University of Birjand

Environmental Stresses in Crop Sciences

Journal homepage: https://escs.birjand.ac.ir

18(3), 401-416 (2025)
https://doi.org/10.22077/escs.2025.7211.2269

Original article

The role of phosphorus fertilizers and planting techniques in mitigating drought stress in isabgol (*Plantago ovata* Forssk)

Meisam Khavari[1], Mahmood Ramroudi[2*], Ahmad Ghanbari[2], Mahdi Dahmardeh[3]

1. Ph.D. graduated of Agroecology, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Professor, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran
3. Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran

Received 6 February 2024; Revised 5 June 2024; Accepted 18 June 2024

Extended abstract

Introduction

Plantago ovata is classified in the Plantaginaceae family. Water and nutrients are crucial determinants of plant growth. Multiple studies indicate that the optimal effectiveness of fertilization occurs when plants are not experiencing water stress, while irrigation is most effective when nutrients are not limited. Drought stress is a complex form of stress that leads to alterations in the physiological, morphological, biochemical, and molecular characteristics of plants. Phosphorus is a vital nutrient necessary for the growth of plants. It facilitates plant maturation and promotes seed development. Intensive agriculture carries the potential for over-fertilization. Microorganisms play a crucial role in agriculture by facilitating the movement of plant nutrients and minimizing reliance on chemical fertilizers. Enhanced sowing techniques not only ensure the ideal number of plants by promoting better germination, but also allow for uniform and efficient utilization of land, light, and other input resources by the plants. Therefore, it is crucial to establish a planting arrangement that can prevent overcrowding and allow plants to optimize resource utilization with greater effectiveness and efficiency.

Materials and methods

The experiment was carried out as a split-factorial design with a randomized complete blocks arrangement. It was conducted at the research farm of Zabol University in Chah Nimeh, with three replications. The experimental treatments consisted of three levels of drought stress: irrigation after 60 mm (non-stress), 120 mm, and 180 mm evaporation from a class A evaporator (severe drought stress) as main factor. The sub-factor was the combination of seed planting method (flat or ridge planting) and phosphorus fertilizer types, which included 100% chemical phosphorus fertilizer, Phosphate Barvar2, and a combination of 50% chemical phosphorus fertilizer and Phosphate Barvar2. The following characteristics were analyzed: spike length, spike weight, spike density per square meter, grain yield per plant, individual plant dry weight, harvest index, grain protein content, mucilage percentage, seed husk percentage, and husk yield. The data analysis was conducted using SAS software version 9.1. To compare the means of treatments, Duncan's Multiple Range Test was employed with a significance level of 5%.

Results and discussion

The findings indicated that the non-stress irrigation treatment combined with the application of phosphorus fertilizers resulted in the highest values for spike length, weight of spike, number of spike per m-2, grain yield per plant, single plant dry weight, and husk yield. The comparison results of the means of the interaction effects of irrigation and phosphorus fertilizers showed that the highest grain

* Corresponding author: Mahmood Ramroudi; E-Mail: m_ramroudi@yahoo.com

© 2025, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

yield per plant (2.271 gr) was observed with the non-stress irrigation treatment and the combined use of phosphorus fertilizers. On the other hand, the lowest grain yield (0.741 gr) was associated with the treatment of severe drought stress and non-application of phosphorus fertilizers. Additionally, the highest seed protein (2.305 $mg.g^{-1}$ seed weight) and mucilage percentage (15.04) were obtained from the irrigation treatment after severs drought stress with the combined application of phosphorus fertilizers. The husk percentage, was influenced by phosphorus fertilizers and planting methods with different irrigation levels. Applying phosphorus fertilizers and utilizing a ridge planting technique, along with irrigation triggered after 180 mm of evaporation from the evaporation pan, resulted in a 32% increase when compared to the standard irrigation treatment and absence of fertilizer.

Conclusion

The utilization of phosphorus fertilizers resulted in a beneficial impact on both the quantity and quality attributes of grain yield per plant. The combined treatments had a more pronounced positive effect compared to applying phosphorus fertilizers individually. The primary factor contributing to the superiority of the flat planting method was the accelerated germination of seeds, which facilitated faster plant establishment. The research findings indicate that the most significant quantitative attributes of Plantago ovata were achieved through the irrigation treatment of 60 mm evaporation from the evaporation pan, coupled with the combined use of biological and chemical phosphorus fertilizers using the flat planting method.

Keywords: Drought stresses, Flat or ridge, Mucilage, Phosphorus fertilizers, Seed husk

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد هجدهم، شماره سوم، پائیز ۱۴۰۴

https://doi.org/10.22077/escs.2025.7211.2269

مقاله پژوهشی

نقش بارورکننده‌های فسفر و الگوهای کاشت در کاهش تنش خشکی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forssk)

میثم خاوری[۱]، محمود رمرودی[۲*]، احمد قنبری[۲]، مهدی دهمرده[۳]

۱. دانش‌آموخته دکتری اگرواکولوژی، دانشگاه زابل، زابل
۲. استاد گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل
۳. دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل

مشخصات مقاله

واژه‌های کلیدی:
پوسته بذر
تنش خشکی
کودهای فسفر
مسطح یا جوی و پشته
موسیلاژ

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۹

تاریخ انتشار:
پائیز ۱۴۰۴
۱۸(۳): ۴۰۴-۴۱۶

چکیده

به‌منظور ارزیابی نقش بارورکننده‌های فسفر و الگوهای کاشت در کاهش تنش خشکی گیاه دارویی اسفرزه، پژوهشی به‌صورت اسپلیت – فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مجتمع آموزشی و تفریحی بقیه‌الله الاعظم (عج) دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. عامل اصلی تحقیق شامل تنش خشکی در سه سطح، آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر (متداول)، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A (تنش شدید خشکی) و عامل فرعی ترکیب روش کاشت بذر (مسطح یا جوی و پشته) و انواع بارورکننده‌های فسفره شامل ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل، کود زیستی فسفات بارور ۲، تلفیق کود زیستی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل و عدم کاربرد کود (شاهد) بودند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین طول سنبله، وزن سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، عملکرد دانه تک بوته، وزن خشک تک بوته و عملکرد پوسته از تیمار آبیاری متداول با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی فسفره به‌دست آمد نتایج برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده‌های فسفره نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته با ۲/۲۷۱ گرم مربوط به تیمار آبیاری نرمال و استفاده ترکیبی بارور کننده‌ها درحالی‌که کم‌ترین عملکرد دانه با ۰/۷۴۱ گرم مربوط به تیمار تنش شدید خشکی و عدم کاربرد بارور کننده‌های فسفره بود و بیش‌ترین پروتئین دانه (۲/۳۰۵ میلی‌گرم بر گرم وزن دانه) و درصد موسیلاژ (۱۵/۰۴) از تیمار تنش شدید خشکی با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی فسفره به‌دست آمد. درصد پوسته تحت تأثیر بارورکننده‌های فسفره و روش کاشت در سطوح مختلف آبیاری قرار گرفت استفاده از کودهای فسفره و روش کاشت جوی و پشته همراه با آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر توانست درصد پوسته را در مقایسه به تیمار آبیاری نرمال و عدم کاربرد کود در روش کاشت مسطح ۳۲ درصد اضافه کند.

مقدمه

تنوع آب‌وهوایی در مناطق مختلف ایران سبب رشد گیاهان متنوع شده است ارزیابی برخی از گیاهان به دلیل کاربرد در صنعت و تولید دارو ازلحاظ اقتصادی سودمند برآورد می‌شود و می‌توان از دستاوردهای پژوهشی آن برای ارتقاء تولید و درنهایت افزایش صادرات غیرنفتی، ایجاد اشتغال و درآمدزایی استفاده کرد (Bamir et al., 2021). در طی چند دهه آینده پیامدهای ناشی از تغییرات آب‌وهوایی بر بسیاری از گیاهان زراعی به‌خصوص گیاهان سه کربنه تأثیر سوء خواهد داشت. اتخاذ راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم مانند تغییر تاریخ کاشت، استفاده از گونه‌های گیاهی و تولید ارقام مناسب به دماهای بالا می‌تواند از پیامدهای منفی تغییر اقلیم بکاهد.

توانایی رشد رویشی و زایشی تحت شرایط نامساعد محیطی به‌ویژه کم‌آبی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های بسیار مطلوب گیاهان دارویی و ادویه‌ای در مناطق خشک است. (Nehbandani et al.,2021). داروهایی گیاهی ضمن سلامت بخشیدن به انسان دارای پیامدهای نامطلوب کم‌تری

* نگارنده پاسخگو: محمود رمرودی. پست الکترونیک: m_ramroudi@yahoo.com

نسبت به داروهای شیمیایی هستند ازاین‌رو اهمیت دادن به گیاهان دارویی به دلیل تأمین سلامت افراد جامعه و پتانسیل بالای این گیاهان در اقتصاد، ضروری به نظر می‌رسد که مستلزم تدوین برنامه مدون و جامعی در شرایط تنش کم‌آبی است (Emami Bistegani and Bakshandeh, 2022).

استفاده از حاصلخیزکننده‌های زیستی می‌تواند مصرف کودهای شیمیایی را همسو با کشاورزی پایدار و پرورش محصول سالم‌تر به مقدار کافی کاهش دهد (Amiryousefi et al., 2021). بارورکننده‌های فسفری از طریق اثرگذاری به فسفر نامحلول و تبدیل آن به فرم محلول در خاک باعث افزایش کارایی و در دسترس بودن عناصر غذایی و به‌تبع آن افزایش رشد گیاه شدند. ازاین‌رو کودهای زیستی یک گزینه مناسب جهت بالا بردن راندمان تولید در مزرعه برای کشاورزان خواهد بود. استفاده درهم کودهای شیمیایی و زیستی را نباید نادیده گرفت. به دلیل این‌که در برخی موارد اثر بهتری از کاربرد منفرد کودهای شیمیایی و زیستی بر تولید گیاهان دارند (Azarnia et al., 2015). برگزیدن الگوی کاشت مناسب برای محصولات مختلف می‌تواند عوامل محیطی را به‌طور مطلوب‌تر در اختیار گیاه زراعی قرار داده و رقابت بین بوته‌های را به حداقل برساند (Yousefi et al., 2016).

اسفرزه (*Plantago ovata* L.) گیاهی متعلق به خانواده Plantaginaceae است که در آماده‌سازی داروهای ضد سرفه و ضدالتهاب مورداستفاده قرار می‌گیرد به دلیل فصل رشدی کوتاه و نمو بیشتر این گیاه در فصول سرد سال که معمولاً با بارندگی در این فصول منطبق است و مقاومت نسبی به خشکی سبب نیاز کم به آبیاری شده و برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل توصیه است (Khavary et al., 2022). اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار خصوصیات کمی و کیفی اسفرزه گردید، درحالی‌که کاربرد محلول‌پاشی موجب افزایش میزان صفات موردمطالعه ازجمله وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، درصد پوسته اسفرزه تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه شد (Roumani et al., 2020). تنش خشکی پس از مرحله گلدهی اسفرزه موجب کاهش بیش‌تر ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه نسبت به تنش خشکی پس از مرحله گلدهی با آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه شد (Shojaei et al., 2021). کود دامی و شیمیایی سوپر فسفات تریپل و همچنین استفاده از فسفات بارور ۲ و ۳ توانست نسبت به تیمار شاهد، ارتفاع بوته، تعداد پنجه در بوته، تعداد سنبله در بوته طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن تر و خشک بوته، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در بوته و عملکرد در هکتار را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهد (Raissi et al., 2022).

با توجه به نیاز نسبتاً پایین تغذیه‌ای گیاه دارویی اسفرزه به‌عنوان گونه‌ای حاشیه‌ای و هزینه‌های بالای تولید کودهای شیمیایی و اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از مصرف آن‌ها، به‌منظور تولید پایدار محصولات غذایی در کشاورزی و به‌ویژه گیاهان دارویی، مشخص است که کاربرد انواع کودهای آلی می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای نهاده‌های شیمیایی مطرح باشد (Asadi et al., 2015). باوجودآنکه تنش می‌تواند تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفرزه بگذارد، ولی بهره‌گیری از ریزجانداران خاکزی می‌تواند بخشی از این اثرات منفی تنش را جبران نماید و خصوصیات مرتبط با عملکرد گیاه را بهبود دهد؛ بنابراین بهره‌گیری از این کودهای بیولوژیک می‌تواند علاوه بر بهبود شرایط دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی در افزایش عملکرد و تولید محصول سالم دارویی مؤثر باشد (Dehghani Tafti et al., 2018). از میان شیوه‌های کاشت موردبررسی، شیوه کاشت مسطح به دلیل فراهمی شرایط مناسب‌تری از جهت تأمین رطوبت کافی و عدم رسوب املاح نمکی در عمق گسترش ریشه و پای بوته در مقابل روش جوی و پشته در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) مؤثرتر بود، اما به دلیل بالاتر بودن راندمان فیزیکی آب در روش جوی و پشته و عدم اختلاف خیلی زیاد عملکرد دانه این روش کاشت با روش کاشت مسطح به این نتیجه رسیدند که با در نظر گرفتن شرایط مناطق از جهت کمیت و کیفیت منابع پایه آب، خاک، محدودیت‌های اقلیمی هر منطقه و به‌کارگیری روش مدیریت مناسب امکان کسب نتیجه بهتر در تولید اقتصادی از روش کاشت جوی و پشته نیز وجود داشته باشد (Soleymani Sardoo et al., 2020).

به دلیل کمبود آب آبیاری در بسیاری از مناطق ایران تحقیق و بررسی ضروری به نظر می‌رسد در مورد کاشت گیاهانی که فصل رشدی کوتاه دارند و این فصل رشد با ریزش‌های جوی مصادف و ازلحاظ اقتصادی برای کشاورزان مقرون‌به‌صرفه باشد. ازاین‌رو پژوهشی به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی، بارورکننده‌های فسفری در روش کاشت مسطح

و جوی پشته بر برخی از اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی اسفرزه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ آزمایشی در پژوهشکده کشاورزی زابل واقع در مجتمع آموزشی و تفریحی بقیه‌الله الاعظم (عج) با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۴۸۹ متر اجرا شد. این منطقه دارای آب‌وهوای گرم و خشک با میانگین سالیانه بارش و تبخیر به ترتیب ۵۷ و ۴۷۵۰ میلی‌متر بود و دمای آن از ۹/۵- تا ۴۹ درجه سانتی‌گراد در فصول سرد و گرم متغیر است. آمار هواشناسی زابل و آنالیز خاک کرت‌های محل آزمایش به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. میانگین بارش و دما در ایستگاه هواشناسی نزدیک به منطقه موردمطالعه

Table 1. Mean of rain and temperature of weather station near the research location

ماه Month		دمای حداقل Minimum temperature	دمای حداکثر Maximum temperature	متوسط دما Average temperature	متوسط رطوبت نسبی Average relative humidity	کل بارندگی Total rainfall	متوسط سرعت باد Average wind speed
		---------- °C ----------			%	mm	km h^{-1}
Jan/Feb	بهمن	4.4	22.1	13.9	37.9	0	17.7
Feb/Mar	اسفند	9.4	24.9	17.5	39.7	12.69	23.3
Mar/Apr	فروردین	14.8	30	22.9	47.8	9.4	18.4
Apr/May	اردیبهشت	21.4	37.1	30.1	27.6	7.87	26.1

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک (عمق سانتی‌متر ۳۰-۰)

Table 2. Soil Physical and chemical analysis (0-30 cm depth)

بافت خاک Soil texture	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	ماده آلی Organic matter	pH	ظرفیت زراعی Field Capacity	هدایت الکتریکی EC
	----------ppm----------			----------%----------			dS m^{-1}
Sandy loam	138	12	0.05	1.05	7.7	24	1.6

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد. عامل اصلی این بررسی تنش خشکی است که در آن آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عامل فرعی بررسی ترکیب کودهای زیستی و شیمیایی فسفر در دو روش کاشت به‌صورت کاشت مسطح با کاربرد کود سوپر فسفات تریپل، کاشت مسطح همراه با کود زیستی فسفات بارور۲، کاشت مسطح همراه با مصرف ترکیبی کود سوپر فسفات تریپل و کود زیستی فسفات بارور۲ و کاشت مسطح بدون کاربرد کود (شاهد) کاشت جوی و پشته همراه با کود سوپر فسفات تریپل، کاشت جوی و پشته با کاربرد کود زیستی فسفات بارور۲، کاشت جوی و پشته همراه با مصرف ترکیبی کود سوپر فسفات تریپل و کود زیستی فسفات بارور۲، کاشت جوی و پشته بدون کاربرد کود (شاهد)، بودند. به‌منظور آماده‌سازی بستر ایده‌آل برای کرت بندی و کاشت، زمین موردنظر با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده شد و به‌منظور خورد شدن کلوخه‌ها دو دیسک عمود بر هم زده شد. کود سوپر فسفات تریپل به‌صورت منفرد و در ترکیب با کود زیستی فسفات بارور۲ به ترتیب ۵۰ و ۲۵ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت درون کرت‌های مربوطه با خاک ادغام گردید کود زیستی فسفات بارور۲ (۱۰۰ گرم در هکتار) قبل از کاشت با بذور بر اساس توصیه شرکت سازنده کود تلقیح داده شد و بعد از خشک شدن بذور در سایه کاشت صورت گرفت. در ۲۸ بهمن‌ماه کاشت به‌صورت دستی در کرت‌هایی دارای ۴ ردیف با فاصله بین و روی ردیف به ترتیب ۲۵ و ۵ سانتی‌متر صورت گرفت در مرحله ۳ و ۴ برگی گیاه وجین علف هرز و تنک بوته‌ها انجام شد. در انتهای فصل رشد تعداد پنج بوته از هر کرت به‌طور تصادفی به‌منظور سنجش تأثیر تیمارهای آزمایشی بر تعداد پنجه در بوته، طول سنبله، وزن سنبله، وزن تازه تک بوته، وزن خشک تک بوته و عملکرد دانه تک بوته برداشت شد. به‌منظور تعیین شاخص برداشت عملکرد دانه، با حذف اثرات حاشیه‌ای بوته‌های میانی هر کرت برداشت و برای

قرار دادن در آون به آزمایشگاه منتقل و بعد از خشک شدن بوته‌ها عملکرد زیستی و دانه برحسب کیلوگرم در هکتار و پیرو آن شاخص برداشت با کمک رابطه ۱ محاسبه شد.

[۱] *شاخص برداشت = (عملکرد دانه/عملکرد زیستی) × ۱۰۰*

درصد موسیلاژ به کمک روش کالیسوندرام (Kalyanasundaram et al., 1982) و درصد پوسته بذر نیز با روش تانکی و تالتی (Thanki and Talati, 1983) اندازه‌گیری شد. در این روش آزمایشی ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک (HCl) ۰/۱ نرمال با یک گرم بذر ادغام شد و سپس مخلوط به‌دست‌آمده را در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده و به‌طور کامل صاف گردیدند و دانه‌های پوست‌گیری شده سه الی چهار مرتبه با آب حرارت داده‌شده حدود (۷۰ درجه سانتی‌گراد) شستشو داده و محلول حاصل از شستشو حذف گردید. دانه‌ها در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد برای سه ساعت خشک شد و درصد پوسته بذر با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Roumani et al., 2020).

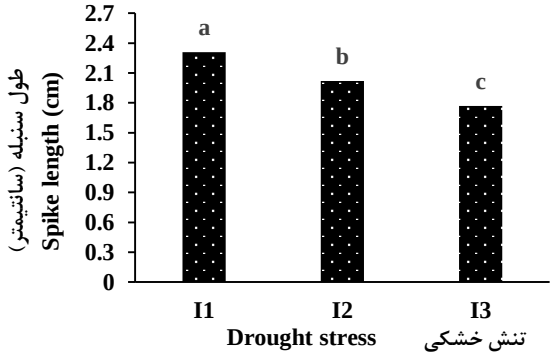
[۲] *درصد پوسته بذر =(وزن بذر بدون پوسته -۱) ×۱۰۰*

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

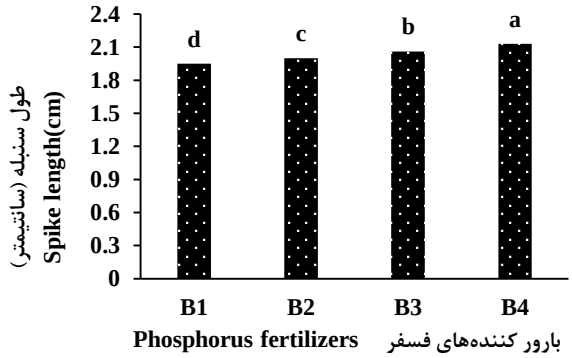
طول سنبله

طول سنبله در بوته تحت تأثیر تنش خشکی، بارورکننده فسفر در سطح احتمال یک درصد و روش کاشت در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۳). بررسی شکل ۱ نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین طول سنبله مربوط به تیمار آبیاری متداول و تنش شدید خشکی به ترتیب با طول سنبله ۲/۳ و ۱/۸ سانتی‌متر بود. طول سنبله اسفرزه تحت تأثیر فواصل آبیاری قرار گرفت بالاترین طول سنبله از تیمار آبیاری ۷ روز به دست آمد و با افزایش فاصله آبیاری این شاخص کاهش یافت (Ghasemi Siani et al., 2011). بیش‌ترین و کم‌ترین طول سنبله به ترتیب از کاربرد ترکیبی کودهای زیستی و شیمیایی فسفره با طول ۲/۱۳ سانتی‌متر و شاهد با طول ۱/۹۴ سانتی‌متر بود (شکل ۲). پژوهشی حاکی از برتری چهاردرصدی طول سنبله اسفرزه با اعمال ترکیبی بارورکننده‌های زیستی و شیمیایی فسفره نسبت به شاهد بود (Pouryousef al., 2014).



شکل ۱. اثر تنش خشکی بر طول سنبله. I1، I2 و I3: به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر

Fig. 1. Effect of drought stress on spike length. I1, I2 and I3: irrigation after 60,120 and 180 mm evaporation from a class A evaporator respectively.



شکل ۲. اثر بارورکننده‌های فسفر بر طول سنبله. B1، B2، B3 و B4: به ترتیب عدم کاربرد کود، فسفات بارور۲، کود سوپرفسفات تریپل، تلفیق کود زیستی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل

Fig. 2. Effect of phosphorus fertilizers on spike length. B1, B2, B3 and B4: control, fertile phosphate 2, triple superphosphate and fertilizer phosphate2 combination and 50% chemical fertilizer triple superphosphate respectively

کود شیمیایی فسفره بر کلیه صفات مورد ارزیابی مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) تأثیر قابل‌توجه داشت. با افزایش کاربرد فسفر تا ۱۰۰٪ مقدار تجویزشده عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس گیاه به‌طور چشمگیری افزایش یافت. کود فسفات بارور ۲ باعث افزایش عملکرد، اجزای عملکرد، اسانس و افزایش جزئی ترکیب‌های عمده اسانس مریم‌گلی شد (Sarafraz et al., 2022). نتایج مقایسه میانگین روش کاشت بیانگر افزایش ۰/۳۲ سانتی‌متری طول سنبله روش کاشت مسطح نسبت به روش کاشت جوی و پشته بود. برخلاف این پژوهش در بررسی طول سنبله در روی پشته بیشتر از روش کاشت مسطح بود (Karimi et al., 2012).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی از ویژگی‌های کمی گیاه دارویی اسفرزه تحت تأثیر تنش خشکی، بارورکننده‌های فسفره و روش کاشت

Table 3. Analysis of variance (Mean square) of some quantitative characteristics of isabgol under drought stress, Phosphorus fertilizers and planting method

منابع تغییر S.O.V	df	طول سنبله Spike length	وزن سنبله Weight of spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spike per m^{-2}	عملکرد دانه تک بوته Grain yield per plant	وزن خشک تک بوته Single plant dry weight
تکرار Replication	2	0.270	0.00003	498542.22	1.8084	55.481
تنش خشکی Drought stress (A)	2	1.7136**	0.00676**	1583072.25**	5.5329**	123.729**
خطای a E_a	4	0.0797	0.00002	41859.17	0.1134	8.709
کود فسفر Phosphorus fertilizer(B)	3	0.1098**	0.00108**	308703.22**	0.5799**	13.956**
روش کاشت Planting method (C)	1	0.0189*	0.00022**	26813.10^{ns}	0.0677*	1.212*
A ×B	6	0.0021^{ns}	0.00014**	78310.28**	0.0630**	1.893**
A ×C	2	0.0001^{ns}	0.00002^{ns}	4274.47^{ns}	0.0049^{ns}	0.0369^{ns}
B × C	3	0.0002^{ns}	0.00001^{ns}	1588.08^{ns}	0.0019^{ns}	0.0810^{ns}
A ×B × C	6	0.0003^{ns}	0.00002^{ns}	2194.89^{ns}	0.0026^{ns}	0.1154^{ns}
خطای b E_b	42	0.0027	0.00003	10311.67	0.0114	0.2474
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	-	*2.55*	*3.47*	*9.44*	*7.60*	*6.14*

Table 3. Continued **جدول ۳. ادامه**

منابع تغییر S.O.V	df	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Grain protein	درصد موسیلاژ Mucilage percentage	درصد پوسته بذر Seed husk percentage	عملکرد پوسته Husk yield
تکرار Replication	2	160.795	1.602	2.138	8.500	78427.78
تنش خشکی Drought stress (A)	2	95.519**	6.284**	115.348**	126.740**	188725**
خطای a E_a	4	15.483	0.071	1.356	1.170	4430
کود فسفر Phosphorus fertilizer(B)	3	5.552**	0.919**	17.831**	22.698**	54338**
روش کاشت Planting method (C)	1	1.635^{ns}	0.175**	1.063^{ns}	9.901**	681^{ns}
A ×B	6	3.965**	0.128**	3.525**	3.640**	5006**
A ×C	2	2.032^{ns}	0.025^{ns}	0.101^{ns}	1.718^{ns}	177.6^{ns}
B × C	3	0.940^{ns}	0.011^{ns}	0.085^{ns}	1.337^{ns}	318.3^{ns}
A ×B ×C	6	1.348^{ns}	0.007^{ns}	0.165^{ns}	2.606*	577.6^{ns}
خطای b E_b	42	0.876	0.018	0.809	0.804	876.8
ضریب تغییرات (درصد) C.V (%)	-	*4.54*	*11.19*	*8.88*	*2.99*	*8.92*

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد را نشان می‌دهند

Ns, * and ** indicates insignificant, significant at significance levels of 5% and 1%, respectively.

وزن سنبله

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده اثر روش کاشت و برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده فسفر بر وزن سنبله در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده فسفره نشان داد که بیش‌ترین وزن سنبله با ۰/۱۸۵ گرم تحت شرایط آبیاری متداول و کاربرد ترکیبی بارورکننده‌های فسفره و کم‌ترین آن با ۰/۱۲۳ گرم از شرایط تنش شدید خشکی و شاهد به‌دست آمد (جدول ۴).

به‌طورکلی با کاربرد بارورکننده‌ها وزن سنبله اسفرزه نسبت به عدم کاربرد آن افزایش یافت (Fallahi at al., 2018). پژوهشی به ترتیب حاکی از برتری ۴۰، ۳۳، ۱۲، ۲۷، ۷ و ۲۷ درصدی عملکرد دانه، تعداد دانه، وزن دانه، وزن سنبله، باروری سنبله و سرعت رشد سنبله گندم (*Triticum aestivum*) به کمک آبیاری نرمال نسبت به شرایط عدم آبیاری بود (Cantarero et al., 2016). مخلوط کردن بقایای گیاهی، کودهای شیمیایی و زیستی با خاک منجر به افزایش رشد گیاه و تولید محصول باکیفیت‌تر شد (Pourhoseini et al., 2022). بررسی جدول ۶ حاکی از برتری دودرصدی روش کاشت مسطح نسبت به روش کاشت جوی و پشته بود. نحوه توزیع بوته‌ها روی کرت عملکرد گیاه را در سطوح مختلف آبی تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین، برگزیدن الگو کاشت مناسب در سطوح مختلف آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. با تغییر الگوی کاشت برای محصولات مختلف و انتخاب آرایش مناسب، عوامل محیطی مانند دما، رطوبت، نور و عناصر غذایی به‌طور مطلوب در اختیار گیاه زراعی قرار گرفته و رقابت بین بوته‌های گیاه زراعی به حداقل می‌رسد (Yousefi et al., 2016).

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های برهمکنش اثر تنش خشکی و بارورکننده‌های فسفره بر ویژگی‌های کمی گیاه دارویی اسفرزه

Table 4. Comparison of the mean of the interaction of drought stress and phosphorus fertilizers on quantitative traits of isabgol

تنش خشکی Drought stress	بارورکننده‌های فسفره Phosphorus fertilizers	وزن سنبله Weight of spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spike per m^{-2}	عملکرد دانه تک بوته Grain yield per plant	وزن خشک تک بوته Single plant dry weight
		g		----------g----------	
I1	B1	0.158^{cd}	1146.65^{cd}	1.603^{d}	9.16^{c}
	B2	0.161^{bc}	1180.67^{c}	1.779^{c}	9.66^{c}
	B3	0.165^{b}	1374.67^{b}	1.938^{b}	10.51^{b}
	B4	0.185^{a}	1713.60^{a}	2.271^{a}	12.52^{a}
I2	B1	0.146^{fg}	955.97^{fgh}	1.277^{f}	7.27^{f}
	B2	0.149^{ef}	990.65^{efg}	1.374^{ef}	7.67^{ef}
	B3	0.152^{def}	1046.76^{def}	1.434^{e}	8.01^{de}
	B4	0.155^{cde}	1109.97^{cde}	1.488^{de}	8.53^{d}
I3	B1	0.123^{j}	750.19^{i}	0.741^{h}	5.07^{i}
	B2	0.131^{i}	841.32^{hi}	0.861^{h}	5.70^{h}
	B3	0.137^{h}	873.33^{ghi}	1.029^{g}	6.40^{g}
	B4	0.142^{gh}	925.44^{fghi}	1.121^{g}	6.58^{g}

I1، I2 و I3: به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر B1، B2، B3 و B4: به ترتیب عدم کاربرد کود، فسفات بارور۲، کود سوپرفسفات تریپل، تلفیق کود زیستی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند

I1, I2 and I3: irrigation after 60,120 and 180 mm evaporation from a class A evaporator respectively B1, B2, B3 and B4: control, fertile phosphate 2, triple superphosphate and fertilizer phosphate2 combination and 50% chemical fertilizer triple superphosphate respectively

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

تعداد سنبله در مترمربع

با بررسی تجزیه واریانس مشاهده شد که اثر متقابل تنش خشکی و بارورکننده فسفر بر تعداد سنبله در مترمربع در سطح یک درصد معنی‌دار شده است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیش‌ترین سنبله در مترمربع با ۱۷۱۳ از شرایط آبیاری متداول و کاربرد ترکیبی بارورکننده‌های فسفره و کم‌ترین آن با ۷۵۰ سنبله در مترمربع از شرایط تنش شدید خشکی و شاهد حاصل شده است (جدول ۴). با کاهش

تعداد روزها بین دو آبیاری متوالی و اعمال بارورکننده‌ها بر تعداد سنبله اسفرزه در بوته و به‌تبع آن بر مترمربع افزوده شد (Ramroudi et al., 2018). با کاهش مصرف آب از ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد، تعداد سنبله در مترمربع به ترتیب ۱۵، ۲۲ و ۲۳ درصد نسبت به عدم تنش کاهش یافت که این کاهش تعداد سنبله در شرایط تنش رطوبتی را به کاهش تعداد پنجه‌های بارور در واحد سطح نسبت دادند. از طرف دیگر، تیمارهای کودی موجب افزایش تعداد سنبله در گندم شد. به‌طوری‌که با کاربرد ریزجانداران محرک رشد گیاه، سوپر فسفات تریپل و همچنین کاربرد تلفیقی ریزجانداران محرک رشد گیاه + ۵۰ درصد سوپر فسفات تریپل تعداد سنبله در مترمربع به ترتیب ۱۸، ۵۴ و ۴۶ درصد نسبت به عدم کاربرد کود افزایش یافت (Azarmi-Atajan et al., 2020).

عملکرد دانه تک بوته

تأثیر روش کاشت در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل تنش خشکی و بارورکننده فسفری بر عملکرد دانه تک بوته در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده‌ها نشان دادند بیش‌ترین عملکرد دانه تک بوته با ۲/۲۷ گرم از تیمار آبیاری متداول همراه با کاربرد تلفیقی بارورکننده‌های زیستی و شیمیایی فسفره حاصل و کم‌ترین عملکرد دانه تک بوته با ۰/۷۴ گرم از تیمار تنش شدید خشکی بدون کاربرد کود به دست آمد (جدول ۴). ادغام بذور با باکتری ریزوبیوم و استفاده عناصر ریزمغذی با افزایش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن موجب افزایش ۱/۳ گرمی عملکرد دانه تک بوته نسبت به شاهد بود (Khandan Bejandi et al., 2011). بیش‌ترین وزن دانه در بوته در شرایط عدم تنش خشکی حاصل و با اعمال محدودیت در آبیاری از میزان وزن دانه در بوته کاسته شد (Davoodi et al., 2017). استفاده مناسب از منابع مختلف کودی، شرایط مناسبی را برای رشد و نمو گیاه مهیا کرده با استفاده مقدار مناسب کود از غیر متحرک و شستشوی عناصر غذایی تا حدود زیادی جلوگیری شده است ازاین‌رو محصول سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با قیمت مناسب‌تری در اختیار مصرف‌کننده با کاهش پیامدهای زیست‌محیطی قرار می‌گیرد (Maleki et al., 2023). طبق نتایج مقایسه میانگین‌های روش کاشت، بیشترین عملکرد دانه تک بوته به روش کاشت مسطح تعلق داشت عملکرد دانه تک بوته در این روش کاشت چهار درصد بیش‌تر از روش کاشت بذر روی پشته بود (جدول ۶). محققین مشاهده کردند که عملکرد دانه در روش کاشت مسطح به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از روش کاشت جوی و پشته بود (Mostafavi Rad et al., 2021). مقایسه روش‌های کاشت مسطح و جوی و پشته‌ای کلزا (*Brassica napus*) نشان داد که روش کاشت مسطح به علت پخش یکنواخت‌تر بذور در کرت‌ها، عملکرد دانه بهتری را نسبت به روش‌های کاشت جوی و پشته‌ای حاصل کردند (Ashtari and Asoodar, 2011).

وزن خشک تک بوته

ماحصل تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کاشت در سطح احتمال پنج درصد و برهمکنش تنش خشکی و کود فسفر در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک تک بوته معنی‌دار شد (جدول ۳). طبق نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده‌های فسفری بیش‌ترین وزن خشک تک بوته با ۱۲/۵۲ گرم از تیمار ترکیبی بارورکننده‌های فسفری تحت شرایط آبیاری متداول و کم‌ترین آن با ۵/۰۷ گرم از تیمار شاهد و تنش شدید خشکی به دست آمد (جدول ۵). آبیاری با ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به همراه کاربرد کود زیستی نیتروکسین توانست بیش‌ترین وزن‌تر و خشک سرشاخه‌های گل‌دار به ترتیب با ۱۰۳/۵۲ و ۴۳/۲۷ گرم در بوته را تولید و آبیاری با ۳۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی مایکوریزا کم‌ترین وزن‌تر و خشک سرشاخه‌های گل‌دار را به ترتیب ۳۵/۱۸ و ۱۸/۹۸ گرم در بوته تولید کرد. با کاهش میزان آب مصرفی و به‌تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد ماده خشک گیاه کاسته شد. به‌کارگیری کود زیستی به‌ویژه در سطوح بالای تنش خشکی توانست تا حدی از بروز اثرات سوء تنش بر عملکرد گیاه کم کند که این موضوع را می‌توان به تأثیر مثبت کودهای زیستی در بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان در شرایط تنش نسبت داد (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015). تلقیح بذور با باکتری حل‌کننده فسفات به همراه مصرف ۱۰۰ درصد کود فسفر موجب افزایش رشد رویشی شاخساره گیاه شد (Ehteshami et al., 2014). مایه‌زنی میکروبی در تمام سطوح آبیاری موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه سرخارگل (*Echinacea purpurea*) نسبت به عدم مایه‌زنی میکروبی شد (Masjedi et al., 2023).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که وزن خشک تک بوته در روش کاشت مسطح به‌طور معنی‌داری از روش کاشت پشته‌ای بیشتر گردید (جدول ۶). به‌طوری‌که در روش کاشت مسطح وزن خشک تک بوته تقریباً سه درصد بیشتر از روش کاشت بذر روی پشته بود. از میان سیستم‌های کاشت موردتحقیق، شیوه کاشت جوی و پشته به دلیل شرایط نامناسب از جهت فراهمی رطوبت کافی و رسوب املاح نمکی در محل گسترش ریشه و پای بوته در مقابل شیوه مسطح در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ناکارآمد بود (Soleymani Sardoo et al., 2020).

شاخص برداشت

تجزیه واریانس شاخص برداشت مشخص کرد که برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده فسفری اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تنش خشکی و بارورکننده‌های فسفر نشان داد که بیشینه شاخص برداشت با ۲۲/۸ درصد مربوط به تیمار آبیاری متداول همراه کاربرد کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل و کمینه شاخص برداشت با ۱۶/۷ درصد مربوط به تیمار تنش شدید خشکی و شاهد بود (جدول ۵). با افزایش شدت تنش رطوبتی، صفاتی نظیر عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و شاخص برداشت کاهش یافت. کاهش عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیکی بیشتر بود که این مسئله حاکی از حساسیت بیشتر اندام‌زایشی نسبت به اندام رویشی تحت شرایط تنش رطوبتی است (Kordzangeneh and Marashi, 2018). با افزایش سطح تنش خشکی همانند این پژوهش شاخص برداشت کاهش یافت و در مقابل کاربرد کود زیستی موجب افزایش این شاخص در سطوح مختلف تنش شد پژوهشگران نتیجه گرفتند که کاربرد بارورکننده‌ها خاک با اثر مثبتی که بر خاک داشتند موجب کاهش اثرات منفی تنش و بهبود شاخص عملکرد گیاه شده است (Dehghani Tafti et al., 2018). در شرایط آبیاری به میزان ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه شاخص برداشت سیاه‌دانه حدوداً ۳۰ درصد شد با کاهش آب قابل‌دسترس گیاه شاخص برداشت کاهش پیدا کرد به‌گونه‌ای که شاخص برداشت سیاه‌دانه حدود ۲۸ درصد از تیمار آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه حاصل شد. مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی بیانگر آن بود که بیش‌ترین شاخص برداشت ۲۹/۵۷٪ با کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی (کود اوره و سوپر فسفات تریپل) + کودهای زیستی (ازته بارور-۱، فسفاته بارور-۲ و پتاس بارور-۲) و کم‌ترین شاخص برداشت به میزان ۲۶/۳۵٪ از تیمار بدون مصرف کود به دست آمد (Arvand and Sohrabi, 2022).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های برهمکنش اثر تنش خشکی و بارورکننده‌های فسفره بر مورفولوژیکی و عملکرد دانه و زیستی اسفرزه

Table 5. Comparison of the mean of the interaction of drought stress and phosphorus fertilizers on morphological and seed and biological yield of isabgol

تنش خشکی Drought stress	بارورکننده‌های فسفره Phosphorus fertilizers	شاخص برداشت Harvest index	پروتئین دانه Grain protein	درصد موسیلاژ Mucilage percentage	عملکرد پوسته Husk yield
		%	mg g^{-1}	%	kg ha^{-1}
I1	B1	22.685^{a}	0.556^{j}	7.10^{h}	327.95^{def}
	B2	22.507^{a}	0.704^{ij}	8.25^{g}	390.89^{c}
	B3	22.749^{a}	0.825^{hi}	8.44^{g}	439.75^{b}
	B4	22.04^{a}	0.922^{gh}	8.80^{fg}	524.43^{a}
I2	B1	20.287^{c}	0.996^{g}	9.19^{fg}	299.40^{f}
	B2	20.531^{c}	1.038^{fg}	9.62^{ef}	326.83^{def}
	B3	20.799^{bc}	1.174^{ef}	9.85^{def}	343.06^{de}
	B4	21.759^{ab}	1.309^{de}	10.44^{de}	361.43^{cd}
I3	B1	16.703^{f}	1.436^{cd}	10.83^{cd}	182.78^{h}
	B2	18.615^{e}	1.535^{c}	11.63^{bc}	215.30^{h}
	B3	18.963^{de}	1.781^{b}	12.45^{b}	264.48^{g}
	B4	19.817^{cd}	2.305^{a}	15.04^{a}	311.04^{ef}

I1، I2 و I3: به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر B1، B2، B3 و B4: به ترتیب عدم کاربرد کود، فسفات بارور۲، کود سوپرفسفات تریپل، تلفیق کود زیستی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند

I1, I2 and I3: irrigation after 60,120 and 180 mm evaporation from a class A evaporator respectively B1, B2, B3 and B4: control, fertile phosphate 2, triple superphosphate and fertilizer phosphate2 combination and 50% chemical fertilizer triple superphosphate respectively

Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

پروتئین دانه

اثر روش کاشت و برهمکنش تنش خشکی توأم با بارورکننده فسفر خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین میلی‌گرم بر گرم پروتئین دانه از شرایط تنش شدید خشکی و کاربرد تلفیقی کود شیمیایی و زیستی فسفره با ۲/۳۰۵ میلی‌گرم بر گرم و کم‌ترین آن با ۰/۵۶۶ میلی‌گرم بر گرم پروتئین دانه از شرایط آبیاری متداول و شاهد به دست آمد (جدول ۵). بررسی مقایسه میانگین‌های پروتئین سیاه‌دانه نشان داد که اعمال تنش خشکی در هر یک از مراحل رشدی و همچنین کاربرد بارورکننده‌ها نسبت به تیمار شاهد سبب افزایش پروتئین دانه شد (Heidari and Jahantighi, 2014). بیش‌ترین درصد پروتئین عدس (*Lens culinaris*) از تیمار مصرف تلفیقی ۵۰ گرم در هکتار کود بیولوژیکی فسفات بارور-۲ با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل حاصل شده است (Ahmadi Fard et al., 2012). جدول ۶ حاکی از کاهش ۸ درصدی پروتئین دانه روش کاشت جوی و پشته نسبت به روش کاشت مسطح بود. نتایج بررسی حاکی از برتری پنج‌درصدی پروتئین دانه گندم روش کاشت مسطح نسبت به روش کاشت بذر روی پشته بود (Gholinezhad and Eivazi, 2022). برخلاف این بررسی پژوهشگرانی مشاهده کردند که پروتئین دانه لوبیا در روش کاشت جوی و پشته یک درصد بیشتر از روش کاشت مسطح بود و نتیجه گرفتند که با کوتاه‌تر شدن طول دوره رویش، نسبت تجمع پروتئین در مقایسه با نشاسته، بیشتر شده است (Mehrpouyan et al., 2010).

درصد موسیلاژ

از بررسی نتایج تجزیه واریانس درصد موسیلاژ مشخص شد تأثیر برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده فسفری در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). نتایج جدول ۵ نشان داد که حداکثر درصد موسیلاژ از تیمار تنش شدید خشکی با کاربرد تلفیقی بارورکننده‌های فسفری و کم‌ترین آن از تیمار آبیاری متداول و شاهد حاصل شد. با کاهش تعداد دفعات آبیاری از ۶۰ به ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و بعلاوه کاربرد بارورکننده‌های فسفری به‌صورت تلفیقی به ترتیب حدود ۳ و ۸ درصد بر درصد موسیلاژ افزوده شد. همانند پژوهش حاضر کم‌ترین درصد موسیلاژ در شرایط عدم مصرف کود حاصل که با افزایش سطوح حاصلخیز کننده بر درصد موسیلاژ افزوده شد (Asadi et al., 2015). با افزایش فاصله بین دو آبیاری از سطح آبیاری ۳۵ میلی‌متر به سطح آبیاری ۸۹ میلی‌متر تبخیر به همراه مصرف کود گاوی پنج درصد موسیلاژ را افزایش دادند (Jahangiri et al., 2021). افزایش موسیلاژ بالنگو (Lallemantia) در شرایط تنش کم‌آبی در پوسته بذر، به سازگاری اکولوژیک گیاه به تنش خشکی و حفظ جنین نوبارور بذر در برابر خشکی شدید نسبت داده شد (Abdolahi and Maleki Farahani, 2015).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر روش کاشت بر ویژگی‌های موردبررسی گیاه دارویی اسفرزه

Table 6. Comparison of the mean effect of planting method on the studied characteristics of isabgol medicinal plant

روش کاشت Planting method	طول سنبله Spike length	وزن سنبله Weight of spike	عملکرد دانه تک بوته Grain Yield per plant	وزن خشک تک بوته Single plant dry weight	پروتئین دانه Grain protein
	cm		----------g----------		
کاشت مسطح Flat planting	2.051[a]	0.152[a]	1.440[a]	8.22[a]	1.264[a]
کاشت پشته Ridge planting	2.019[b]	0.149[b]	1.379[b]	7.96[b]	1.166[b]

میانگین‌هایی که در هر ستون و برای هر عامل حرف مشترک دارند، اختلاف آماری در آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد ندارند

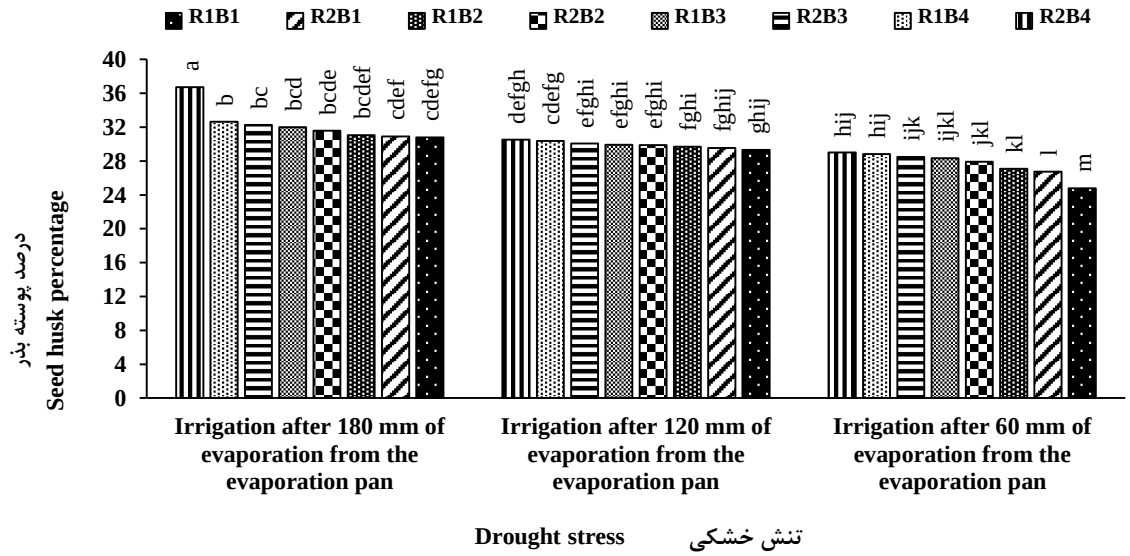
Means which have at least one common letter are not significantly different at the 5% level using DMRT.

درصد پوسته بذر

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش تنش خشکی توأم با بارورکننده فسفر و روش کاشت در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها برهمکنش آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین درصد پوسته بذر با ۳۶/۷۳ درصد از تیمار تنش شدید خشکی با کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و

شیمیایی فسفره در روش کاشت جوی و پشته و کم‌ترین آن ۲۴/۸۰ درصد از تیمار آبیاری متداول با کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲ از روش کاشت مسطح حاصل شد (شکل ۳).

بالاترین درصد پوسته بذر از تیمار قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه به کمک محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۴ میلی مولار و از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی از محلول‌پاشی برگی اسید سالیسیلیک با غلظت ۰/۸ میلی مولار به دست آمد (Roumani et al., 2020). بیش‌ترین درصد پوسته بذر (۵۳/۰۹ درصد) از تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و کم‌ترین درصد پوسته بذر (۴۷/۲۴ درصد) از تیمار بدون قطع آبیاری به دست آمد کم‌آبیاری در مرحله رشد زایشی باعث کوچک‌تر شدن دانه و افزایش درصد پوسته دانه‌ها و کاهش درصد مغز دانه‌های گلرنگ شد (Soheili Movahhed et al., 2020).



شکل ۳. برهمکنش تنش خشکی I1 ، I2 و I3: به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با بارورکننده‌های فسفره و روش‌های کاشت بر درصد پوسته بذر. روش کاشت بذر (مسطح: R1؛ جوی و پشته: R2) در ترکیب با B1(عدم کاربرد کود)، B2 (فسفات بارور۲)B3 (سوپرفسفات تریپل) و B4 (تلفیق کود زیستی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل)

Fig. 3. Interaction of drought stress I1, I2 and I3: irrigation after 60,120 and 180 mm evaporation from a class A evaporator respectively. with phosphorus fertilizers and planting methods on seed husk percentage. seed planting method (R1: flat and R2: ridge) with combination B1 (control), B2 (fertile phosphate 2), B3 (triple superphosphate) and B4 (fertilizer phosphate2 combination and 50% chemical fertilizer triple superphosphate)

عملکرد پوسته

برهمکنش تنش خشکی و بارورکننده فسفره بر عملکرد پوسته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). جدول ۵ نشان داد بیش‌ترین عملکرد پوسته با ۵۲۴/۴۳ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری متداول با مصرف درهم کود سوپر فسفات تریپل + فسفات بارور۲ و کم‌ترین آن با ۱۸۲/۷۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار تنش شدید خشکی و شاهد بود. ازآنجایی‌که عملکرد پوسته از حاصل‌ضرب درصد پوسته بذر و عملکرد دانه به دست می‌آید عملکرد دانه اثر مستقیم بر عملکرد پوسته در هکتار دارد. با افزایش مصرف کود فسفر عملکرد دانه بیشتر شد ماکزیمم عملکرد دانه با ۳۴۹۱ کیلوگرم در هکتار از میان تیمارهای کودی با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات حاصل شد که ۳۵ درصد در مقایسه با تیمارهای عدم مصرف کود فسفر بیشتر بود (Fanaei et al., 2014). با اعمال تنش کم‌آبی، پایداری غشای سلولی و به دنبال آن عملکرد دانه در گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) کاهش یافت. تا حد زیادی استفاده از کودهای بیولوژیکی، آثار مضر حاصل از تنش خشکی را در ریحان به کمک بهبود سیستم آنزیمی گیاه و حذف رادیکال‌های آزاد تعدیل بخشید و سبب بهبود رشد گیاه در شرایط تنش شد (Afkari, 2023).

نتیجه‌گیری نهایی

هر یک از عوامل موردبررسی در این پژوهش تأثیر متفاوتی بر میزان رشد و نمو گیاه داشتند. عملکرد دانه تک بوته در روش کاشت مسطح ۱/۴۴۰ گرم و در روش کاشت جوی و پشته ۱/۳۷۹ گرم بود که حاکی از برتری ۰/۰۶۱ گرمی روش کاشت مسطح نسبت به روش کاشت جوی و پشته بود. در روش کاشت جوی و پشته رشد گیاه به دلیل تأخیر در سبز شدن و استقرار دیرتر بوته‌ها نسبت به روش کاشت مسطح کاهش یافت همچنین عملکرد دانه تک بوته نشان داد که در شرایط آبیاری متداول و عدم کاربرد کود عملکرد دانه تک بوته ۱/۶۰۳ گرم بود که با کاربرد تلفیقی بارورکننده‌های فسفره عملکرد دانه تک بوته به ۲/۲۷۱ گرم رسید در شرایط تنش شدید خشکی و عدم کاربرد کود عملکرد دانه تک بوته ۰/۷۴۱ گرم که با کاربرد تلفیقی بارورکننده‌های فسفره به ۱/۱۲۱ گرم افزایش یافت با این تفاسیر بارورکننده‌های فسفره در شرایط آبیاری متداول و تنش شدید خشکی به ترتیب عملکرد دانه تک بوته را ۳۰ و ۳۴ درصد افزایش دادند. درصد پوسته و موسیلاژ در اثر تنش خشکی و همچنین با اعمال بارورکننده‌های فسفره در کرت‌ها افزایش یافت. به دلیل این‌که عملکرد پوسته این گیاه دارویی از ارزش اقتصادی در سطح جهانی برخوردار است درنتیجه سودمند است کاربرد بارور کننده‌های فسفره و توصیه به کشت این گیاه دارویی برای مناطقی که با کمبود آب آبیاری و ریزش‌های جوی ناپایدار مواجه هستند.

سپاسگزاری

از واحد پژوهش دانشگاه زابل جهت تأمین هزینه‌های مالی اجرای طرح و همچنین از ریاست محترم پژوهشکده کشاورزی زابل واقع در چاه‌نیمه و همکاران ایشان به جهت فراهم نمودن امکانات اجرای طرح سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

Abdolahi, M., Maleki Farahani, S., 2015. Evaluation of seed yield, mucilage and protein of different species and ecotypes of balangu (*Lallemantia* spp.) under drought stress. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 31, 676-687. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2015.102684

Afkari, A., 2023. Effect of foliar application of salicylic acid and biofertilizers on yield and some biochemical traits of basil (*Ocimum basilicum* L.) under water stress. Journal of Plant Environmental Physiology. 18, 40-58. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.30495/IPER.2022.690259

Ahmadi Fard, M., Azizi, Kh, Haydari, S., Daraei Mofrad, A., 2012. The effect of different fertilizing methods on the protein and phosphorus contents and grain yield of the lentil (*Lens culinaris* Medic.) in Khorramabad climatic condition, Iran. Jouran of Agronomy Sciences. 3, 1-13. [In Persian with English Summary].

Amiryousefi, M., Tadayon, M.R., Ebrahimi, R., 2021. Effect of nitrogenous and phosphorus biofertilizers on seed germination and some biochemical characteristics of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology. 13, 107-126. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22108/IJPB.2021.125105.1227

Arvand, M., Sohrabi, Y., 2022. Effect of combining biological and chemical fertilizers on yield and quality of Black Cumin grain under different irrigation levels. Plant Process and Function. 11, 123-144. [In Persian with English Summary].

Asadi, Gh., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M, khorramdel, S., 2015. Effects of different fertilizer treatments on quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata*). Journal of Horticultural Science. 29, 47-54. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/JHORTS4.V0I0.48440

Ashtari, M., Asoodar, M.A., 2011. The effect of different seeding methods on grain yield and the use of combine platform extension on canola harvesting losses. 34, 1-12. [In Persian with English Summary].

Azarmi-Atajan, F., Hammami, H., Yaghoobzadeh, M., 2020. The application of plant growth promoting microorganisms and phosphate fertilizers on yield, yield components and water use efficiency of wheat at levels of irrigation water. Journal of Crop

Production. 12, 1-24. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22069/EJCP.2020.17166.2268

Azarnia, M., Safikhani, S., Biabani, A., 2015. The effect of bio-fertilizer on crops yield, sustainable agriculture and organic farming. Journal of Biosafety. 8, 85-97. [In Persian with English Summary]. http://journalofbiosafety.ir/article-1-114-fa.html

Bamir, M., Sadeghi, R., Poursheikhali, A., 2021. Capacity and share of iranian scientific products in the field of medicinal plants: an opportunity to treat disease at the time of a drug sanction: a scientometric study. Journal of Military Medicine. 23, 750-756. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.30491/JMM.23.9.750

Cantarero, M.G., Abbate, P.E., Balzarini, S.M., 2016. Effect of water stress during the spike growth period on wheat yield in contrasting weather. International Journal of Environmental and Agriculture Research. 2, 22-37. https://hdl.handle.net/11336/180072

Davoodi, S.H., Rahemi-Karizaki., A., Nakhzari-Moghadam., A., Gholamalipour Alamdari, E., 2017. Evaluation of response of yield, yield components and harvest index of bean (*Phaseolus vulgaris*) to terminal drought stress. Crop Science Research in Arid Regions. 1, 155-165. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22034/CSRAR.01.02.03

Dehghani Tafti., A.R., Mahmoodi, S., Alikhani, H.A., Salehi, M., 2018. The effect of salinity and bio-fertilizers on yield and yield components of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) under field conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 11,421-433. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.435.1084

Ehteshami, S.M.R., Hakimian, F., Yousefie Rad, M., Chaichi, M.R., 2014. Effect of the integration in phosphate fertilizer different levels and phosphate solubilizing bacteria on forage quantitative and qualitative of two barley cultivars. Applied Field Crops Research. 27,141-150. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/AJ.2014.100950

Emami Bistegani, Z., Bakshandeh, A., 2022. Physiology of Environmental Stress in Medicinal Plants. Agricultural Research Education and Extension Organization vice-Chancellor of Education and Postgraduate Gorgan University Of Agricultural Sciences and Natural Resources. 360p. [In Persian]

Fallahi, H.R., Taherpour Kalantari, R., Asadian, A.H., Aghhavani-shajari, M., Ramazani, S.H., 2018. Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants. Iranian Journal of Field Crop Science. 49, 1-11. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.211513.654152

Fanaei, H.R., Piree, E., Narouei, M.R., 2014. Assessing the effect of different rates of phosphorous fertilizer on grain and oil yield and some agronomic traits of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 6, 147-157. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2014.146

Ghasemi Siani, E., Fallah, S., Tadayyon, A., 2011. Study on yield and seed quality of *Plantago ovata* Forssk., under different nitrogen treatments and deficit irrigation. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 27, 517-528. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2011.6392

Gholinezhad, E., Eivazi, A., 2022. The effect of different amounts of irrigation and planting methods on water use efficiency, grain yield and some physiological and biochemical traits of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Crop Production and Processing. 12, 149-163. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.47176/jcpp.12.3.35162

Heidari, M., Jahantighi, H., 2014. Evaluate effect of water stress and different Amounts of nitrogen fertilizer on seed quality of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research. 11, 640-647. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/GSC.V11I4.32892

Jahangiri, H., Mollafilabi, A., Hosseini, H., 2021. The effects of irrigation levels and soil fertilizers on yield components and quantitative and quality yield of balangu (*Lallemantia royleana* Benth.) under Torbat-e Jam climatic conditions. Journal of Agroecology. 13, 345-361. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/JAG.V13I2.86263

Kalyanasundaram, N.K., Patel, P.B., Dalal, K.C., 1982. Nitrogen needs of Plantago ovata Forsk. In relation to the available nitrogen in soil. Indian Journal of Agricultural Sciences, 52, 240-242

Karimi, A., Meskarbashee, M., Nabipour, M., Broomandnasab, S., 2012. The study of some quantity and quality characteristics of two wheat cultivars under different planting method and irrigation levels conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 21, 95-104. [In Persian with English Summary]

Khandan Bejandi, T., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Asgari Zakaria, R., Namvar, A., Jafari Moghaddam, M., 2011. Effect of plant density, rhizobia and microelements on yield and some of morph physiological characteristics of pea (*Cicer arietinum* L.) 3, 139-157. [In Persian with English Summary]. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1389.3.1.9.4

Khavary, M., Behdani, M. A., Fallahi, H. R., 2022. Effect of different fertilizers and planting density on morphological traits and photosynthetic pigments content in isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Iranian Journal of Field Crops Research. 19, 327-341. https://doi.org/10.22067/JCESC.2021.37183.0

Kordzangeneh, R., Marashi, S.K., 2018. Studying the effects of combined application of chemical and biological fertilizers of potassium on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under soil moisture shortage. Environmental Stresses in Crop Sciences. 11, 863-872. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2018.935.1183

Maleki, J., Sharifi Ashoorabadi, E., Mirza, M., Heydari Sharif Abad, H., Lebaschy, M.H., 2023. Effects of plant nutrition on economic yield and essential oil composition of Nigella sativa L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 39, 38-54. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.355278.3030

Masjedi, H., Kasraei, P., Rajab Larijani, H.R., Oveisi, M., Nasri, M., 2023. The effect of combined application of organic and biological fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of Echinacea purpurea under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 16, 817-833. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2023.5075.2106

Mehrpouyan, M., Faramarzi, A., Jaefari, A., Siyami, K., 2010. The effect of different methods and different dates of sowing on yield and yield components in two cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Pulses Research. 1, 9-17. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/IJPR.V1I1.6317

Mohammadpour Vashvaei, R., Galavi, M., Ramroudi, M., 2015. Effects of drought stress and bio-fertilizers inoculation on growth, essential oil yield and constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.). Journal of Agroecology. 7, 237-253. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/JAG.V7I2.36935

Mostafavi Rad, M., Nobahar, A., Gholami, M., Rahbar Ziabary, A., Jahansaz, H., Akbarzadeh, E., Adibi, S., 2021. Interaction effects between planting method and plant density on seed yield and some physiological characteristics of peanut (*Arachis hypogaea* L.) new lines in Guilan. Journal of Crop Production. 14, 51-64. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22069/EJCP.2021.17811.2312

Nehbandani, A., Saadati, M., Goodarzi, M., Soltani, A., 2021. The impact of climate change on Iran's food security: predicting the potential yield and production of strategic crops based on SSM-iCrop2 model. Journal of Crops Improvement. 23, 871-882. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.22059/jci.2021.320843.2531

Pourhoseini, Z., Aynehband, A., Monsefi, A., 2022. Agro-ecological evaluation of influence of sesame crop residue management method and integrated chemical and biological fertilizer on wheat grain yield. Journal of Plant Production Research. 29, 59-78. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22069/JOPP.2022.18826.2777

Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M.R., Rahimi, A., Ashrafjafarie, A., 2014. Effects of different soil fertilizing treatments (chemical, organic and integrated) on yield, yield components and seed mineral nutrients content of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). Applied field Crops Research. 27(102), 82-91. [In

Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/AJ.2014.100933

Raissi, A., Nosrati, F., Piri, H., 2022. The effect of organic and chemical fertilizers on some quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.) as a medicinal plant. Journal of Crops Improvement. 24, 601-614. [In Persian with English Summary] https://doi.org/10.22059/jci.2021.318412.2513

Ramroudi, M., Baghri, M. Forouzandeh, M., 2018. Effect of application of biofertilizers and water treatments on yield, yield components and swelling index of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). Journal of Agroecology. 11, 1037-1048. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/JAG.V11I3.71316

Roumani, A., Biabani, A., Rahemi Karizaki, A., Gholamalipour Alamdari, E., Gholizadeh, A., 2020. The response of quantitative and qualitative characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forssk) to foliar application of salicylic acid and spermine under drought stress conditions. Environmental Stresses in Crop Sciences. 13, 503-517. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1948.1474

Sarafraz, M., Dehghanzadeh, H., Hashemi, A.F., 2022. Effects of gibberellic acid and chemical and biological (Barvar-2) phosphorus on yield, yield components, and essential oil of (*Salvia officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research. 38, 490-503. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.357771.3135

Shojaei, A., Salehi Shanjani, P., Zarghami, R., Jafari, A.A., Nurmohammadi, G. 2021. Effect of water deficit on grain yield and yield components ispaghula (*Plantago ovata* Forssk.). Journal of Medicinal Plants and By-products. 10, 193-198. https://doi.org/10.22092/JMPB.2020.352135.1269

Soheili Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., Alizadeh, B., 2020. Effects of drought stress and foliar application of boron and zinc on yield and some agronomic and morphological traits of spring type safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology. 11(4), 1275-1291. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22067/JAG.V11I4.72028

Soleymani Sardoo, M., Galavi, M., Fanaei, H.R., Ramroudi, M. 2020. Evaluation of yield, water productivity and some crop characteristics of safflower in different planting methods with Zn Nano chelate spraying under drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences. 12, 1189-1203. [In Persian with English Summary]. https://doi.org/10.22077/escs.2019.1668.1374

Thanki, R.J., Talati, J.G., 1983. Review of work done on quality evaluation on isabgol seed at Anand. Presented at V All India Workshop on Medicinal and Aromatic Plants held at Solan, Himachal Pradesh.

Yousefi, A., Pouryousef, M., Mardani, R., 2016. Evaluation of wheat yield and weed biomass under planting patterns and irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 26, 17-30. [In Persian with English Summary].