری حاصل از Na_2SO_4 اثری بر آن‌ها نداشت.

et al., 2018; Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019; Amiri *et al.*, 2019; Shankar *et al.*, 2021; Anshori *et al.*, 2021; Nasrudin *et al.*, 2022; (Taratima *et al.*, 2022; Taratima *et al.*, 2023).

با آنکه مطالعات زیادی در زمینه تأثیر تنش شوری بر صفات مختلف برنج انجام شده است، اما این نتایج کم تر در قالب فراتحلیل ارائه شده اند. در یکی از معدود مطالعات انجام شده در این زمینه، غروی بایگی و همکاران (Gharavi Baigi *et al.*, 2018) با فراتحلیل نتایج ۱۴ مطالعه، نشان دادند که تحت شوری در دامنه صفر تا چهار تا هشت و بیش تر از هشت دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب عملکرد دانه ۲۷، ۶۳ و ۸۴ درصد کاهش یافت. همچنین، ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2023) با فراتحلیل ۵۸ مطالعه انجام شده در زمینه پاسخ عملکرد و صفات کیفی دانه برنج به تنش شوری نشان دادند که در اثر کاهش صفاتی مانند میزان تشکیل دانه، تعداد خوشه‌های بارور و تعداد دانه در خوشه در اثر تنش شوری، عملکرد دانه به میزان ۶۴/۵۲ درصد (با حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۶۲/۴۴ تا ۶۶/۴۹ درصد)، کاهش یافت. ایشان همچنین نشان دادند که شوری میزان دانه سالم را کاهش و درصد گچی بودن دانه برنج را افزایش داد.

شوری از طریق اختلال در هر یک از فرآیندهای فتوسنتز، انتقال مواد تولید شده از فتوسنتز به دانه و رشد دانه طی دوره پر شدن دانه‌ها، می‌تواند سبب کاهش ماده خشک دانه‌ها شود (Nguyen & Nguyen, 2007). کاهش محتوای کلروفیل در ارقام برنج تحت تنش شوری می‌تواند ناشی از اختلال در غشای تیلاکوئیدها، تخریب مولکول‌های کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و عدم ثبات کمپلکس پروتئین-رنگ‌باز و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و کلسیم و افزایش سطح گونه‌های اکسیژن فعال باشد (Hosseini *et al.*, 2012). همچنین فراتر رفتن غلظت یونی در گیاه از حد آستانه‌ای آن، سبب سمیت برای آن گیاه، اختلال در جذب و یا متابولیسم عناصر ضروری در قسمت‌های مختلف گیاهی و در نتیجه کاهش رشد می‌شود. تنظیم جذب یون‌ها و جایگزینی آن‌ها در داخل اندامک‌ها، سلول‌ها و بافت‌ها، اساس تحمل به شوری در گیاهان عالی است. یکی از مکانیزم‌های تحمل به شوری در ارقام متحمل، کاهش ورود یون سدیم به درون بافت‌ها است (Zhang *et al.*, 2018). همچنین مکانیزم‌هایی در جهت جذب مجدد و ذخیره کردن سدیم در سلول‌های

پارانشیم آوند چوبی یا انتقال مجدد یون سدیم از اندام‌های هوایی به طرف ریشه توسط آوند آب‌کشی و انباشته شدن آن در ریشه گونه‌های محتمل به تنش شوری معرفی شده‌اند (Farooq *et al.*, 2021). سرعت کم انتقال یون سدیم در ژنوتیپ‌های محتمل، به دلیل سیستم جذب ریشه آن‌ها است که جذب و انتقال نمک را کنترل می‌کند. در ریشه‌های این دسته از گیاهان، اصولاً جریان یون سدیم به سمت بیرون و در فضای بیرونی آن‌ها است (Orooj & Ashraf, 2006). مکانیزم دیگر در ارتباط با یون پتاسیم است که در ارقام حساس، این یون بیشتر در ریشه‌ها ذخیره می‌شوند، در صورتی که ارقام متحمل، یون پتاسیم را به ساقه‌ها و اندام‌های هوایی انتقال می‌دهند. تا بتوانند تنظیم اسمزی انجام دهند (Zhang *et al.*, 2018). از دیگر مکانیزم‌های مقاومت به شوری، کنترل سطوح شوری در برگ‌ها از طریق رقیق کردن نمک‌ها با رشد بیش تر گیاه و اختصاص املاح به برگ‌های پیر تر است، به طوری که در اثر تجمع نمک، برگ‌های پیر در ژنوتیپ‌های متحمل از بین می‌روند، ولی گیاه برای حفظ سطح فتوسنتزکننده و رشد به تولید برگ‌های جدید ادامه می‌دهد و تجمع نمک را در نقاط رشد شدیداً کنترل می‌کند (Singh & Sakar, 2014). در ارتباط با فتوسنتز نیز نشان داده شده است که در ارقام متحمل با اعمال تنش شوری، کاهش میزان کلروفیل دیر تر و با شیب ملایم تری رخ می‌دهد (Musavizadeh *et al.*, 2018). همچنین در چنین ارقامی، کاروتنوئیدها می‌توانند با ممانعت از تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن و یا از طریق خاموش کردن کلروفیل برانگیخته شده، میزان آسیب ناشی از تنش را کاهش دهند (Adams III *et al.*, 2002). در ارقام متحمل به شوری، سطح بالای کربوهیدرات، تجزیه کم تر کلروفیل یا تأخیر در تجزیه آن نیز دیده می‌شود، که نقش اساسی در تنظیم اسمزی برای مکانیزم دفاعی در برابر شوری را دارد (Siringam *et al.*, 2012; Saedipour *et al.*, 2015). علاوه بر این، نگه داشتن یون‌های K^+ و Na^+ به ترتیب در غلظت‌های بالا و پایین در سیتوزول، خارج کردن مقدار اضافی یون Na^+ به بیرون و یا جمع‌آوری آن در واکوئل‌ها از دیگر مکانیزم‌های تحمل به شوری در گیاهان متحمل است (فایل تکمیلی). در ضمیمه ۲ فایل تکمیلی، علاوه بر معرفی مهم‌ترین مکانیزم‌های تحمل به شوری، به روش‌های اصلاحی مرتبط با مقاومت به تنش

از تحلیل مولکولی صفات هم وجود داشت، اما به دلیل ارتباط نداشتن با موضوع فراتحلیل این مطالعه، اشاره‌ای به آن‌ها نشد. اگر در مقاله‌ای انحراف معیار وجود نداشت، انحراف معیار از دو تا پنج آزمایش با نسبت‌های مشابه برآورد شد (Valkama et al., 2009).

در مقالات ارزیابی شده، تنش شوری بیش‌تر در سطوح صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ سی‌زیمنس بر متر عمق حاصل شده بودند. برای انجام فراتحلیل، سطح صفر به عنوان شاهد، سطح ۴ به عنوان تنش ملا یم و سطح ۸ به عنوان تنش شدید در نظر گرفته شد. البته در چند مطالعه، سطوح ۵ و ۶ یا ۹ و ۱۰ نیز به ترتیب به عنوان سطوح شوری ملا یم و شدید در تجزیه‌ها وارد شدند. در ادامه فراتحلیل هر یک از صفات به تفکیک برای تنش ملا یم و شدید انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری

محاسبات آماری فراتحلیل به وسیله گورویچ و همکاران (Gurevitch et al., 1992) و هجز (Hedges et al., 1999) و هجز و همکاران (Hedges et al., 1999) ارائه شده است. گام نخست در اجرای فراتحلیل، محاسبه اندازه اثر (Effect size) است که با روش‌های مختلفی محاسبه می‌شود. از جمله این روش‌ها، تعیین اندازه اثر با استفاده از شاخص کوهن (d) است که تفاوت استاندارد شده بین میانگین تیمار شاهد و تیمارهای آزمایشی را محاسبه می‌کند. هر مطالعه‌ای با مقدار بزرگ‌تر تفاوت استاندارد شده بین میانگین تیمارها (Standard Mean Difference, SMD)، دارای تفاوت بیش‌تر بین میانگین صفت در دو شرایط شاهد و اعمال تیمار (تنش) می‌باشد. بنابراین، برای هر یک از صفات، اندازه اثر از آزمایش‌های مستقل بررسی شده در دو سطح تنش شوری ملا یم و شدید محاسبه شد (رابطه ۱):

$$d = \frac{\bar{X}_t - \bar{X}_c}{S_p} \quad (1)$$

که در آن، \bar{X}_t و \bar{X}_c به ترتیب میانگین تیمارهای تنش شوری و شاهد و S_p اشتباه استاندارد ادغام شده دو گروه است. مقدار S_p با رابطه (۲) محاسبه شد:

$$S_p = \sqrt{\frac{[(N_t - 1) \times S_t^2] + [(N_c - 1) \times S_c^2]}{N_t + N_c - 2}} \quad (2)$$

که در آن، S_t^2 و S_c^2 به ترتیب واریانس تیمار شاهد و تیمار تنش شوری و N_t و N_c به ترتیب تعداد تکرار تیمار شاهد و تنش شوری هستند.

شوری و همچنین برخی از یافته‌ها در این زمینه اشاره شده است.

جستجو در سایت‌های مختلف مانند sid، Magiran و Google نشان می‌دهد که پژوهش‌های زیادی در زمینه ارزیابی اثر تنش شوری در برنج با روش فراتحلیل انجام شده است. از این رو، هدف از این مطالعه، استفاده از فراتحلیل برای تلفیق نتایج مطالعات انجام شده در رابطه با اثر تنش شوری در برخی از صفات برنج و استخراج مکانیسم‌ها و تحلیل نقاط ضعف و قوت این مطالعات بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها

برای دستیابی به داده‌های لازم برای انجام مطالعه حاضر، کلید واژه‌های «برنج»، «تنش شوری»، «عملکرد دانه»، «جزای عمل کرد»، «NaCl»، «رنگیزه‌های فتوسنتزی»، «میزان سدیم»، «میزان پتاسیم»، «مرحله رشد رویشی»، «مرحله رشد زایشی» و «معدله انگلیسی هر کدام از این کلید واژه‌ها در بانک‌های اطلاعاتی پژوهش‌های زراعی جستجو شد. در این راستا، ۵۰ پژوهش با موضوع تأثیر تنش شوری بر عملکرد، جزای عمل کرد، محتوای عناصر و رنگیزه‌های برنج انتخاب و از میان آن‌ها، ۳۸ مقاله (جدول تکمیلی ۱) متناسب با این فراتحلیل استفاده شد. مقالات از سایت بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)، Elsevier، sid و Google گرفته شدند و زمان انتشار آن‌ها بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۲ و ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ بود. معیارهای ارزیابی و انتخاب مقاله‌ها، وجود محصول مشترک (برنج)، اطلاعات مربوط به تیمار (تنش شوری) و شاهد به عنوان متغیر مستقل و حداقل یکی از صفات مورد نظر به عنوان متغیر وابسته بود (جدول تکمیلی ۱). در مقاله‌هایی که نتایج به صورت نمودار ارائه شده بودند، از نرم‌افزار GetData، برای استخراج داده‌ها از شکل‌ها استفاده شد. اگر آزمایش شامل تیمارهای اضافی مانند آبیاری، تیمار کودی و ... بود، فقط از گروه‌های شاهد و تنش شوری در فراتحلیل استفاده شد. اطلاعات استخراج شده در این مطالعه، مربوط به حدود ۴۰۰ ژنوتیپ برنج ارزیابی شده در مقاله‌های مختلف است. صفات مورد نظر در این فراتحلیل شامل عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه، محتوای سدیم و پتاسیم در دانه و اندام‌های رویشی و کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئید در برگ بود. در برخی از این مقالات، جزئیاتی

$$W_i = \frac{1}{V_d} \quad (9)$$

در نهایت، یک اثر انباشته یا کل (Aggregate or Total effect) (d^*) محاسبه شد که اختلاف استاندارد شده بین تیمارهای شاهد و تنش شوری برای همه آزمایش‌های بررسی شده می‌باشد (رابطه ۱۰):

$$d^* = \frac{\sum w_i d_i}{\sum w_i} \quad (10)$$

انحراف معیار اندازه اثر کل یا انباشته (S_{d^*}) نیز با استفاده از رابطه (۱۱) برآورد شد:

$$S_{d^*} = \sqrt{\frac{1}{\sum W_i}} \quad (11)$$

واپسین گام در فراتحلیل، آزمون معنی‌داری d^* است. برای این منظور، فاصله اطمینان d^* با استفاده از انحراف معیار آن (S_{d^*}) محاسبه می‌شود. اگر این فاصله اطمینان با صفر همپوشانی داشته باشد، اندازه اثر تجمعی انباشته یا یکپارچه (Cumulative cohesive effect) (d^*) معنی‌دار نیست، به این معنی که تیمار شاهد با تیمار تنش تفاوت معنی‌داری ندارد، در غیر این صورت، اختلاف تیمار تنش با شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر از صفر است و نشان می‌دهد که اثر تیمار تنش روی صفت مورد نظر معنی‌دار بوده است.

تعیین همگنی نتایج و احتمال سوگیری در مقالات بررسی شده، از دیگر اهداف فراتحلیل است. روش‌های گوناگونی برای تعیین همگنی مطالعات ارائه شده است که یکی از آن‌ها ضریب مربع I (I-squared) است که با رابطه (۱۲) محاسبه شد (Higgins *et al.*, 2003):

$$I^2 = \frac{Q - df}{Q} \times 100 \quad (12)$$

که در آن، Q مقدار عددی ضریب کوکران است که بر اساس مجموع وزنی مربع تفاوت‌های بین تأثیر هر یک از مطالعات (به‌طور جداگانه) با تأثیر تجمعی آن‌ها محاسبه می‌شود (Gavaghan *et al.*, 2000). مربع I، شاخصی از ضریب کوکران است که مستقیماً در صد ناهمگنی بین نتایج را نمایش می‌دهد. عموماً اگر مقدار این مربعات بیش از ۵۰ درصد باشد، نشان‌دهنده ناهمگنی زیاد در نتایج است (Higgins & Thompson, 2002). آزمون Q کوکران (Cochran's Q test)، آزمونی سنتی برای ارزیابی ناهمگنی در فراتحلیل است. این آزمون بر اساس توزیع مربع کای، احتمالی را محاسبه می‌کند که اگر مقدار

اگر در مطالعه‌ای، مقدار انحراف معیار (SD) گزارش شده بود، با رابطه (۳) به اشتباه استاندارد (Sp) تبدیل شد (تعداد تکرار است)، و در صورت ذکر نشدن مقدار انحراف معیار، مقدار Sp بر اساس میانگین مربعات خطای آزمایش (MS_E) ارائه شده در مطالعه مربوطه با استفاده از رابطه (۴) برآورد شد:

$$S_p = \frac{SD}{\sqrt{r}} \quad (3)$$

$$S_p = \sqrt{\left(\frac{N_t + N_c - 2}{N_t + N_c} \right) MS_E} \quad (4)$$

نرم‌افزار جامع فراتحلیل (Comprehensive Meta-Analysis)، اختلاف معنی‌دار استاندارد شده (d) را محاسبه و آن را در فاکتور تصحیح (J) ضرب می‌کند تا اختلاف معنی‌دار استاندارد تصحیح شده برای اریب هجز یا اندازه اثر هجز (Hedges g) برآورد شود. J ضریب اصلاحی برای اریب انحراف استاندارد شده مقادیر میانگین است که از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$J = 1 - \left[\frac{3}{4(df_t + df_c) - 1} \right] = 1 - \left[\frac{3}{4df_t - 1} \right] \quad (5)$$

در این رابطه، df_t و df_c به ترتیب درجه آزادی تیمار تنش شوری و شاهد و $df_t = N_t - 2$ می‌باشد که در آن، N_t تعداد کل تکرار آزمایش است. برای مثال، اگر در آزمایشی، سه تکرار برای تیمار تنش شوری و سه تکرار برای تیمار شاهد وجود داشته باشد، N_t برابر با ۶ خواهد بود.

اختلاف معنی‌دار استاندارد تصحیح شده برای اندازه اثر هجز (g) و خطای معیار (SE) مربوطه به ترتیب با رابطه‌های (۶) و (۷) محاسبه شدند:

$$g = d \times J \quad (6)$$

$$SE(g) = SE(d) \times J \quad (7)$$

از آنجایی که تمامی آزمون‌های بررسی شده از دقت یکسانی برخوردار نیستند، بنابراین نیاز است میزان دقت متناسب با هر آزمایش (Proportional to its accuracy) محاسبه و سپس میزان تأثیر آن آزمایش با این نسبت دقت برآورد شده، تعدیل شود. از این‌رو، ابتدا واریانس اندازه اثر برای هر آزمایش (V_d) با رابطه (۸) محاسبه شد:

$$V_d = \left[\frac{n_c + n_t}{n_c \times n_t} \right] + \left[\frac{d^2}{2n(n_c + n_t)} \right] \quad (8)$$

از آنجا که عکس این واریانس، بیانگر وزن آزمایش است، بنابراین هر آزمایشی با واریانس کم‌تر، وزن بیشتری خواهد داشت. وزن هر آزمایش با رابطه (۹) برآورد شد:

آن بزرگ باشد، نشان‌دهنده تنوع بیش تر داده ها در بین مطالعات نسبت به داده‌های متعلق به یک مطالعه است. تمامی محاسبات و نمودارها با نرم‌افزار جامع فراتحلیل (CMA) انجام شدند (Borenstein *et al.*, 2005).

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آزمایش‌های بررسی اثر تنش شوری بر برخی از صفات برنج

میانگین، خطای معیار و دامنه هر یک از صفات مطالعه شده در شرایط شاهد (بدون تنش) و تنش ملایم و شدید شوری و میزان کاهش یا افزایش صفات در مقایسه با تیمار شاهد در جدول ۱ ارائه شده است. توضیح این‌که، با توجه به تنوع مقاله‌های بررسی شده، میانگین صفات در شاهد‌های مربوط به دو شرایط تنش شدید و ملایم شوری متفاوت بودند. دیگر این‌که، در هنگام محاسبه آماره‌های توصیفی، برای صفاتی نظیر عملکرد دانه، میزان سدیم، پتاسیم، کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئید، مقیاس صفات از مقاله‌های مختلف همسان‌سازی شدند. میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم شوری و شاهد بدون تنش در مقاله‌های مختلف، به ترتیب برابر با ۱۰/۶۴ و ۱۸/۳۹ گرم در بوته بود. مقایسه این دو عدد، کاهش ۷۲/۸ درصدی عملکرد دانه را در همه ارقام مطالعه شده در این پژوهش‌ها تحت تنش شوری ملایم نشان داد. در این فراتحلیل، با توجه به حجم انبوهی از ژنوتیپ‌های استفاده شده (حدود ۴۰۰ ژنوتیپ)، نتایج برای ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به تفکیک مورد بررسی قرار نگرفت. البته همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، شناسایی ژنوتیپ حساس یا متحمل هدف این فراتحلیل نبود. در شرایط تنش شدید شوری، میانگین عملکرد دانه ۹/۳۱ گرم در بوته بود که در مقایسه با شاهد بدون تنش (۲۰/۴۰ گرم در بوته)، کاهش ۱۱۸/۹۹ درصدی را نشان داد. میانگین ارتفاع بوته در شرایط تنش ملایم شوری در مرحله زایشی، ۸۳/۶۱ سانتی‌متر بود که کاهش ۱۵/۹۹ درصدی را در مقایسه با شرایط بدون تنش (۹۶/۹ سانتی‌متر) نشان داد. تنش شدید شوری، ارتفاع بوته را به میزان ۲۴/۰۴ درصد، یعنی از ۹۸/۹۲ سانتی‌متر در شرایط بدون تنش به ۷۹/۷۴ در شرایط تنش شدید کاهش داد. تعداد خوشه در بوته در شرایط بدون تنش شوری ۱۵/۲۶ خوشه بود، حال آنکه در شرایط تنش ملایم شوری به ۱۱/۷۰ خوشه رسید و کاهش ۳۰/۴۲ درصدی داشت. در شرایط تنش شدید شوری،

تعداد خوشه در بوته، ۱۱/۶۹ بود که در مقایسه با ۱۵/۸۱ در شرایط بدون تنش شوری، کاهش ۳۵/۲۹ درصدی نشان داد. تعداد دانه در خوشه نیز در شرایط بدون تنش شوری، ۹۷/۷۱ عدد بود که با اعمال تنش ملایم شوری، با کاهش ۲۵/۱۶ درصدی به ۷۸/۰۶ رسید. در شرایط تنش شدید شوری، تعداد دانه در خوشه به میزان بیش‌تری تحت تأثیر قرار گرفت و با کاهش ۵۷/۸۴ درصدی از ۹۸/۰۴ به ۶۲/۱۱ عدد رسید.

مناجیح پژوهش‌های مختلف نشان داد که علاوه بر چهار صفت زراعی بالا، درصد سدیم و پتاسیم نیز تحت تأثیر تنش ملایم و شدید شوری قرار گرفتند. میزان سدیم با اعمال تنش ملایم شوری با افزایش ۱۶۰/۲۸ درصدی از ۰/۳۲ درصد به ۰/۸۵ درصد رسید، در حالی که با اعمال تنش شدید شوری، مقدار این عنصر در دانه و بخش‌های رویشی گیاه، افزایش چشمگیرتری داشت و با افزایش ۳۵۲/۳۹ درصدی از ۰/۳۹ درصد به ۱/۷۶ درصد افزایش یافت. میزان پتاسیم در اندام‌های رویشی و زایشی تحت تنش ملایم شوری از ۲/۲۵ درصد به ۱/۸۴ درصد رسید، یعنی به میزان ۲۲/۰۳ درصد کاهش یافت. در شرایط تنش شدید شوری نیز میزان پتاسیم روند کاهشی داشت و از ۱/۶۸ درصد به ۱/۴۱ درصد کاهش یافت. بررسی پژوهش‌های مختلف نشان داد که میانگین کلروفیل a برگ در شرایط بدون تنش شوری، ۱/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود، که با اعمال تنش ملایم شوری، کاهش ۲۵/۹۵ درصدی را تجربه کرد و به ۰/۸۵ میلی‌گرم بر گرم رسید. در شرایط تنش شدید شوری، کاهش میانگین کلروفیل a با شدت بیش‌تری اتفاق افتاد و با کاهش ۷۰/۶۳ درصدی از یک میلی‌گرم به ۰/۵۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. میانگین کلروفیل b در برگ نیز در شرایط بدون تنش شوری ۰/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که با اعمال تنش ملایم شوری با کاهش ۳۱/۴۲ درصدی به ۰/۴۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. تنش شدید شوری نیز میانگین کلروفیل b را در مطالعات مختلف از ۰/۶۱ میلی‌گرم به ۰/۳۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رساند که کاهش ۶۵/۴۲ درصدی را نشان می‌داد.

همان‌گونه که در مقدمه و در ضمیمه ۲ فایل تکمیلی مطالعه حاضر بیان شده است، گیاهان برای مقابله با تنش شوری از مکانیزم‌های متعددی از جمله فرآیندهای مرتبط با فتوسنتز، انتقال مواد تولید شده از فتوسنتز به دانه و رشد دانه طی دوره پر شدن دانه‌ها، تغییر در غلظت

یون های سدیم و پتا سیم و نسبت آن ها، مکانیزم های دفاعی مربوط به متابولیت های گیاهی به عنوان اسمولیت و اسموپروکتانت و سازگاری های مورفولوژیک بهره می گیرند. در فراتحلیل حاضر به بررسی برخی از پژوهش ها در این زمینه پرداخته شد و بررسی دسته های دیگر این مکانیزم ها به فراتحلیل های بعدی موکول شد.

جدول ۱- میانگین \pm خطای معیار (اعداد بالایی)، دامنه تغییرات (اعداد پایینی) و درصد کاهش یا افزایش صفات مطالعه شده تحت تنش های ملایم و شدید شوری

Table 1. Mean \pm standard error (upper numbers), range (lower numbers), and percentage of decrease or increase of the studied traits under mild and severe salinity stress

Trait [†]	Control	Mild stress	Control	Severe stress	Change (%) (mild stress)	Change (%) (severe stress)
GY	18.39 \pm 2.02	10.64 \pm 2.02	20.40 \pm 3.14	9.31 \pm 2.57	-72.80	-118.99
	2.26-31.82	1.16-25.89	1.01-31.82	0.42-22.22		
PH	96.9 \pm 8.86	83.61 \pm 9.45	98.92 \pm 11.85	79.74 \pm 11.49	-15.99	-24.04
	64.75-118.4	55.00-109.27	64.75-118.4	51.13-103.13		
NPP	15.26 \pm 2.61	11.70 \pm 2.80	15.81 \pm 4.14	11.69 \pm 3.69	-30.42	-35.29
	3.37-34.40	2.58-32.49	3.37-34.40	1.17-30.36		
NFGP	97.71 \pm 11.54	78.06 \pm 16.12	98.04 \pm 9.11	62.11 \pm 23.36	-25.16	-57.84
	47.16-142.74	22.16-128.93	79.80-122.98	1.87-112.90		
Na (%)	0.32 \pm 0.17	0.85 \pm 0.29	0.39 \pm 0.19	1.6 \pm 0.55	+160.28	+352.39
	0.018-1.52	0.16-2.16	0.061-1.52	0.078-3.83		
K (%)	2.25 \pm 0.85	1.84 \pm 0.69	1.68 \pm 0.74	1.41 \pm 0.66	-22.03	-19.19
	0.33-6.19	0.28-4.36	0.33-4.66	0.25-3.98		
Chl.a	1.07 \pm 0.19	0.85 \pm 0.16	1.00 \pm 0.35	0.59 \pm 0.25	-25.95	-70.63
	0.16-2.32	0.13-2.02	0.17-1.92	0.16-1.78		
Chl.b	0.53 \pm 0.11	0.40 \pm 0.09	0.61 \pm 0.26	0.37 \pm 0.13	-31.42	-65.42
	0.05-1.43	0.04-1.11	0.05-1.43	0.039-0.82		

[†] GY, grain yield (g per plant); PH, plant height (cm); NPP, number of panicles per plant; NFGP, number of filled grains per panicle; Chl.a, Chlorophyll a; Chl.b, Chlorophyll b.

بررسی همگنی مطالعات

همچنین، برای صفات عملکرد دانه، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه، کلروفیل b و کاروتنوئید در شرایط تنش ملایم شوری، ناهمگنی متوسط بین مطالعات دیده شد. مقادیر بالای I^2 برای این صفات نشان می دهد که مقدار قابل توجهی از تغییرات کلی در اندازه اثر را نمی توان به تدهایی توضیح داد و عوامل دیگری مانند طراحی پژوهش، تفاوت های روش شناختی یا ... ممکن است سبب این ناهمگونی شده باشند. از این رو، برای فراتحلیل تمام این صفات از مدل تصادفی بهره گرفته شد، اما برای عملکرد دانه و تعداد خوشه در بوته در شرایط تنش شدید شوری و ارتفاع بوته در شرایط تنش ملایم که ناهمگنی بین مطالعات پایین بود، از مدل ثابت در فراتحلیل استفاده شد. مقدار پایین معیار Tau^2 برای این صفات نشان داد که هیچ تنوع قابل توجهی بین مطالعات فرا تر از آنچه که به طور تصادفی انتظار می رود، وجود ندارد. به عبارت دیگر، مقادیر کمتر Tau^2 بیانگر آن است که اندازه اثر در مطالعات مختلف یکسان و همگن بود (جدول تکمیلی ۲).

نتایج حاصل از ارزیابی همگنی مطالعات نشان داد که معیار Q برای صفات عملکرد دانه، تعداد خوشه در بوته و کاروتنوئید در شرایط تنش ملایم، ارتفاع بوته در شرایط تنش شدید و تعداد دانه پر در خوشه، میزان سدیم، پتاسیم و کلروفیل های a و b در هر دو شرایط تنش شدید و ملایم شوری معنی دار بود. همچنین، برای همه این صفات، معیار I^2 بالاتر از ۵۰ درصد بود. معیار Tau^2 نیز برای این صفات بالا بود. هر چه معیار I^2 به ۱۰۰ نزدیک تر باشد، بیانگر ناهمگنی بیشتر در اندازه اثر به دست آمده از پژوهش های مختلف است. از آنجا که بر اساس معیار I^2 ، مقادیر بالاتر از ۷۵ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و ۲۵ تا ۵۰ درصد، به ترتیب ناهمگنی زیاد، متوسط و کم را در مطالعات مختلف نشان می دهند (Higgins et al., 2003)، بنابراین برای صفات ارتفاع بوته، تعداد دانه پر در خوشه و میزان کلروفیل b در شرایط تنش شدید و میزان سدیم، پتاسیم و کلروفیل a در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید، ناهمگنی زیاد در بین مطالعات مشاهده شد.

اختلاف معنی‌دار استاندارد تصحیح شده اندازه اثر هجز (Hedges' g) برای تمام صفات ارز یابی شده در هر دو مدل ثابت و تصادفی تحت شرایط تنش ملایم و شدید شوری، به‌جز میزان کلروفیل‌های a و b در مدل ثابت تحت شرایط تنش شدید و کاروتنوئید تحت شرایط تنش ملایم، معنی‌دار بودند (جدول تکمیلی ۳).

نمودار انباشت و نمودار کیفی

نتایج این مطالعه نشان داد که همه صفات بررسی شده در این مطالعه، به‌نحو معنی‌داری تحت تأثیر تنش ملایم و شدید شوری قرار گرفتند که نتایج فراتحلیل آن‌ها در ادامه ارائه شده است.

عملکرد دانه و اجزای عملکرد

از میان پژوهش‌های منتخب، به‌ترتیب در ۹ و ۱۶ پژوهش، تأثیر تنش ملایم و شدید شوری بر عملکرد دانه بررسی شده بود. نمودار انباشت (Accumulation plot) تأثیرپذیری عملکرد دانه برنج در برابر تنش ملایم شوری در شکل ۱- a ارائه شده است که در آن اندازه اثر و حدود اطمینان ۹۵ در صد روی محور افقی و شماره مطالعات روی محور عمودی قرار دارند. در این نمودار، هر ردیف بیانگر یک پژوهش است و اندازه هر مربع، نمایش‌گر وزن نسبی اندازه اثر آن مطالعه است. خط افقی اطراف هر مربع، به‌عنوان نمادی از فاصله اطمینان ۹۵ درصد است که هر چه بزرگ‌تر باشد، دقت آن آزمایش کم‌تر است. اگر اندازه اثر هر مطالعه‌ای خط صفر را قطع کند، اثر تیمار در آن مطالعه روی صفت معنی‌دار نیست، اما اگر خط صفر قطع نشود، اثر تیمار معنی‌دار خواهد بود. در پژوهش‌های معنی‌دار، اگر مطالعات در سمت چپ واقع شده باشند، نشان می‌دهد که تیمار (در اینجا تنش شوری) باعث کاهش صفت شده است، حال آنکه قرار گرفتن مطالعه‌ای در سمت راست محور صفر، بیانگر تأثیر افزایش تیمار روی آن صفت است. لوزی نمایش داده شده در آخرین ردیف این نمودار، مقدار برآیند وزن داده شده مربع‌ها است که نشان‌دهنده اثر کل یا انباشته (d^*) است که در آن قطر افقی لوزی، دامنه اطمینان ۹۵ درصد برآیند کلمی شاخص اندازه اثر را نشان می‌دهد. قطع خط صفر به وسیله قطر افقی لوزی بیانگر معنی‌دار نبودن اندازه اثر در مجموع مطالعات است (Reid, 2006).

همان‌طور که در شکل ۱- a مشاهده می‌شود، برای عملکرد دانه در شرایط تنش ملایم شوری، همه مطالعات

در سمت چپ محور صفر قرار داشتند که نشان‌دهنده تأثیر منفی تنش ملایم شوری بر عملکرد دانه بود. در برخی از مطالعات، مربع نشان‌دهنده اندازه اثر ضمن قطع خط صفر، مقداری از مربع در سمت راست خط صفر قرار گرفت، به‌طوری‌که در مطالعه شماره ۳، خط صفر از وسط مربع مربوطه رد شده است. برای این مطالعات، مرز بالایی دامنه تغییرات ۹۵ درصد اندازه اثر مثبت بود و نشان می‌دهد که اندازه اثر در آن پژوهش معنی‌دار نبود. در مطالعات شماره ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ چنین وضعیتی دیده شد و آماره Z (Z-value) هم در این پژوهش‌ها معنی‌دار نبود (شکل تکمیلی ۱). میانگین و خطای معیار برای اندازه اثر در مدل تصادفی به‌ترتیب برابر با $-۱/۷۴$ و $۰/۴۱$ و دامنه تغییرات ۹۵ درصد برابر با $-۲/۵۴۷$ و $-۰/۹۳۹$ بود. این مقادیر نشان دادند که در مطالعات بررسی شده، تأثیر تنش ملایم شوری بر عملکرد دانه منفی بود. قطع نکردن محور صفر، بیانگر این بود که برآیند کلمی شاخص اندازه اثر معنی‌دار بود. در تحقیقاتی که این صفت در آن‌ها بررسی شده بود، اندازه اثر نزدیک به صفر و با فاصله اطمینان اندک بودند. فاصله اطمینان زیاد بیانگر دقت کم آزمایش و در نتیجه وزن اندک آن مقاله در مجموع مطالعات است (شکل تکمیلی ۱). در بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده در زمینه تأثیر تنش ملایم شوری بر عملکرد دانه، فاصله اطمینان کم بود که سبب افزایش قابل توجه وزن این مطالعات در برآورد نهایی اندازه اثر شد. مقالات ۱۲ (Zhang et al., 2022) و ۳ (Sadradini & Salahshour Dalivand, 2012) دارای بیش‌ترین وزن و کم‌ترین فاصله اطمینان بودند. از نکات قوت مطالعه ۳ (Sadradini & Salahshour Dalivand, 2012) این بود که در شوری چهاردهم سی‌زیمنس بر ممت، کاهش عملکرد در صورت آبیاری روزانه گیاهان در مقایسه با آبیاری مزرعه با فاصله زمانی شش روز یک‌بار، کم‌تر بود. این موضوع نقش تعدیل‌کنندگی دور آبیاری و شرایط غرقاب را در مقابله با تنش شوری نشان می‌دهد.

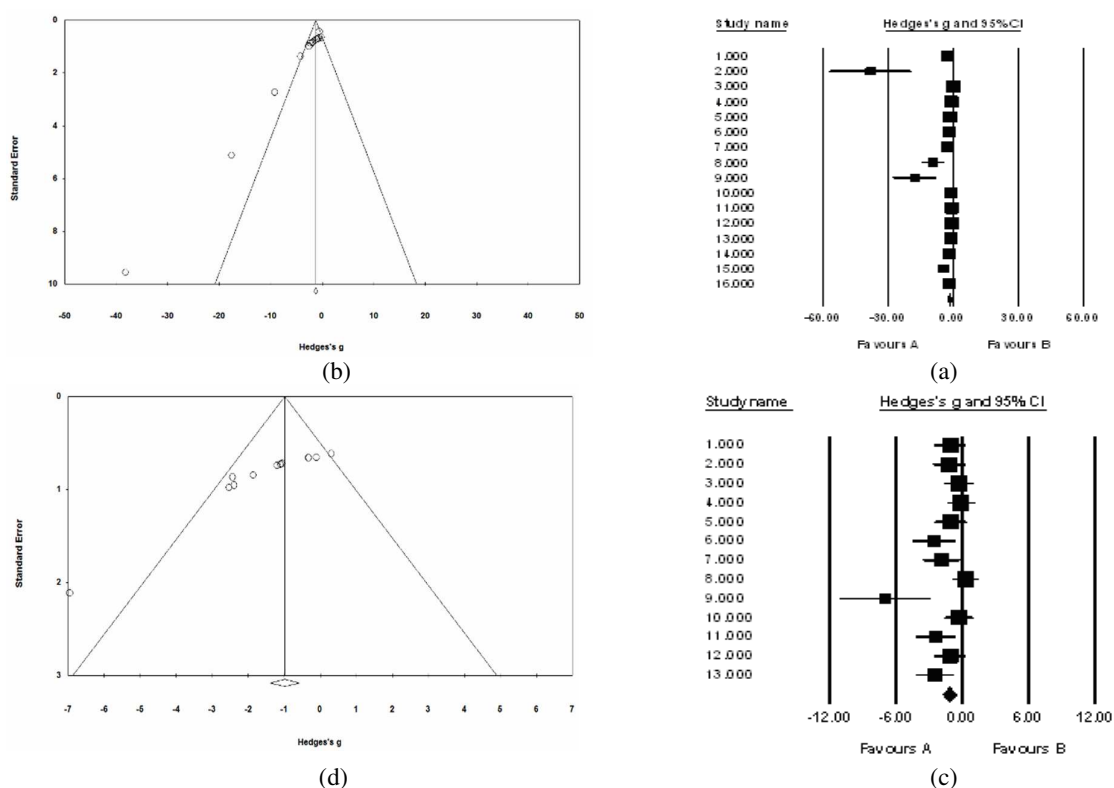
برای داده‌های پیوسته، معیار اثر (Effect measure) می‌تواند تفاوت استاندارد شده بین میانگین تیمارها، تفاوت معنی‌دار استاندارد تصحیح شده برای اندازه اثر هجز (Hedges' g)، تفاوت خام بین میانگین‌ها و تفاوت استاندارد شده بین میانگین تیمارهای جفت شده باشد، که بر اساس خطای معیار هر یک از آن‌ها، معنی‌داری آن آماره برآورد می‌شود و نمودار کیفی (Funnel plot) بر اساس

آن ترسیم می‌شود (Higgins & Green, 2011). در مطالعه حاضر، اندازه اثر هر جز روی محور افقی و خطای استاندارد مربوط به آن روی محور عمودی نمودار کیفی نشان داده شده است. در تفسیر نمودارهای کیفی، مطالعات با خطای استاندارد اندک که در بالای قیف جمع شده‌اند، دارای سوگیری انتشار نیستند، حال آنکه با کشیده شدن مطالعات به سمت پایین قیف، خطای استاندارد آن‌ها بیش‌تر و سوگیری انتشار بالا می‌رود. در نمودار کیفی، خط میانی (محور)، نشانگر شاخص اندازه اثر بر صفت است و خطوط منقطع (دو ضلع مثلث)، حدود اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهند. قرار گرفتن نقاط در داخل محدوده مثلث، نشان‌دهنده معنی‌داری نتایج تحقیقات بوده و تقارن اطراف محور عمودی حاکی از دقت مطالعات است (Higgins & Green, 2011). این نمودار (شکل ۱-ب) نشان داد که بیش‌تر پژوهش‌های بررسی شده در زمینه تأثیر تنش ملایم شوری بر عملکرد دانه در محدوده ۹۵ درصد قرار داشتند و پراکنش نقاط نشان داد که مقالات دارای سوگیری اندکی بودند که این موضوع، نتیجه مثبت تحقیق است. در این نمودار، آزمایش‌هایی دقیق هستند که دارای انحراف استاندارد کم‌تر بوده و روی محور افقی عدد کوچک‌تری را به خود اختصاص دهند و نزدیک صفر محور عمودی قرار گیرند. با توجه به پراکندگی نقاط در نزدیکی نوک قیف وارونه، دقت مطالعات بالا و دامنه این اثرها کم بود. تنها سه مطالعه در خارج از قیف قرار داشتند و دقت نتایج آن‌ها کم بود که می‌تواند به دلیل تعداد تکرار کم در آن‌ها، یا تمایل پیشین پژوهش‌گر به گرفتن نتایج از پیش تعیین‌شده و یا هر دو مورد باشد (Hedges et al., 1999).

برای تعداد خوشه در بوته در شرایط تنش شوری ملایم (شکل ۱-ج) در همه مطالعات به جز مطالعه Zhang et al., (2022)، اندازه اثر در سمت چپ محور صفر قرار داشت. در بیش‌تر مطالعات به جز مطالعه Rafalirivony et al., (2022)، Channa et al., (2019)، Anshori et al., (2010)، Irakoz et al., (2019)، Nasrudin et al., (2022) و Kibria et al., (2017) مقدار p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بود (شکل تکمیلی ۲) و حدود اطمینان ۹۵ درصد نیز محور عمودی را قطع نکرد (شکل ۱-ج). بنابراین به جز شش مطالعه گفته شده، در سایر مطالعات، اثر تنش ملایم

شوری بر تعداد خوشه در بوته معنی‌دار نبود. با این وجود، اندازه اثر کلی (۱/۱۶-) که با لوزی نشان داده شده است، با حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۳/۷۱- تا ۰/۵۵-، معنی‌دار بود و نشان داد که در برآیند تمامی مطالعات، اثر تنش ملایم شوری بر تعداد خوشه در بوته معنی‌دار بود. در نمودار کیفی مربوط به تأثیر تنش شوری بر تعداد خوشه در بوته (شکل ۱-د)، بیش‌تر مطالعات در بخش میانی قرار داشتند و به‌طور یکنواخت و متقارن در این محدوده پخش شدند که نآریب بودن نتایج پژوهش‌ها و دقت بالای آن‌ها را نشان می‌دهد. برای این صفت، فقط یک مقاله در خارج از این قیف قرار گرفت.

برای صفت تعداد دانه پر در خوشه در شرایط تنش ملایم شوری، بیش‌ترین میزان اندازه اثر تنش (۵/۴۷-) به مطالعه Saeidzadeh & Taghizadeh, (2019) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۸/۶۰- تا ۲/۳۴- و کم‌ترین اندازه اثر (۰/۲۱-) نیز به مطالعه Zhang et al., (2022) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۰۵- تا ۰/۶۳+ تعلق داشت (شکل تکمیلی ۳-ج). برای این صفت نیز با وجود معنی‌دار نبودن اثر تنش شوری در برخی از مطالعات، اندازه اثر کلی معنی‌دار بود (شکل تکمیلی ۳-ا). در مطالعه Saeidzadeh & Taghizadeh, (2019) که بیش‌ترین اندازه اثر تنش شوری ملایم مربوط به آن بود و وزن بالایی هم در بین مطالعات داشت، رقم‌های بومی غریب سیاه‌ریحانی و هاشمی در تنش شوری ملایم، تعداد دانه پر بیش‌تری در خوشه داشتند. در این مطالعه، رقم غریب سیاه‌ریحانی، در مرحله جوانه‌زنی دارای وزن خشک ریشه، وزن خشک ساقه و درصد پتاسیم بالا و درصد سدیم پایینی در مقایسه با رقم‌های دیگر داشت. این رقم همچنین در آزمایش گلخانه‌ای دارای بیش‌ترین تعداد و وزن دانه پر در خوشه بود و از نظر ارتفاع بوته و تعداد خوشه نیز وضعیت نسبتاً مطلوبی داشت و بنابراین به‌عنوان یک رقم و منبع ژنتیکی متحمل به شوری جهت استفاده در برنامه‌های به‌نژادی در نظر گرفته شد. نمودار کیفی نشان داد که از هفت مطالعه بررسی شده در ارتباط با تأثیر تنش ملایم شوری بر تعداد دانه پر در خوشه، دو مطالعه خارج از محدوده قرار داشتند، که دقت پایین این دو مطالعه را نشان می‌دهد. سایر مطالعات در داخل این محدوده قرار داشتند که بیانگر سوگیری اندک این مطالعات بود (شکل تکمیلی ۳-ب).



شکل ۱- نمودار انباشت و قیفی عملکرد دانه (a و b) و تعداد خوشه در بوته (c و d) تحت شرایط تنش ملایم شوری
Figure 1. Accumulation and funnel plots for grain yield (a and b), and numer of panicles per plant (c and d) under mild salinity stress conditions

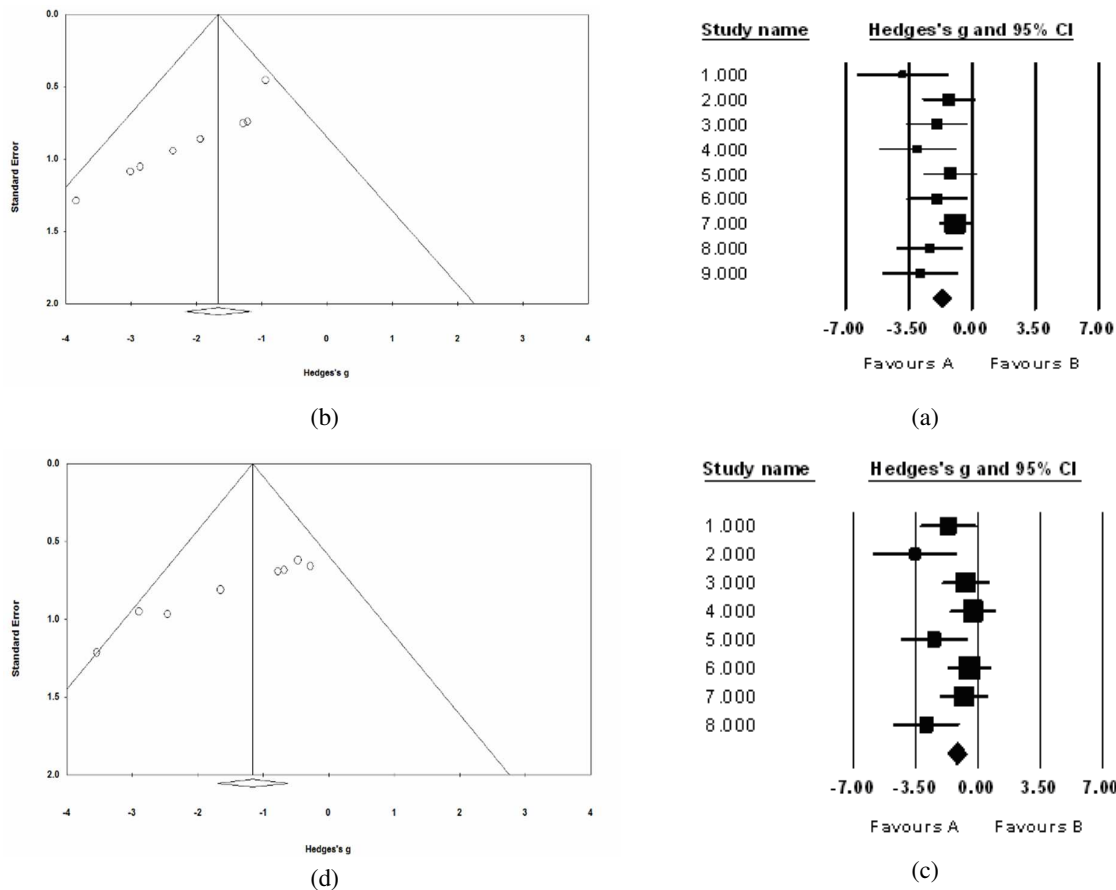
بوته بیش تر و مکانیزم تحمل آن به شوری مبتنی بر میزان کم تر نسبت Na^+/K^+ بود.

نمودار قیفی (شکل ۲-b) نشان داد که در شرایط تنش شدید شوری، همه مطالعات در محدوده ۹۵ درصد حدود اطمینان اندازه اثر قرار داشتند. پراکندگی نقاط در نزدیک نوک قیف معکوس، دقت بالای مطالعات را نشان داد. از روی حدود اطمینان می توان به تخمینی از وزن آن مطالعه در اندازه اثر کلی دست یافت. بر این اساس، مطالعه Zhang *et al.*, (2022) ۷ دارای بیش ترین وزن در بین مطالعات بود. در نمودار قیفی، اگر نقاط در داخل مثلث قرار گرفته باشند، معنی دار بودن نتایج را نشان می دهند و اگر در بیرون از محدوده جای گرفته باشند، دقت اندک مطالعه را به نمایش می گذارند. در این نمودار، آزمایش های دارای انحراف استاندارد کم تر که اعداد کوچک تری را روی محورها به خود اختصاص داده باشند، در بالای نمودار و نزدیک صفر محور عمودی قرار می گیرند. از طرف دیگر، مطالعات قرار گرفته در بخش پایینی نمودار با توجه به میزان خطای استاندارد آنها، از دقت کم تری برخوردار هستند که این دقت اندک می تواند ناشی از اندازه کوچک

برای عملکرد دانه در شرایط تنش شدید شوری، از مدل ثابت استفاده شد. در این شرایط نیز همه مطالعات در سمت چپ محور صفر قرار گرفتند که بیانگر تأثیر منفی و معنی دار تنش شدید شوری بر عملکرد دانه بود. میانگین و خطای معیار اندازه اثر به ترتیب برابر با $-۱/۶۶$ و $۰/۲۶$ با دامنه $-۲/۱۷۸$ و $-۱/۱۵۴$ بود. در بین مطالعات بررسی شده، فقط در دو مطالعه محور صفر در سوی مثبت با حدود اطمینان ۹۵ درصد قطع شد و نشان داد که با وجود اثر کاهنده تنش شوری بر عملکرد دانه، این تأثیر معنی دار نبود (شکل ۲-a). با این وجود، قطع نکردن محور صفر به وسیله میانگین اندازه اثر، بیانگر معنی دار بودن برآیند کلی و تأثیر کاهنده شوری بر عملکرد دانه است. با توجه به میزان وزن نسبی در مطالعات بررسی شده (شکل تکمیلی ۴)، از میان مطالعاتی که تنش شوری باعث کاهش عملکرد شد، مراجعه به مطالعه Zhang *et al.*, (2022) ۷ نسبت به مطالعات دیگر توصیه پذیرتر است. در این مطالعه، رقم Xudao9 به عنوان یک رقم رایج در منطقه مورد آزمایش، در مقایسه با دو رقم دیگر از تحمل بیش تری در برابر تنش شوری شدید برخوردار بود. در این رقم تعداد خوشه در

مطالعه ۴ (Rezaei *et al.*, 2014) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۵۷- تا ۱/۰۱ بود (شکل تکمیلی ۵). برای این صفت نیز با وجود قطع کردن محور صفر به وسیله خط فاصله اطمینان ۹۵ درصد در برخی از مطالعات و در نتیجه معنی دار نبودن اثر تنش شوری در آنها، اثر کلی (۱/۱۶-) با حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۶۹- تا ۰/۶۳- معنی دار بود (شکل ۲- c). نمودار کیفی برای این صفت نیز پراکنش متقارن و یکنواخت داده ها در اطراف محور عمودی و در نتیجه دقت آزمایش ها را نشان می دهد (شکل ۲- d).

نمونه، گرایش پژوهشگر به گرفتن نتایج از پیش تعیین شده و یا هر دوی آنها باشد (Higgins & Green, 2011). همه مطالعات ارزیابی شده در داخل کیف و به سمت بالا واقع شدند که نشانگر دقت بالای تمام آنها برای این صفت تحت تأثیر تنش شدید شوری است. در شرایط تنش شدید شوری، بیشترین اثر تنش شوری بر تعداد خوشه در بوته مربوط به مطالعه ۲ (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019)، به میزان ۳/۵۴- با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۵/۹۱- تا ۱/۱۶- و کمترین میزان اندازه اثر تنش شوری (۰/۲۷۹-) مربوط به



شکل ۲- نمودار انباشت و کیفی عملکرد دانه (a و b) و تعداد خوشه در بوته (c و d) تحت شرایط تنش شدید شوری
Figure 2. Accumulation and funnel plots for grain yield (a and b), and number of panicles per plant (c and d) under severe salinity stress conditions

مطالعات در بخش چپ خط میانی قرار گرفته اند (شکل تکمیلی ۶- b) که بیانگر آربیبی نتایج این مطالعات بود. به بیانی دیگر، چون این مطالعات به طور یکنواخت در این محدوده پخش نشده اند و متمایل به چپ هستند، احتمالاً این مطالعات از دقت بالایی در زمینه این صفت برخوردار نبودند. بیرون بودن بیش تر نقاط از محدوده ۹۵ درصد

برای صفت تعداد دانه پر در خوشه در شرایط تنش شدید شوری، اندازه اثر در همه مطالعات، به جز مطالعه ۳ (Biabani *et al.*, 2012) معنی دار بود که بیانگر کاهش شدید تعداد دانه پر در خوشه در مطالعات انجام شده بود (شکل تکمیلی ۶- a). نمودار کیفی اثر تنش شدید شوری بر تعداد دانه پر در خوشه نیز نشان داد که بیش تر

فاصله اطمینان (مثلث معنی‌داری) می‌تواند به دلیل تعداد کم نمونه در برخی از پژوهش‌ها و یا گرایش پژوهش‌گران برای گرفتن پاسخ مثبت از مطالعه باشد. همچنین نقاطی که خیلی پایین قرار گرفته‌اند، به‌تر است از نظر اعتبار داده‌ها و اطلاعات بازبینی شوند تا نتایج آن‌ها دارای قابلیت اعتماد بیش‌تری باشد.

در تطابق با نتایج تحقیق حاضر، غروی بایگی و هم‌کاران (Gharavi Baigi *et al.*, 2018) نیز در فراتحلیل اثر تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج نشان دادند که در سطح شوری بیش‌تر از هشت دسی‌زیمنس بر متر، عملکرد دانه بیش‌ترین تغییرات را در مواجهه با تنش شوری داشت و با ۸۴ درصد کاهش، بیش‌ترین کاهش را در بین همه صفات نشان داد. ژنگ و هم‌کاران (Zheng *et al.*, 2023) نیز در فراتحلیل اثر تنش شوری بر برنج، کاهش ۶۴/۵۲ درصدی عملکرد دانه را تحت شرایط تنش شوری گزارش کردند. ایشان این کاهش عملکرد را تحت تأثیر کاهش صفاتی نظیر میزان تشکیل دانه، تعداد خوشه‌های بارور و تعداد دانه در خوشه دانستند که با نتیجه تحقیق حاضر و کاهش ۳۵/۲۹ و ۵۷/۸۴ درصدی تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه در شوری ۸ دسی‌زیمنس بر متر تطابق داشت.

فراتحلیل اثر شوری بر تولید برنج نشان داد که از بین سه صفت عملکرد دانه، تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه، صفت عملکرد دانه به‌ترتیب با کاهش ۷۲/۸ و ۱۱۸/۹ درصدی در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، حساس‌ترین و در نتیجه آسیب‌پذیرترین صفت نسبت به تنش شوری بود. همچنین مشاهده شد که در سطوح شوری ۴ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر، میزان کاهش تعداد خوشه در بوته به‌ترتیب برابر با ۳۰/۴۲ و ۳۵/۲۹ درصد و کاهش تعداد دانه پر در خوشه به‌ترتیب برابر با ۲۵/۱۶ و ۵۷/۸۴ درصد بود. بنابراین، صفت تعداد دانه پر در خوشه حساسیت بیش‌تری به افزایش سطح تنش شوری داشت و کاهش این جزء عملکرد، می‌تواند سبب کاهش بیش‌تر عملکرد دانه در سطوح بالاتر شوری شده باشد.

در طول دوره پر شدن دانه‌ها، سه فرآیند فتوسنتز، انتقال مواد پرورده از فتوسنتز به دانه‌ها و رشد دانه به‌طور هم‌زمان رخ می‌دهند. کاهش ماده خشک دانه‌ها در شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از اختلال در هر یک از این فرآیندها باشد. تعداد کم‌تر دانه پر در خوشه در سطوح بالای شوری که در این فراتحلیل مشاهده شد، می‌تواند به

کاهش فعالیت بخش‌های تولیدکننده مواد فتوسنتزی نسبت داده شود. کاهش تعداد گل‌چه‌های بارور، سرعت پایین‌تر انتقال مواد از ساقه به خوشه‌ها و کاهش سرعت انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی از ساقه به دانه، از اصلی‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و توسعه دانه‌ها تحت شرایط تنش شوری هستند. شوری همچنین می‌تواند از طریق کاهش توانایی زنده‌مانی گرده‌ها، تعداد دانه را در خوشه‌ها کاهش دهد (Nguyen & Nguyen, 2007).

ارتفاع بوته

برای صفت ارتفاع بوته در شرایط تنش ملایم شوری، اندازه اثر همه مطالعات در سمت چپ محور صفر قرار گرفت که تأثیر منفی و معنی‌دار تنش شوری بر این صفت را نشان می‌دهد. مطابق نمودار انباشت، بیش‌ترین اندازه اثر (۳/۱۷-) مربوط به مطالعه (Mortezainezhad *et al.*, 2016) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۵/۳۷- تا ۰/۹۷- و کم‌ترین اثر تنش (۰/۱۷-) مربوط به مطالعه (Rafaliarivony *et al.*, 2022) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۴۵- تا ۱/۱۱ بود (شکل تکمیلی ۷- a). بیش‌ترین وزن در مطالعات بررسی شده مربوط به مطالعات (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019) ۲ و (شکل تکمیلی ۷- c). با توجه به اینکه میزان انحراف معیار باقیمانده در مطالعه ۲ کم‌تر از مطالعه ۵ بود، نتایج مطالعه ۲ بیش‌تر می‌تواند مورد استناد قرار گیرد. همان‌طور که در بخش مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد نشان داده شد، در مطالعه ۲ (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019)، رقم غریب سیاه‌ریحانی به‌عنوان یک رقم متحمل از نظر بسیاری از صفات از جمله عملکرد دانه معرفی شده بود. شکل تکمیلی ۷- b (نمودار کیفی) نشان داد که همه مطالعات مربوط به ارزیابی تأثیر تنش ملایم شوری بر ارتفاع بوته در محدوده ۹۵ درصدی (محدوده مثلث معنی‌داری) جای داشتند. با توجه به اینکه بیش‌تر مطالعات در بخش بالایی مثلث و نزدیک محور عمودی قرار گرفتند، بنابراین دقت مطالعات بالا بود.

مطابق نمودار انباشت (شکل تکمیلی ۸- a) ارتفاع بوته در شرایط تنش شدید، بیش‌ترین اندازه اثر تنش (۹/۵۲-)، با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۳/۳۱- تا ۰/۱۰- از مطالعه ۲ (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019) و کم‌ترین اندازه اثر (۰/۵۵-) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۱/۸۸- تا ۰/۷۷ از مطالعه ۳ (Rafaliarivony *et al.*)

مطالعات در بخش بالایی نمودار و پنج مطالعه نیز در خارج از محدوده قرار داشتند که بیانگر آریب بودن نتایج این چند مطالعه خارج از محدوده است، به عبارت دیگر احتمالاً این مطالعات از دقت بالایی برخوردار نبودند. بنابراین به تر است به نتایج مطالعات قرار گرفته در بخش پایینی نمودار با احتیاط بیش‌تری توجه شود (شکل ۳- b).

از مجموع مطالعات ارزیابی شده در این فراتحلیل، در ۱۱ مطالعه اثر تنش ملایم شوری بر میزان پتاسیم گزارش شده بود. نمودار انباشت نشان داد که در همه مطالعات به‌جز مطالعه ۷ (Zhang et al., 2022)، اثر تنش ملایم شوری بر این صفت منفی بود و تنش شوری سبب کاهش میزان پتاسیم شد (شکل ۳- c). در مطالعات بررسی شده، میانگین اندازه اثر (۲/۱۵-) با حدود اطمینان برابر با ۳/۴۹- تا ۰/۸۱- معنی‌دار بود و نشان داد که در برآیند کلی این مطالعات، اثر تنش شوری بر میزان پتاسیم منفی و معنی‌دار بود. در بین مطالعات بررسی شده، بیش‌ترین وزن مربوط به مقاله ۷ (Zhang et al., 2022) بود، اما اندازه اثر آن مثبت و همچنین از حراف معیار باقیمانده آن بالا بود (شکل تکمیلی ۱۰). نمودار کیفی نشان داد که پنج مطالعه در خارج از محدوده نمودار و در سمت چپ واقع شدند و میزان خطای استاندارد در تمامی آن‌ها بالا بود. بنابراین، در هنگام استفاده از نتایج این مطالعات باید با احتیاط عمل کرد و بهتر است بیش‌تر به مطالعاتی توجه شود که خطای استاندارد آن‌ها اندک و در بالای قیف و نزدیک به محور صفر نمودار واقع شده‌اند (شکل ۳- d).

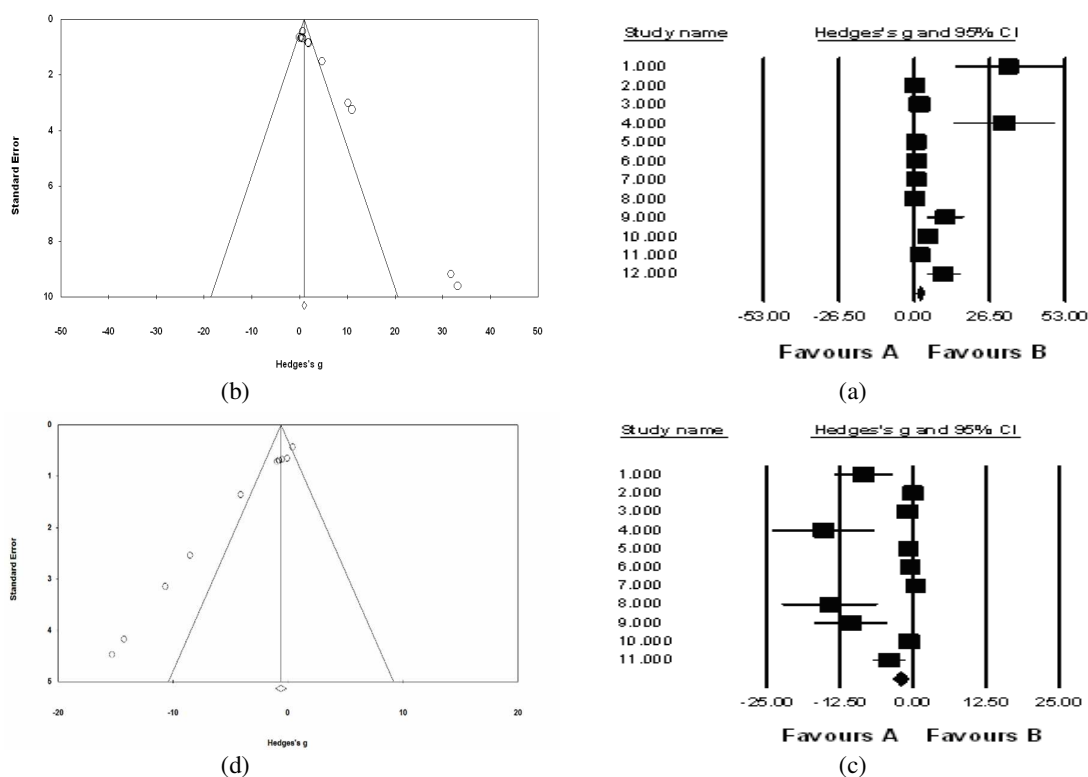
تأثیر تنش شدید شوری بر میزان سدیم نیز در ۹ مطالعه بررسی شده بود که در همه آن‌ها، اندازه اثر در سمت راست محور صفر قرار داشت. میزان p-value و همچنین قطع محور صفر به وسیله حدود اطمینان ۹۵ درصد، بیانگر معنی‌دار نبودن اندازه اثر در مطالعات ۲ (Channa et al., 2019)، ۴ (Biabani et al., 2012)، ۵ (Channa et al., 2019) (در کاه) بود. میانگین کلی اندازه اثر برابر با ۲/۲۸ و حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۰/۸۸ تا ۳/۶۷ بود که بر اساس آماره Z و p-value مربوطه معنی‌دار بود (شکل تکمیلی ۱۱). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان اندازه اثر با ۳۹/۵۸ و ۰/۹۴ (در دانه) درصد نیز به ترتیب در مطالعه ۱ (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019) و مطالعه ۴ (Channa et al., 2019) مشاهده شد (شکل ۴- a).

به‌دست آمد. با توجه به تعداد اندک مطالعات برای این صفت در شرایط تنش شدید شوری، وزن سه مطالعه از چهار مطالعه تقریباً نزدیک به هم بود (شکل تکمیلی ۸- c). نمودار کیفی نیز نشان داد که از چهار مطالعه، سه مورد در بالای مثلث و نزدیک به محور صفر و یکی از آن‌ها در خارج از نمودار قرار گرفتند که با توجه به میزان خطای استاندارد آن، از دقت پایینی برخوردار بود (شکل تکمیلی ۸- b).

در ارتباط با تأثیر کاهنده تنش شوری بر ارتفاع بوته، عنوان شده است که فراتر رفتن غلظت یونی در گیاه از حد آستانه آن، سبب سمیت برای گیاه و ایجاد اختلال در جذب و متابولیسم عناصر ضروری در قسمت‌های مختلف گیاهی می‌شود و کاهش رشد را در پی دارد (Mirmohammadi & Ghareyazi, 2002).

میزان سدیم و پتاسیم

از میان پژوهش‌های بررسی شده، تأثیر تنش شوری ملایم بر میزان سدیم دانه و اندام‌های رویشی در ۱۲ مطالعه بررسی شده بود. نمودار انباشت نشان داد که اندازه اثر مربوط به همه مطالعات در سمت راست محور صفر قرار گرفتند که بیانگر تأثیر افزایش تنش شوری بر میزان سدیم است. با وجود آنکه اندازه اثر در برخی از مطالعات معنی‌دار نبود، برآیند کلی اندازه اثر (۲/۰۷) با توجه به مقدار p-value و فاصله لوزی از خط صفر معنی‌دار بود (شکل ۳- a و شکل تکمیلی ۹). حدود اطمینان ۹۵ درصد برای میانگین شاخص اندازه اثر (۲/۰۷) در این مجموعه پژوهش‌ها برابر با ۰/۸۲ تا ۳/۳۳ بود. در بین مطالعات بررسی شده، به‌جز مطالعات ۱ (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019) و ۴ (Farooq et al., 2021)، وزن سایر مطالعات تقریباً نزدیک به هم بود. براساس نتایج مطالعه ۴ (Farooq et al., 2021)، تحمل به شوری در دور قم Nagdong و Pokkali از طریق کاهش نسبت Na^+/K^+ در ریشه و ساقه و بیان ژن خانواده OsHKT (ژن‌های انتقال دهنده یون Na^+)، افزایش یافت. این دو رقم از نظر ویژگی‌های دیگری همچون در صد جوانه‌زنی و بنیه گیاه نیز جزء ارقام متحمل به شوری بودند. میزان انحراف معیار باقیمانده در مطالعات ۱، ۴، ۹ (Kamrava et al., 2021) و ۱۰ (Moradi & Ismail, 2007) بالا و مثبت بود (شکل تکمیلی ۹). نمودار کیفی مربوط به تأثیر تنش ملایم شوری بر میزان سدیم نشان داد که بیش‌تر



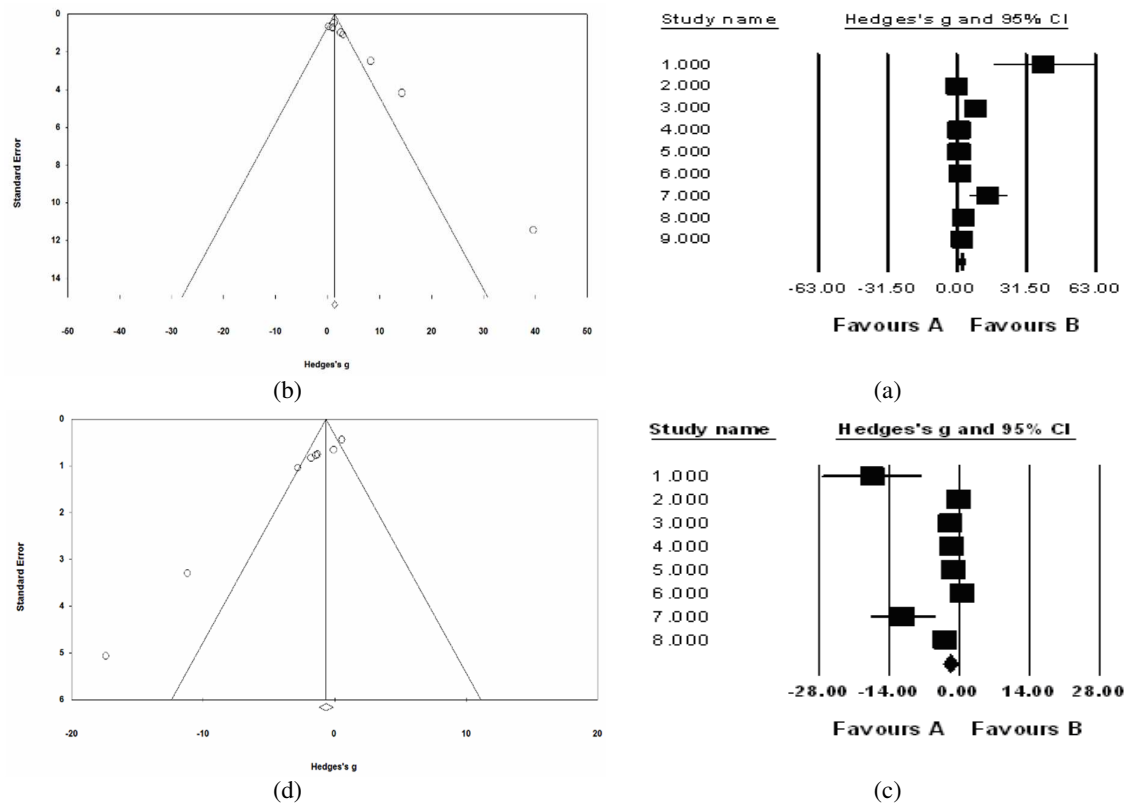
شکل ۳- نمودار انباشت و کیفی میزان سدیم (a و b) و پتاسیم (c و d) تحت شرایط تنش ملایم شوری

Figure 3. Accumulation and funnel plots for sodium content (a and b), and potassium content (c and d) under mild salinity stress conditions

تکمیل می ۱۲ و شکل ۴- c)، در نمودار کیفی به همراه مطالعه ۷ (Kamrava *et al.*, 2021) در خارج از محدوده قرار گرفت (شکل ۴- d). این دو مطالعه در وزن دهی نیز وزن اندکی داشتند. از سوی دیگر، مطالعه ۳ (Shankar *et al.*, 2021) با وزن بالا و نیز با انحراف معیار باقیمانده اندک و اثر منفی و معنی دار، بیش تر می تواند مورد استناد قرار گیرد. در این مطالعه مشاهده شد که میزان جذب پتاسیم، به جز در برخی از موتانت ها که روند معکوسی داشت، در سایر رقم ها با افزایش سطح شوری، کاهش یافت. همچنین، نسبت Na^+/K^+ در موتانت های حساس ۱/۲ تا ۲ برابر رقم شاهد (Nagina 22) بود، در حالی که این نسبت در موتانت های متحمل برعکس و به میزان ۳۰ تا ۷۶ درصد در مقایسه با رقم شاهد کم تر بود. دفع یون سدیم از ساقه (جذب ناپایدار سدیم) و افزایش جذب پتاسیم به منظور حفظ نسبت مناسبی از تعادل سدیم و پتاسیم در ساقه، از جمله صفات مهم برای شناسایی ژنوتیپ های برنج متحمل به شوری تشخیص داده شدند.

در بین مطالعات بررسی شده در زمینه اثر تنش شدید شوری بر میزان سدیم، بیش ترین وزن مربوط به مطالعه ۶ (Zhang *et al.*, 2022) بود که میزان انحراف معیار باقیمانده آن نیز اندک و منفی بود (شکل تکمیلی ۱۰). نمودار کیفی مربوط به تأثیرگذاری تنش شدید شوری بر میزان سدیم نشان داد که سه مطالعه در خارج از محدوده نمودار قرار داشتند (شکل ۴- b). میزان انحراف معیار باقیمانده در این سه مطالعه نیز مثبت و بالا بود و علاوه بر این، کم ترین وزن را نیز در بین مطالعات بررسی شده نشان دادند (شکل تکمیلی ۱۱).

اثر تنش شوری شدید بر میزان پتاسیم در ۸ مطالعه مورد بررسی قرار گرفته بود که در آن ها میانگین اندازه اثر برابر با $-1/76$ و حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با $-3/21$ تا $0/32$ بود. بیش ترین اندازه اثر $(-17/37)$ مربوط به مقاله ۱ (Saeidzadeh & Taghizadeh, 2019) بود که با وجود معنی دار بودن و داشتن حدود اطمینان ۹۵ درصد زیاد (از $-27/29$ تا $-7/46$) (شکل



شکل ۴- نمودار انباشت و قیفی میزان سدیم (a و b) و پتاسیم (c و d) تحت شرایط تنش شدید شوری

Figure 4. Accumulation and funnel plots for sodium content (a and b), and potassium content (c and d) under severe salinity stress conditions

آبکش و انباشته شدن یون Na^+ در ریشه گیاهان محتمل به تنش شوری معرفی شده اند (Basra & Basa, 1997). پس از انتقال این یون به ساقه گیاهان محتمل، با برگشت دوباره آن به طرف ریشه، از بروز سمیت این یون در اندامهای هوایی جلوگیری بعمل می آید. همچنین نشان داده شده است که تحت تنش شوری، سرعت پایین انتقال یون Na^+ در ژنوتیپهای محتمل، به خاطر سیستم جذب ریشه آنها است که می توانند جذب و انتقال نمک را کنترل کنند و در ریشه ها، اصولاً جریان یون ها به ویژه یون Na^+ به سمت بیرون و در فضای بیرونی آنها است (Orooj & Ashraf, 2006). در ارقام حساس، یون K^+ بیش تر در ریشه ها ذخیره می شوند، در صورتی که ارقام محتمل برای تنظیم اسمزی، یون K^+ را به ساقه ها و اندام هوایی انتقال می دهند. گیاهان حساس در غلظت های بالای سدیم در محیط ریشه، کاهش شدید جذب پتاسیم و افزایش جذب سدیم را در اندامهای هوایی نشان می دهد. نسبت بالای غلظت یون K^+ به یون Na^+ در غلظت های بالای نمک یک مزیت در گیاه برنج است که می تواند

تفاوت در میزان یون های سدیم و پتاسیم در اندامهای زایشی و رویشی تحت تنش شوری در مطالعات مختلف که در فرا تحلیل حاضر مشاهده شد، می تواند به تفاوت در بین ارقام مطالعه شده، فاصله بین زمان اعمال تنش شوری و زمان اندازه گیری این عناصر و طول دوره زمانی اعمال تنش شوری نسبت داده شود. در این راستا اظهار شده است که با وجود افزایش میزان یون سدیم در اندامهای زایشی و رویشی ارقام مختلف برنج، با افزایش سطح تنش شوری، شیب این افزایش در ارقام محتمل از ارقام حساس کندتر است که نشان می دهد ارقام محتمل تا حدودی می توانند ورود یون سدیم را به درون بافت گیاهی به کمک سازوکارهای اختصاصی کندتر کنند (Flowers *et al.*, 1991). نتایج مطالعات فیزیولوژیکی نشان داده است که تنظیم جذب یون ها و جایگزینی آنها در داخل اندامها، سلولها و بافتها، اساس تحمل به شوری را در گیاهان عالی تشکیل می دهند. مکانیزمهایی در جهت جذب مجدد و ذخیره سدیم در سلولهای پارانشیم آوند چوبی یا انتقال مجدد سدیم از اندامهای هوایی به طرف ریشه توسط آوند

به‌عنوان یک معیار مناسب جهت انتخاب گیاهان از نظر تحمل به شوری در نظر گرفته شود (Mirmohammadi & Ghareyazi, 2002). از دیگر مکانیزم‌های مقاومت به شوری، کنترل سطوح شوری در برگ‌ها است. در گیاه حساس به شوری مثل برنج، حتی سطوح کم شوری خارجی (مثلاً ۵۰ میلی‌مول کلرید سدیم)، می‌تواند منجر به تجمع مقادیر بسیار بالا و خسارت‌زای نمک (۵۰۰ میلی‌مول) در آپوپلاست برگ شود. این امر به دلیل کنترل ضعیف ورود کلرید سدیم به داخل مسیر تعرق است (Flowers et al., 1991). مکانیزم دیگر برای مقابله با شوری در گیاهی مانند برنج، رقیق کردن نمک‌ها توسط رشد و اختصاص املاح به برگ‌های پیرتر است. در ارقام برنج با پتانسیل ژنتیکی سرعت رشد زیاد، تحمل به شوری بیشتری در مقایسه با ارقام دارای سرعت رشد کم‌تر دیده شده است. برگ‌های مسن در گیاهان مقاوم در اثر تجمع نمک از بین می‌روند، ولی گیاه برای حفظ سطح فتوسنتزکننده و رشد، به تولید برگ‌های جدید ادامه می‌دهد و تجمع نمک را در نقاط رشد شدیداً کنترل می‌کند (Basra & Basa, 1997).

همان‌گونه که از نتایج مطالعات مختلف بررسی شده در این فراتحلیل بیان شد، با افزایش سطح تنش شوری، میزان سدیم افزایش یافت و از میزان عمل‌کرد و اجزای آن کاسته شد. در نتیجه چنین یافته‌ای، سینگ و ساکار (Singh & Sakar, 2014) بیان داشتند که جذب سدیم توسط ریشه و انتقال و توزیع آن در قسمت‌های هوایی گیاه به‌ویژه در برگ‌های پیر پیش از دوره گل‌دهی، از علت‌های اصلی کاهش عملکرد دانه تحت تأثیر تنش شوری هستند که می‌توانند منجر به مرگ برگ، کاهش رشد و در نهایت کاهش انتقال مواد پرورده به نقاط ذخیره‌ای از جمله دانه شود.

صفات موثر بر فتوسنتز

تحت شرایط تنش ملایم شوری، میزان کلروفیل a در برگ در ۱۹ مطالعه بررسی شده بود. موقعیت اندازه اثر در نمودار انباشت و قرارگیری بیش‌تر نقاط در سمت چپ محور صفر، اثر کاهنده تنش ملایم شوری بر این صفت را نشان داد. چهار مطالعه در سمت راست محور صفر قرار داشتند که اندازه اثر فقط در یکی از آنها معنی‌دار بود. با این وجود، برآیند کلی و قرارگیری لوزی با میانگین اندازه اثر ۱/۵۷- و حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۶/۲۴- تا

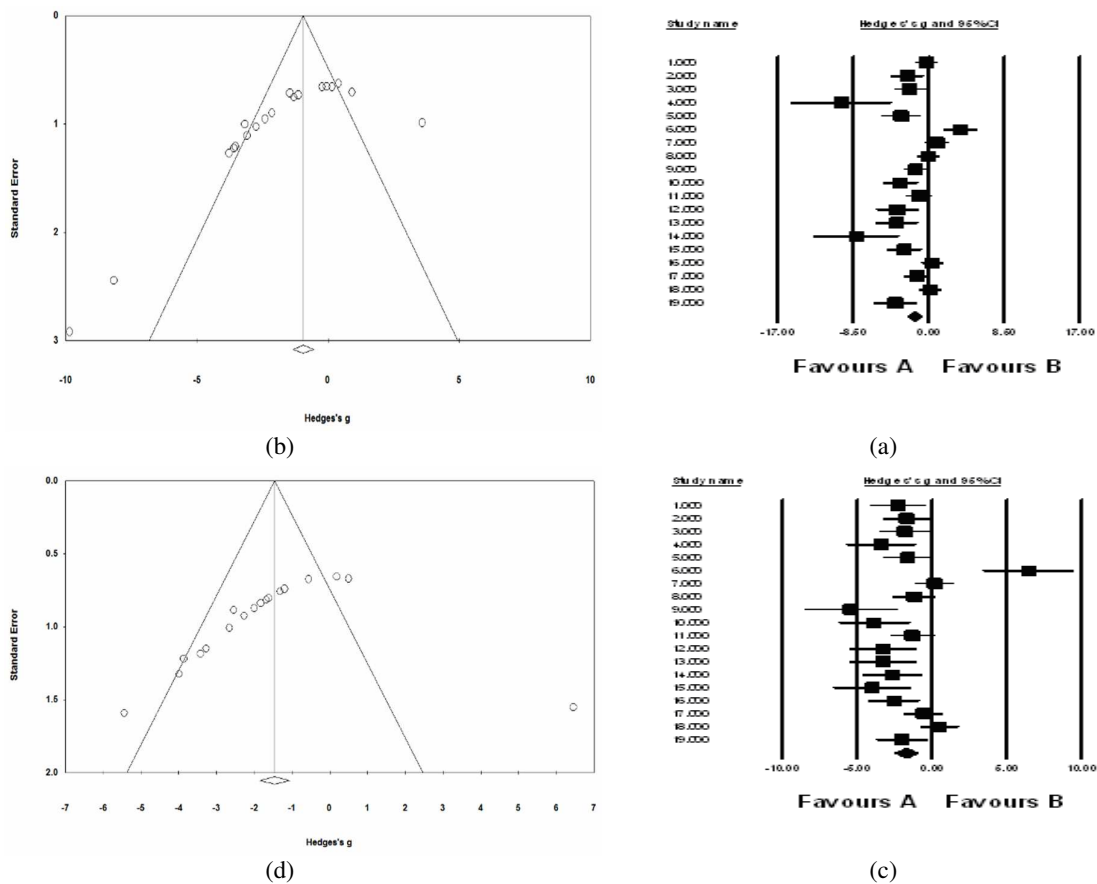
۱/۲۸- در سمت چپ محور صفر، بیانگر اثر منفی و معنی‌دار تنش ملایم شوری بر میزان کلروفیل a بود (شکل ۵-a). با توجه به سهم نسبی، انحراف معیار باقیمانده و معنی‌داری هر کدام از مطالعات (شکل تکمیلی ۱۳)، به نظر می‌رسد که مطالعات ۲ (Habibollahi et al., 2012)، ۳ (Ali et al., 2004)، ۵ (Irakoz et al., 2010)، ۹ (Sonone et al., 2023) و ۱۷ (Chandramohan et al., 2014) نتایج قابل استنادتری داشته باشند. در مطالعه ۲ (Habibollahi et al., 2012)، که در آن دو رقم خزر (حساس) و زاینده‌رود (متحمل) در غلظت‌های متفاوت شوری ارزیابی شده‌اند، تحمل به شوری در رقم زاینده‌رود ناشی از تجمع پرولین و افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز بود، اما در رقم حساس خزر، بازده کوانتومی فتوسنتز II (Fv/Fm) به شدت کاهش یافت. در مجموع این سه ویژگی از عوامل مؤثر بر تحمل به شوری در برنج شناخته شدند. بیش‌تر مطالعات در بخش بالایی نمودار کیفی و درون مثلث قرار گرفتند که پراکنش یکنواخت و متقارن آن‌ها، نشان‌دهنده تأثیر بودن مطالعات است. برخی از مطالعات در دو سمت راست و چپ در خارج از محدوده قرار داشتند که می‌تواند نشان‌دهنده وجود آربیبی در نتایج حاصل از این مطالعات باشد (شکل ۵-b).

نمودار انباشت تأثیر تنش ملایم شوری بر میزان کلروفیل b نشان داد که از ۱۹ مطالعه ارزیابی شده در ۱۶ مورد، تنش شوری اثر کاهنده بر میزان کلروفیل b داشت، زیرا اندازه اثر آن‌ها در سمت چپ محور صفر قرار داشت. اندازه اثر در بیش‌تر مطالعات با توجه به مقادیر p-value آماره Z و همچنین قطع کردن محور صفر به وسیله حدود اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار بود (شکل تکمیلی ۱۴ و شکل ۵-c). میانگین اندازه اثر (۱/۷۲-) نیز با توجه به حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۲/۵۳- تا ۰/۹۱- و مقدار آماره Z مربوطه، معنی‌دار بود. با توجه به تعداد زیاد مطالعات، وزن آن‌ها در فراتحلیل تقریباً برابر بود. با این وجود، مطالعاتی با وزن بالاتر، اندازه اثر معنی‌دار و انحراف معیار باقیمانده کم‌تر، مطالعات ۲ (Habibollahi et al., 2012) و ۵ (Ali et al., 2004) بودند (شکل تکمیلی ۱۴ و شکل ۵-c). در مطالعه ۵ (Ali et al., 2004)، میزان رنگدانه‌های کلروفیل در ژنوتیپ‌های متحمل به شوری در مقایسه با شاهد و دیگر ژنوتیپ‌ها بیش‌تر بود. به نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌های متحمل از طریق حفظ میزان رنگدانه‌های کلروفیل قادر به تحمل تنش شوری شدند.

نمی‌توان به نتایج فراتحلیل استناد کرد. به هر حال، نتایج فراتحلیل نشان داد که اندازه اثر در دو مطالعه منفی و در دو مطالعه دیگر مثبت بود (شکل تکمیلی ۱۵- a). میانگین اندازه اثر (۰/۷۸) با حدود اطمینان ۹۵ درصد ۰/۶۱- تا ۲/۱۸ معنی‌دار نبود (شکل تکمیلی ۱۵- c). مطالعات ۲ (Irakoz *et al.*, 2010) و ۴ (Shakeela *et al.*, 2016) با بیشترین وزن نیز اندازه اثر معنی‌داری نداشتند. نمودار کیفی نشان داد که فقط مطالعه ۳ (Musavizadeh *et al.*, 2018) در بیرون از مثلث قرار داشت و بقیه مطالعات درون مثلث و با پراکنش متقارن و یکنواخت جای گرفتند که ناریب بودن این چند مطالعه را نشان می‌دهد (شکل تکمیلی ۱۵- b).

نمودار کیفی نشان داد که بسیاری از مطالعات با خطای معیار اندک در بخش بالایی محور و به صورت متقارن و یکنواخت قرار داشتند و بنابراین با توجه به پراکنش مناسب آن‌ها می‌توان به نتایج آن‌ها اعتماد داشت. از بین مطالعات، سه مطالعه در سمت راست و یکی در سمت چپ، خارج از محدوده مثلث قرار داشتند (شکل ۵- d)، که در هنگام مواجهه با آن‌ها به تراست با احتیاط بیشتری برخورد کرد.

در مطالعات ارزیابی شده در این فراتحلیل، تأثیر تنش شوری بر میزان کاروتنوئید برنج در مطالعات زیادی بررسی نشده و فقط در چهار مطالعه تأثیر تنش شوری ملایم بر میزان کاروتنوئید برگ ارزیابی شده بود و از این‌رو چندان



شکل ۵- نمودار انباشت و کیفی میزان کلروفیل a (a و b) و کلروفیل b (c و d) تحت شرایط تنش ملایم شوری
Figure 5. Accumulation and funnel plots for chlorophyll a content (a and b), and chlorophyll b content (c and d) under mild salinity stress conditions

یافت و در ادامه با افزایش مدت تنش بر میزان آن‌ها افزوده شد. کاهش اولیه میزان این سه رنگیزه، در ارقام حساس (IR29) و نیمه‌حساس (جلودار) در مقایسه با رقم متحمل

موسوی‌زاده و هم‌کاران (Musavizadeh *et al.*, 2018) گزارش کردند که غلظت کلروفیل a, b و کاروتنوئید در ساعات اولیه اعمال تنش شوری، کاهش

(سنگ طارم) بیش تر بود. تجمع مالون دی‌آلدئید (Malondialdehyde) در رقم متحمل سنگ طارم کم تر از دو رقم حساس و نیمه حساس بود، حال آنکه تجمع پرولین در آن بیش تر بود. تخریب غشاهای سلولی تحت تأثیر تنش شوری و تولید مالون دی‌آلدئید برگ که ناشی از تخریب و تجزیه چربی‌های غشای سلولی است، می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای بررسی واکنش گیاه برنج به تنش شوری در نظر گرفته شود، به طوری که نشان داده شده است میزان تولید مالون دی‌آلدئید در رقم حساس به شوری برنج بیش از رقم متحمل بود (Musavizadeh et al., 2018). به نظر می‌رسد که تحمل به شوری در رقم متحمل به شوری سنگ طارم، از طریق تجمع پرولین و جلوگیری از تخریب رنگیزه‌ها و غشای سلولی پدید آمده باشد.

میزان کلروفیل a تحت شرایط تنش شوری شدید در شش مطالعه از هشت مطالعه ارزیابی شده، کاهش و در دو مطالعه دیگر افزایش یافت، هرچند این افزایش فقط در مطالعه ۳ (Taratima et al., 2022) معنی‌دار بود (شکل تکمیلی ۱۴-a). میانگین کلی اندازه اثر (۲/۵۰-) با حدود اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۴/۵۷- تا ۰/۴۴- معنی‌دار بود (شکل تکمیلی ۱۶-c) و اثر کاهشی تنش شوری بر میزان کلروفیل a را در برنج نشان داد. در بین مطالعات ارزیابی شده، بیشترین وزن به مطالعات ۱ (Ghadirnezhad et al., 2020) و ۳ و ۸ (Taratima et al., 2023) تعلق داشت (شکل تکمیلی ۱۶-a). در مطالعه ۱ (Ghadirnezhad et al., 2020) که اثر تنش شوری در پنج لاین موتانت حاصل از رقم های طارم هاشمی، طارم چالوسی و نعمت بررسی شده بود، میزان کلروفیل‌های a و b در تنش شدید شوری و کلروفیل a در تنش ملایم شوری در لاین موتانت حاصل از رقم نعمت بالا بود. البته از آنجا که بین لاین‌های موتانت در بالاترین سطح شوری تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار کلروفیل b و کاروتنوئید مشاهده نشد، به نظر می‌رسد که ویژگی‌های رنگیزه‌ای نقش مؤثری در افزایش میزان تحمل لاین‌ها در مقابل تنش نداشتند. بنابراین به سایر ویژگی‌های ارزیابی شده در آن پژوهش که می‌تواند م سبب بروز تحمل به شوری در ژنوتیپ (های) متحمل به شوری شده باشند، اشاره‌ای می‌شود. لاین موتانت حاصل از رقم نعمت، در مقایسه با سایر لاین‌ها در تمام سطوح شوری، بیشترین مقدار وزن خشک بوته، پرولین و فعالیت کاتالاز و گایاکول

پراکسیداز را داشت و مالون دی‌آلدئید و نشت یونی در آن کم تر بود. بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان متحمل‌ترین لاین معرفی کرد. از آنجایی که سازوکار مقاومت این لاین، مبتنی بر تنظیم اسمزی و افزایش مقدار اسید آمینه پرولین از طریق تجزیه پروتئین و سیستم آنزیمی کاتالاز بود، بنابراین می‌توان صفات مذکور را نیز به‌عنوان سازوکارهای پایه برای تحمل به شوری در نظر گرفت. نمودار کیفی نشان داد که پنج مطالعه در بخش بالایی نمودار به‌صورت یکنواخت و متقارن قرار گرفتند که بیانگر تألیف بودن نتایج آن‌ها بود. سایر موارد در سمت چپ و خارج از محدوده قرار داشتند (شکل تکمیلی ۱۶-b).

در ارتباط با تأثیر تنش شوری شدید بر میزان کلروفیل b، پنج مطالعه در سمت چپ محور صفر و چهار مطالعه در سمت راست قرار گرفتند (شکل تکمیلی ۱۷-a). میانگین اندازه اثر (۲/۶۴-) با وجود منفی بودن، با توجه به مقادیر p-value آماره Z و همچنین قطع نکردن محور صفر به‌وسیله حدود اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار نبود (شکل تکمیلی ۱۷-c). با این وجود، مقایسه اندازه اثر تنش ملایم (۱/۷۲-) و تنش شدید (۲/۶۴-) شوری نشان داد که با افزایش سطح تنش شوری از میزان کلروفیل b با شدت بیشتری می‌تواند کاسته شود. در بین مطالعات، بیشترین وزن مربوط به مطالعه ۷ (Kibria et al., 2017) بود که علاوه بر داشتن اندازه اثر معنی‌دار، کمترین میزان انحراف معیار باقیمانده را نیز داشت (شکل تکمیلی ۱۷-b). در نمودار کیفی فقط دو مطالعه ۱ (Ghadirnezhad et al., 2020) و ۸ (Taratima et al., 2023) درون مثلث و بقیه در خارج از محدوده قرار گرفتند (شکل تکمیلی ۱۷-b). بنابراین در هنگام استناد به مطالعات خارج از قیف، باید با احتیاط بیشتری برخورد شود.

همان‌طور که مشاهده شد، نتایج به‌ظاهر متناقضی در ارتباط با تأثیر تنش شوری بر رنگیزه‌های کلروفیل وجود دارد. گزارش‌ها نشان می‌دهند که با اعمال تنش ملایم و شدید شوری در برنج، در ساعات اولیه پس از اعمال تنش، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد، اما با افزایش مدت زمان اعمال تنش، ضخیم شدن برگ‌ها و لوله‌ای شدن آن، سبب افزایش نسبت کلروفیل در واحد سطح برگ و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل می‌شود. اگرچه این حالت پایدار نیست و پس از افزایش آسیب‌دیدگی برگ، کاهش میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای، میزان کلروفیل روند کاهشی پیدا می‌کند. سرعت این روند افزایش آغازین و کاهش واپسین

بسته به نوع رقم (حساس یا متحمل) متفاوت است، به طوری که در ارقام متحمل این روند کاهش می‌یابد و دیرتر و با شیب ملایم تری رخ می‌دهد (Musavizadeh *et al.*, 2018). حبیب‌اللهی و همکاران (Habibollahi *et al.*, 2012) در رقم متحمل زاینده‌رود و موسوی‌زاده و همکاران (Musavizadeh *et al.*, 2018) در رقم متحمل سنگ طارم چنین مکانیزمی را گزارش کردند. سنگاتول و همکاران (Senguttuvel *et al.*, 2014) نیز چنین نتیجه‌ای را گزارش دادند. افزایش غلظت کلروپلاست به دلیل کوچک‌تر شدن حجم سلول‌ها عنوان کردند، به طوری که با طولانی‌تر شدن دوره تنش، از غلظت آن کاسته می‌شود و در نتیجه مقدار کلی کلروفیل پس از زمانی کاهش می‌یابد. پاپ و همکاران (Papp *et al.*, 1983) گزارش کردند که به دلیل افزایش ضخامت برگ‌ها تحت تأثیر تنش شوری، میزان کلروفیل افزایش یافته است. در ارتباط با کاهش رنگیزه‌های کلروفیل تحت تأثیر تنش شوری، اظهار شده است که در ساختمان مولکولی کلروفیل، اتم منیزیم نقش مهمی دارد و ممکن است کمبود منیزیم در شرایط تنش شوری، سبب کاهش مقدار کلروفیل شده باشد (Habibollahi *et al.*, 2012). شوری در سطوح اندک می‌تواند تا اندازه‌ای منجر به تحریک تولید کلروفیل شود، اما به تدریج و با تداوم تنش شوری، محتوای این رنگیزه‌ها کاهش می‌یابد (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2020). کاروتنوئیدها هم می‌توانند با ممانعت از تشکیل گو نه‌های فعال اکسیژن و یا از طریق خاموش کردن کلروفیل برانگیخته شده، میزان آسیب ناشی از تنش را کاهش دهند (Adams III *et al.*, 2002).

همان‌گونه که در این فراتحلیل دیده شد، در بسیاری از مقاله‌ها با اعمال تنش شوری از میزان کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئید کاسته شد، اما در تعداد اندکی از آن‌ها میزان این رنگیزه‌ها افزایش یافت، که دلیل این دوگانگی می‌تواند به نوع ژنوتیپ مطالعه شده (حساس، متحمل یا نیمه‌متحمل) و همچنین مرحله رشدی گیاهان در هنگام اندازه‌گیری این رنگیزه‌ها و فاصله زمانی بین اعمال تیمار تنش و اندازه‌گیری صفت مورد مطالعه باشد. از دلایل کاهش محتوای کلروفیل ارقام برنج تحت تنش شوری می‌توان به اختلال در غشای تیلاکوئیدها، تخریب مولکول‌های کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و عدم ثبات کمپلکس پروتئین-رنگیزه و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها در اثر افزایش غلظت یون‌های سمی سدیم و

کلر و افزایش سطح گو نه‌های اکسیژن فعال اشاره کرد (Bhusan *et al.*, 2012). بوسان و همکاران (Bhusan *et al.*, 2016) گزارش کردند که محتوای کلروفیل b و کل کلروفیل تحت تأثیر تنش شوری در دو رقم برنج کاهش یافت. ایشان اظهار داشتند که کاهش کلروفیل در شرایط تنش شوری می‌تواند ناشی از زیان دیدگی بیوسنتز و یا تخریب این رنگیزه‌ها باشد. از سوی دیگر، افزایش یا عدم کاهش کلروفیل a احتمالاً ناشی از تبدیل کلروفیل b به کلروفیل a در طول فرآیندهای تجزیه کلروفیل می‌باشد (Eckardt, 2009). پژوهش‌گران دیگری نیز شیب تندتر کاهش کلروفیل b را در مقایسه با کلروفیل a تحت شرایط تنش شوری گزارش کردند (Djanaguiraman & Ramadass, 2004; Ali *et al.*, 2004; Chandramohan *et al.*, 2014). سعیدپور و همکاران (Saedipour *et al.*, 2015) نشان دادند که در رقم مقاوم به شوری، سطح بالای کربوهیدرات و تأخیر در تجزیه کلروفیل و تجزیه کم‌تر کلروفیل مشاهده شد. ایشان بیان داشتند که ممکن است با تقویت تجمع کربوهیدرات تحت تنش شوری، از تجزیه کلروفیل در رقم مقاوم پیشگیری شود. کاهش میزان کلروفیل در گیاهان تحت تنش شوری، یکی از علائم معمول تنش اسمزی است. در این راستا، سیرین‌گام و همکاران (Siringam *et al.*, 2012) نشان دادند که قند خارجی استفاده شده در محیط کشت مستقیماً جذب می‌شود و گیاه‌چه‌های برنج را قوی‌تر و تجمع قند قابل حل را زیاد می‌کند و از این رو نقش اساسی در تنظیم اسمزی برای مکانیزم دفاعی برابر نمک دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این فراتحلیل نشان داد که تنش شوری می‌تواند عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه پر در خوشه، محتوای پتاسیم دانه و اندام‌های رویشی و کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید برگ را کاهش دهد و باعث افزایش محتوای سدیم شود. از بین صفات زراعی بررسی شده، عملکرد دانه به ترتیب با کاهش ۷۲/۸ و ۱۱۸/۹ درصدی در سطوح شوری ۴ و ۸ سی‌زیمنس بر متر، حساس‌ترین و در نتیجه آسیب‌پذیرترین صفت نسبت به تنش شوری بود. در سطوح شوری ۴ و ۸ سی‌زیمنس بر متر، کاهش تعداد خوشه در بوته به ترتیب برابر با ۳۰/۴۲ و ۳۵/۲۹ درصد و کاهش تعداد دانه پر در خوشه

به‌عنوان یک سازوکار زراعی برای مقابله با تنش شوری استفاده شود. علاوه بر این، بررسی نتایج مطالعات قبلی و فراتحلیل آن‌ها در مطالعه حاضر نشان داد که رقم‌های برنج ایرانی غریب سیاه ریحانی (با حفظ سطح بالاتر پتاسیم و سطح پایین‌تر سدیم و داشتن تعداد و وزن دانه پر بیش‌تر در خوشه، تعداد خوشه بیش‌تر در بوته و ارتفاع بوته مناسب)، سنگ طارم (با کاهش تجمع مالون دی‌آلدئید و افزایش تجمع پرولین)، لاین موتانت حاصل از رقم نعمت (با داشتن بیش‌ترین مقدار وزن خشک بوته، میزان پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز، تجمع کم‌تر مالون دی‌آلدئید و کاهش نشت یونی) و زیاده‌رود (از طریق تجمع پرولین، افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و جلوگیری از کاهش شدید بازده کوانتومی فتوسنتز II)، و رقم‌های برنج خارجی Xudao9 (با کاهش نسبت Na^+/K^+ و Pokkali و Nagdong (با کاهش نسبت Na^+/K^+ در ریشه و ساقه و بیان بیش‌تر ژن‌های خانواده OsHKT)، منابع ژنتیکی متحمل به شوری بودند و می‌توانند برای استفاده در برنامه‌های به‌نژادی پیشنهاد شوند.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تاکنون به‌طور کامل به هیچ‌زبانی و در هیچ‌نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ‌نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان 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.

به‌ترتیب برابر با ۲۵/۱۶ و ۵۷/۸۴ در صد بود. این یافته‌ها بیانگر این است که در شوری ملایم، میزان کاهش تعداد خوشه در بوته بیش‌تر از تعداد دانه پر در خوشه بود، اما با افزایش سطح شوری، تعداد دانه پر در خوشه تأثیر بیش‌تری پذیرفت و حساسیت بیش‌تری به سطوح بالای تنش شوری نشان داد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که در سطوح بالای تنش شوری، کاهش این جزء عمل‌کرد تأثیر بیش‌تری بر کاهش عملکرد دانه داشته باشد. از طرف دیگر، با افزایش سطح شوری، از میزان کلروفیل a و b با شدت بیش‌تری کاسته شد و بر تجمع سدیم نیز با شدت بیش‌تری افزوده شد. این نتیجه هم می‌تواند بر کاهش نهایی عملکرد دانه تأثیرگذار باشد. نتایج فراتحلیل تنش شدید و ملایم شوری نشان داد که اندازه اثر کلی برای صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه پر در خوشه و میزان پتاسیم در سمت چپ محور صفر قرار داشت که بیانگر کاهش معنی‌دار این صفات تحت شرایط تنش شوری بود، اما برای میزان سدیم در سمت راست محور صفر قرار گرفت و بیانگر تأثیر افزایش تنش شوری بر میزان سدیم بود. موقعیت اندازه اثر کلی تنش شدید و ملایم شوری بر میزان کلروفیل های a و b و تنش ملایم شوری بر میزان کاروتنوئید در نمودار انباشت نیز اثر کاهنده تنش شوری را بر این صفات نشان داد. در مجموع، نتایج این مطالعه اثر کاهنده تنش شوری را بر برخی از مهم‌ترین صفات عملکرد، رشد و فیزیولوژیک برنج و اثر افزایش آن را بر میزان سدیم نشان داد. بنابراین بهبود تعداد خوشه‌های بارور، تعداد دانه در خوشه، رنگدانه‌های فتوسنتزی و میزان پتاسیم و کاهش محتوای سدیم برای اصلاح رقم‌های برنج متحمل به تنش شوری پیشنهاد می‌شود. در مجموع مکانیزم‌هایی نظیر دارا بودن میزان بالاتر پتاسیم، میزان کم‌تر سدیم، کاهش نسبت Na^+/K^+ ، حفظ میزان رنگیزه‌های کلروفیل در حد مطلوب و جلوگیری از تخریب آن‌ها، تجمع پرولین، افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و گایاکول پراکسیداز، جلوگیری از کاهش شدید بازده کوانتومی فتوسنتز II، جلوگیری از تخریب غشای سلولی و در نتیجه تجمع مالون دی‌آلدئید و کاهش نشت یونی می‌توانند معیارهای مناسبی برای انتخاب رقم‌های متحمل به شوری در برنج باشند. از دیگر یافته‌های این مطالعه، نقش تعدیل‌کنندگی دور آبیاری و شرایط غرقاب در مقابله با تنش شوری بود که می‌تواند

References

- Adams Iii, W. W., Demmig-Adams, B., Rosenstiel, T. N., Brightwell, A.K., & Ebbert, V. (2002). Photosynthesis and photoprotection in overwintering plants. *Plant Biology*, 4, 545-557. doi: [10.1055/s-2002-35434](https://doi.org/10.1055/s-2002-35434).
- Afkhami Ghadi, A., Habibzadeh, F., & Hosseini, S. J. (2021). Evaluation of rice genotypes from crossing based on salinity stress tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 13(39), 108-121. [In Persian]. doi: [10.52547/jcb.13.39.108](https://doi.org/10.52547/jcb.13.39.108).
- Ali, Y., Aslam, Z., Ashraf, M. Y., & Tahir, G.R. (2004). Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1(3), 221-225. doi: [10.1007/BF03325836](https://doi.org/10.1007/BF03325836).
- Amiri, E., Rezaei, M., & Shirshahi, F. (2019). Performance of the aquacrop model under deficit and saline irrigation management of rice. *Water Management in Agriculture*, 6(1), 13-22. [In Persian].
- Anshori, M. F., Purwoko, B. S., Dewi, I. S., Suwarno, W. B., & Ardie, S. W. (2022). Salinity tolerance selection of doubled-haploid rice lines based on selection index and factor analysis. *AIMS Agriculture & Food*, 7(3), 520-535. doi: [10.3934/agrfood.2022032](https://doi.org/10.3934/agrfood.2022032).
- Basra, A. S., & Basa, R. K. (1997). Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. Harwood Academic Press. 430 p.
- Bhusan, D., Das, D. K., Hossain, M., Murata, Y., & Hoque, M. A. (2016). Improvement of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by increasing antioxidant defense systems using exogenous application of praline. *Australian Journal of Crop Science*, 10(1), 50-56.
- Biabani, A., Sabouri, H., & Nakhzari, A. (2012). Study of yield components of rice cultivars under salinity stress condition. *Journal of Plant Production*, 19(4), 173-186. [In Persian].
- Borenstein, M., Hedges, L., Higgins, J., & Rothstein, H. (2005). Comprehensive meta-analysis software (CMA). Compr. Meta-Anal. Version 2.
- Chandramohanam, K. T., Radhakrishnan, V. V., Abhilash Joseph, E., & Mohanan, K. V. (2014). A study on the effect of salinity stress on the chlorophyll content of certain rice cultivars of Kerala state of India. *Agriculture, Forestry & Fisheries*, 3(2), 67-70. doi: [10.11648/j.aff.20140302.13](https://doi.org/10.11648/j.aff.20140302.13).
- Channa, G. S., Mahar, A. R., Rajpar, I., Memon, A. H., Saand, M. A., Mirbahar, A. A., Majid, A., Lal, S., & Sirohi, M. H. (2019). Effect of salinity on growth, yield and ion contents of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *International Journal of Biosciences*, 14(5), 192-204. doi: [10.12692/ijb/14.5.192-204](https://doi.org/10.12692/ijb/14.5.192-204).
- Djanaguiraman, M., & Ramadass, R. (2004). Effect of salinity on chlorophyll content of rice genotypes. *Agricultural Science Digest*, 24(3), 178-181.
- Eckardt, N. A. (2009). A new chlorophyll degradation pathway. *The Plant Cell*, 21(3), 700. doi: [10.1105/tpc.109.210313](https://doi.org/10.1105/tpc.109.210313).
- Fallah, A., Bagheri, L., & Farahmandfar, E. (2012). Effect of salinity on different stages of rice growth. 15th National Conference on Rice, 20-21 February, Sari Agricultural Science & Natural Resources University. [In Persian].
- Farooq, M., Park, J. R., Jang, Y. H., Kim, E. G., & Kim, K. M. (2021). Rice cultivars under salt stress show differential expression of genes related to the regulation of Na⁺/K⁺ balance. *Frontiers in Plant Science*, 12: 680131. doi: [10.3389/fpls.2021.680131](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.680131).
- Flowers, T. J., Hajibagheri, M. A., & Yeo, A. R. (1991). Ion accumulation in the cell walls of rice plants growing under saline conditions: Evidence for the Oertli hypothesis. *Plant, Cell & Environment*, 14(3), 319-325. doi: [10.1111/j.1365-3040.1991.tb01507.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb01507.x).
- Forough, M., Navbpour, S., Ebrahimie, E., Ebadi, A. A., & Kiani, D. (2018). Evaluation of salinity response through the antioxidant defense system and osmolyte accumulation in a mutant rice. *Journal of Plant Molecular Breeding*, 6(2), 27-37. doi: [10.22058/JPMB.2019.114746.1192](https://doi.org/10.22058/JPMB.2019.114746.1192).
- Gavaghan, D. J., Moore, R. A., & McQuay, H. J. (2000). An evaluation of homogeneity tests in meta-analyses in pain using simulations of individual patient data. *Pain*, 85(3), 415-424. doi: [10.1016/S0304-3959\(99\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S0304-3959(99)00302-4).
- Ghadirnezhad Shiade, S. R., Esmaeili, M., Pirdashti, H., & Nematzadeh, G. A. (2020). Physiological and biochemical evaluation of sixth generation of rice (*Oryza sativa* L.) mutant lines under salinity stress. *Journal of Plant Process & Function*, 9(3), 57-72. [In Persian]. dor: [20.1001.1.23222727.1399.9.35.21.2](https://doi.org/20.1001.1.23222727.1399.9.35.21.2).
- Gharavi Baigi, M., Yaghoubian, Y., & Pirdashti, H. (2018). Meta-analysis of salinity stress effects on rice (*Oryza sativa* L.): A case study in Iran. 18th National Rice Conference, Sari, Iran. [In Persian].

- Gurevitch, J., & Hedges, L. V. (1999). Statistical issues in ecological meta-analyses. *Ecology*, 80(4), 1142-1149. doi: [10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1142:SIHEMA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1142:SIHEMA]2.0.CO;2).
- Gurevitch, J., Morrow, L. L., Wallace, A., & Walsh, J. S. (1992). A meta-analysis of competition in field experiments. *The American Naturalist*, 140(4), 539-572. doi: [10.1111/j.1469-8137.2007.02277.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02277.x).
- Habibollahi, N., Mahdiyeh, M., & Amirjani, M. R. (2012). Effect of salt stress on growth, proline, antioxidant enzyme activity and photosystem II efficiency in salt-sensitive and -tolerant rice cultivars. *Journal of Plant Biological Sciences*, 4(13), 85-96. [In Persian]. dor: [20.1001.1.20088264.1391.4.13.8.3](https://doi.org/20.1001.1.20088264.1391.4.13.8.3).
- Hedges, L. V., Gurevitch, J., & Curtis, P. S. (1999). The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology*, 80(4), 1150-1156. doi: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1150:TMAORR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1150:TMAORR]2.0.CO;2).
- Higgins, J., & Green, S. (2011). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 5.1.0. Available from www.handbook.cochrane.org.
- Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *British Medical Journal*, 327(7414), 557-560. doi: [10.1136/bmj.327.7414.557](https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557).
- Higgins, J. P. T., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 21(11), 1539-1558. doi: [10.1002/sim.1186](https://doi.org/10.1002/sim.1186).
- Hosseini, S. J., Tahmasebi, Z., & Pirdashti, H. (2012). Screening of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes for NaCl tolerance at early seedling stage. *International Journal of Agronomy & Plant Production*, 3(8), 274-283.
- Irakoze, W., Prodjimoto, H., Nijimbere, S., Rufyikiri, G., & Lutts, S. (2020). NaCl and Na₂SO₄ salinities have different impact on photosynthesis and yield-related parameters in rice (*Oryza sativa* L.). *Agronomy*, 10(6), 864. doi: [10.3390/agronomy10060864](https://doi.org/10.3390/agronomy10060864).
- Kamrava, S., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, N. (2021). The effect of salinity stress on the amount of proline, chlorophyll and sodium and potassium ions in different rice cultivars in hydroponic environment. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), 805-821. [In Persian]. doi: [10.22077/escs.2020.3078.1791](https://doi.org/10.22077/escs.2020.3078.1791).
- Kibria, M. G., Hossain, M., Murata, Y., & Hoque, M. A. (2017). Antioxidant defense mechanisms of salinity tolerance in rice genotypes. *Rice Science*, 24(3), 155-162. doi: [10.1016/j.rsci.2017.05.001](https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.05.001).
- Majidi-Mehr, A., & Amiri-Fahliani, R. (2021). Evaluation of reaction of some rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to salinity stress at seedling stage. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(4), 1293-1306. [In Persian]. doi: [10.22077/escs.2020.2468.1649](https://doi.org/10.22077/escs.2020.2468.1649).
- Mirdar Mansuri, R., Shobbar, Z. S., Babaeian Jelodar, N., Ghaffari, M. R., Mohammadi, S. M., & Daryani, P. (2020). Salt tolerance involved candidate genes in rice: An integrative meta-analysis approach. *BMC Plant Biology*, 20, 452. doi: [10.1186/s12870-020-02679-8](https://doi.org/10.1186/s12870-020-02679-8).
- Mirdar Mansuri, S., Babaeian Jelodar, N., & Bagheri, N. (2014). Effects of NaCl stress on grain yield and their components in Iranian rice genotypes. *Journal of Crop Breeding*, 6(14), 67-83. [In Persian]. dor: [20.1001.1.22286128.1393.6.14.6.7](https://doi.org/20.1001.1.22286128.1393.6.14.6.7).
- Mirmohammadi, S. A. M., & Ghareyazi, B. (2002). *Physiological Aspects and Breeding for Salinity Stress in Plants*. Esfahan Industrial University Press, Iran. 274 p. [In Persian].
- Mohammadi-Nejad, G., Singh, R. K., Arzani, A., Rezaie, A. M., Sabouri, H., & Gregorio, G. B. (2010). Evaluation of salinity tolerance in rice genotypes. *International Journal of Plant Production*, 4(3), 199-208. doi: [10.22069/IJPP.2012.696](https://doi.org/10.22069/IJPP.2012.696).
- Moradi, F., & Ismail, A. M. (2007). Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. *Annals of Botany*, 99(6), 1161-73. doi: [10.1093/aob/mcm052](https://doi.org/10.1093/aob/mcm052).
- Mortezainezhad, F., Khavarinezhad, R., & Emami, M. (2006). Study of some parameters of yield and proline in rice plants under NaCl Salinity stress. *Agroecology Journal*, 2(2), 65-70. [In Persian].
- Musavizadeh, Z. S., Najafi Zarini, H., Hashemi-Petroudi, S. H., & Kazemitabar, S. K. (2018). Assessment of proline, chlorophyll and malondialdehyde in sensitive and tolerant rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under salt stress conditions. *Journal of Crop Breeding*, 10(25), 28-35. [In Persian]. doi: [10.29252/jcb.10.25.28](https://doi.org/10.29252/jcb.10.25.28).
- Nasrudin, N., Isnaeni, S., & Fahmi, P. (2022). The effect of high salt stress on the agronomic, chlorophyll content, and yield characteristics of several rice varieties. *IOP Conference Series: Earth & Environmental Science*, 995, 012028. doi: [10.1088/1755-1315/995/1/012028](https://doi.org/10.1088/1755-1315/995/1/012028).

- Nguyen, T.C., & Nguyen, T. L. (2007). Identification of some promising varieties for salinity soil and phosphorus deficient areas in the Mekong Delta. *Omonrice*, 15, 179-184.
- Orooj, A., & Ashraf, M. (2006). Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum sprague*). *Journal of Arid Environments*, 64(2), 209-220. doi: [10.1016/j.jaridenv.2005.04.015](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.04.015).
- Papp, J. C., Ball, M. C., & Terry, N. (1983). A comparative study of the effects of NaCl salinity on respiration, photosynthesis, and leaf extension growth in *Beta vulgaris* L. (Sugar beet). *Plant, Cell and Environment*, 6(8), 675-677. DOI: [10.1111/1365-3040.ep11589273](https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11589273).
- Rafaliarivony, S., Ranarijaona, H. L. T., Rasoafalimanana, M., Radanielina, T., & Wissuwa, M. (2022). Evaluation of salinity tolerance of lowland rice genotypes at the reproductive stage. *BioRxiv*, 1-25. doi: [10.1101/2022.08.22.504861](https://doi.org/10.1101/2022.08.22.504861).
- Rezaei, M., Davatgar, N., Khaledian, M. R., Ashrafzadeh, A., Kavossi, M., & Zavareh, M. (2012). Study of the effect of saline water on rice yield under water stress conditions. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 36(1), 81-88. [In Persian].
- Ried, K. (2006). Interpreting and understanding meta-analysis graphs: A practical guide. *Australian Family Physician*, 35(8), 635-638.
- Roy, S. J., Negrão, S., & Tester, M. (2014). Salt resistant crop plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 115-124. doi: [10.1016/j.copbio.2013.12.004](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.12.004).
- Sadradini, A. A., & Salahshour Dalivand, F. (2013). The effect of salinity stress and irrigation regimes on yield and water productivity in cracked paddy rice field. *Cereal Research*, 2(3), 193-208. [In Persian]. dor: [20.1001.1.22520163.1391.2.3.3.7](https://doi.org/20.1001.1.22520163.1391.2.3.3.7).
- Saedipour, S. (2015). Response of two Indica rice varieties to salt stress. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 5(2), 1-10.
- Saeidzadeh, F., & Taghizadeh, R. (2019). Effect of salinity stress on rice varieties (*Oryza Sativa* L.) in seedling and reproductive stages under hydroponic culture conditions. *Journal of Applied Biology*, 32(2), 93-108. [In Persian]. doi: [10.22051/jab.2019.4327](https://doi.org/10.22051/jab.2019.4327).
- Saeidzadeh, F., Taghizadeh, R., & Gurbanov, E. (2016). Evaluation of salinity tolerance in some of rice genotypes under west region of Guilan province (Astara). *Cereal Research*, 6(1), 31-41. [In Persian]. dor: [20.1001.1.22520163.1395.6.1.3.1](https://doi.org/20.1001.1.22520163.1395.6.1.3.1).
- Salahshour Dalivand, F., Sadradini, A. A., Nazemi, A. H., Davatgar, N., & Neyshabouri, M. R. (2014). Simulation of simultaneous effect of salinity and drought stresses on grain yield of rice cv. Hashemi. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 15(4), 320-336. [In Persian]. dor: [20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7](https://doi.org/20.1001.1.15625540.1392.15.4.3.7).
- Senguttuvel, P., Vijayalakshmi, C., Thiyagarajan, K., Kannanbapu, J. R., Kota, S., Padmavathi, G., & Viraktamath, B. C. (2014). Changes in photosynthesis, chlorophyll fluorescence, gas exchange parameters and osmotic potential to salt stress during early seedling stage in rice (*Oryza sativa* L.). *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, 46(1), 120-135.
- Shakeela, B. S., Chachar, Q. I., Chachar, S. D., Solangi, A. B., & Solangi, J. A. (2016). Effect of salinity (NaCl) stress on physiological characteristics of rice (*Oryza Sativa* L.) at early seedling stage. *International Journal of Agricultural Technology*, 12(2), 263-279.
- Shankar A., Choudhary, O. P., Dharminder, B. B., & Kuldeep, S. (2021). Effect of EMS induced mutation in rice cultivar Nagina 22 on salinity tolerance. *BioRxiv*, 1-20. doi: [10.1101/2021.08.03.455004](https://doi.org/10.1101/2021.08.03.455004).
- Sharifi, P. (2012a). Diallel analysis to study genetic parameters of rice salinity tolerance traits at germination stage. *SABRAO Journal of Breeding & Genetics*, 44(1) 42-57.
- Sharifi, P. (2012b). Graphic analysis of salinity tolerance traits of rice (*Oryza sativa* L.) using biplot method. *Cereal Research Communications*, 40(3), 416-424. doi: [10.1556/CRC.40.2012.3.3](https://doi.org/10.1556/CRC.40.2012.3.3).
- Sharifi, P. (2013). Evaluating the effect of salinity stresses on some of the traits of rice at the germination stage. *Plant & Ecosystem*, 9(34-1), 31-40. [In Persian].
- Sharifi, P. (2020). Evolution, domestication, breeding methods and the latest breeding findings in rice. Publications of Agricultural & Natural Resources Engineering Organization of Iran. 254 p. [In Persian].
- Sharifi, P., Safari Motlagh, M. R., & Aminpanah, H. (2012). Diallel analysis for salinity tolerance in rice traits at germination stage. *African Journal of Biotechnology*, 11(14), 3276-3283. doi: [10.5897/AJB11.2627](https://doi.org/10.5897/AJB11.2627).

- Singh, D. P., & Sarkar, R. K. (2014). Distinction and characterization of salinity tolerant and sensitive rice cultivars as probed by the chlorophyll fluorescence characteristics and growth parameters. *Functional Plant Biology*, 41(7), 727-736. doi: [10.1016/j.rsci.2016.08.008](https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.08.008).
- Siringam, K., Juntawong, N., Cha-um, S., Boriboonkaset, T., & Kirdmanee, C. (2012). Salt tolerance enhancement in indica rice (*Oryza sativa* L. spp. Indica) seedlings using exogenous sucrose supplementation. *Plant Omics Journal*, 5(1), 52-59.
- Sonone, M., Mane, A., Sawardekar, S., & Kunkerkar, R. (2023). Consequences of salt stress on chlorophyll pigments of rice genotypes. *The Pharma Innovation Journal*, 12(6), 3272-3275.
- Taratima, W., Chomarsa, T., & Maneerattanarungroj, P. (2022). Salinity stress response of rice (*Oryza sativa* L. cv. Luem Pua) calli and seedlings. *Scientifica (Cairo)*, 5616683. doi: [10.1155/2022/5616683](https://doi.org/10.1155/2022/5616683).
- Taratima, W., Chaisuwan, S., Plaikhuntod, K., Maneerattanarungroj, P., Kunpratun, N., & Trunjaruen, A. (2023). Salinity tolerance evaluation of rice (*Oryza sativa* L.) 'Tubtim Chumphae' seedling and early vegetative stage. *Asian Journal of Plant Sciences*, 22(2), 250-259. doi: [10.3923/ajps.2023.250.259](https://doi.org/10.3923/ajps.2023.250.259).
- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajarvi, P., & Turtola, E. (2009). Phosphorus fertilization: A meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 130(3-4), 75-85. doi: [10.1016/j.agee.2008.12.004](https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.12.004).
- Zeng, L., Shannon, M. C., & Grieve, C. M. (2002). Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Euphytica*, 127, 235-245. doi: [10.1023/A:1020262932277](https://doi.org/10.1023/A:1020262932277).
- Zhang, R., Wang, Y., Hussain, S., Yang, S., Li, R., Liu, S., Chen, Y., Wei, H., Dai, Q., & Hou, H. (2022). Study on the effect of salt stress on yield and grain quality among different rice varieties. *Front in Plant Science*, 13, 918460. doi: [10.3389/fpls.2022.918460](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.918460).
- Zhang, Y., Fang, J., Wu, X., & Dong, L. (2018). Na⁺/K⁺ balance and transport regulatory mechanisms in weedy and cultivated rice (*Oryza sativa* L.) under salt stress. *BMC Plant Biology*, 18, 375. doi: [10.1186/s12870-018-1586-9](https://doi.org/10.1186/s12870-018-1586-9).
- Zheng, C., Liu, C., Liu, L., Tan, Y., Xiabing, S., Yu, D., Sun, Z., Sun, X., Chen, J., Yuan, D., & Duan, M. (2023). Effect of salinity stress on rice yield and grain quality: A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 144, 126765. doi: [10.1016/j.eja.2023.126765](https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126765).