

## Evaluation of the yield and content of photosynthetic pigments of *Plantago ovata* in response to phosphorus fertilizers and planting method under drought stress

Mesam Khavari<sup>1</sup>, Mahmoud Ramroudi<sup>2\*</sup>, Ahamad Ghanbri<sup>3</sup>, Mahed Dahmardeh<sup>4</sup>

1- Student of Agroecology University of Zabol, Zabol, Iran.

maysam\_khavary1395@yahoo.com

2- Corresponding author and Associate Professor of Agriculture Department of Zabol University, Zabol, Iran.

m\_ramroudi@yahoo.com

3- Professor of Agriculture Department of Zabol University, Zabol, Iran.

a.ghanbari@yahoo.com

4- Associate Professor of Agriculture Department of Zabol University, Zabol, Iran.

dahmard@yahoo.com

Received Date: 2019/10/30

Accepted Date: 2020/11/25

### Abstract

**Introduction:** Today, the use of medicinal plants has grown considerably due to the reorientation of human towards nature and natural products, the side effects of synthetic materials and the discovery of new drugs from the nature. Water scarcity is one of the important environmental factors for reducing the growth and yield of many crops, especially in the arid and semi-arid regions of the world. After nitrogen; phosphorus is the most important essential nutrient required by the plants and different seed position in the soil can affect plant growth. Therefore, an experiment was conducted to study the effect of the planting method and phosphorus fertilizers in response to drought stress on the yield, yield components and photosynthetic pigments of isabgol (*Plantago ovata* L.).

**Material and methods:** This experiment was performed as a split-factorial in the form of a randomized complete block design with three replications in the research farm of Zabol University located in Chah Nimeh. The experimental treatments were including three drought stress, irrigation after 60, 120 and 180 mm evaporation from a class A evaporator as the main-factor, and the combination of seed planting method (flat or ridge planting) and the types of phosphorus fertilizer (100% chemical phosphorous fertilizer, *Phosphate Barvar2*, and 50% chemical phosphorous fertilizer + *Phosphate Barvar2*) as the sub-factor.

**Results and discussion:** The variance analysis showed that the interaction of drought stress and phosphorus fertilizers were significant on number of spikes per plant, number of seeds per spike, 1000-seed weight, grain yield, carotenoids, and total leaf chlorophyll, mucilage percentage and seed swelling index. The greatest spikes per plant, number of seeds per spike, 1000-seed weight, grain yield and total leaf chlorophyll were obtained in conventional irrigation treatment along with the combined application of chemical phosphorous fertilizer and *Phosphate Barvar2*, while, the highest data for carotenoids (0.78 mg. g<sup>-1</sup> FW) and mucilage percentage (15.04 %) were obtained in severe drought stress along with combined application of chemical phosphorous fertilizer and *Phosphate Barvar2*. Based on the results; the amount of proline and carbohydrates were affected by drought stress and phosphorus fertilizers. The use of phosphorus fertilizers and the severe drought stress increased their quantity.

**Conclusions:** The results suggest that conventional irrigation, application of phosphorus fertilizer and flat planting can increase biological yield compared to limited irrigation, non-application of phosphorus fertilizer and ridge planting.

**Keywords:** Phosphate Barvar2, Proline, Seed swelling index, Seed yield, Water deficiency.

## ارزیابی عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk) در پاسخ به حاصلخیز کننده‌های فسفری و روش کاشت در شرایط تنش خشکی

میثم خاوری<sup>۱</sup>، محمود رمرودی<sup>۲\*</sup>، احمد قنبری<sup>۳</sup>، مهدی دهمرده<sup>۴</sup>  
۱- دانشجوی دکتری آگروکولوژی دانشگاه زابل، زابل، ایران.  
maysam\_khavary1395@yahoo.com  
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.  
m\_ramroudi@yahoo.com  
۳- استاد گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.  
a.ghanbari@yahoo.com  
۴- دانشیار گروه زراعت دانشگاه زابل، زابل، ایران.  
dahmard@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸

### چکیده

به منظور ارزیابی روش کاشت و حاصلخیز کننده‌های فسفره در پاسخ عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی اسفرزه به تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل واقع در چاه‌نیمه اجراء گردید. عامل اصلی شامل تنش خشکی در سه سطح، آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عامل فرعی ترکیب روش کاشت بذر (مسطح یا جوی و پشته) و انواع حاصلخیز کننده‌های فسفره شامل ۱۰۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل، کود زیستی فسفات بارور ۲، تلفیقی کود زیستی فسفات بارور ۲ و ۵۰ درصد کود سوپر فسفات تریپل و بدون کاربرد کود بودند. نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفره نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و کلروفیل کل برگ از تیمار آبیاری متداول (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی فسفره و بیشترین کاروتنوئید (۰/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن برگ) و موسیلاژ (۱۵/۰۴ درصد) از تیمار تنش شدید خشکی با کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی و زیستی فسفره به دست آمد. بر اساس نتایج میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول تحت تأثیر تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفره قرار گرفتند و استفاده از کودهای فسفره و افزایش شدت تنش خشکی، بر میزان آن‌ها افزود. باتوجه به نتایج حاصل این گونه استنباط می‌شود، آبیاری متداول، استفاده از حاصلخیز کننده‌های فسفره و روش کاشت مسطح می‌تواند عملکرد زیستی و ویژگی‌های کیفی اسفرزه را افزایش دهد.

**کلمات کلیدی:** پرولین، درصد موسیلاژ، فسفات بارور ۲، عملکرد دانه، کمبود آب.

## مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روز افزون صنایع داروسازی به گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه تولید دارو و اهمیت مواد مؤثره گیاهان دارویی در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی باعث شده است؛ که توجه و تحقیق پیرامون این دسته گیاهان از نقطه نظر کشت، تولید و مصرف از اهمیت خاصی برخوردار باشد ( El-Gendy et al., 2001). اسفزه (*Plantago ovata* Forsk) گیاهی متعلق به خانواده Plantaginaceae است که در تهیه داروهای ضدسرفه و ضدالتهاب مورد استفاده قرار می گیرد (Omid Beygi, 2005) و به دلیل فصل رشد کوتاه، نیاز رطوبتی کم و مقاومت نسبی به خشکی، برای کاشت در مناطق خشک و نیمه خشک مناسب است ( Fallahi et al., 2018).

امروزه کم آبی یکی از مهم ترین عوامل محدود کننده ازدیاد محصول در نواحی خشک و نیمه خشک می باشد و کاهش رشد گیاهان در اثر تنش خشکی به مراتب بیشتر از سایر تنش های محیطی دیگر است (Rodriguez, 2006). گیاهی که خوب تغذیه شده و مقدار کافی عناصر غذایی را دریافت کرده باشد، مقاومت بهتری نسبت به تحمل تنش خواهد داشت و در این راستا کمیت و کیفیت محصول نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. شناخت بهتر نقش عناصر غذایی در مقاومت گیاهان به خشکی، با بهبود مدیریت کود در مناطق خشک و نیمه خشک و مناطقی که از خشکی رنج می برند، در ارتباط است (Sreevalli et al., 2001). ارزیابی واکنش گیاه به کاربرد حاصلخیزکننده ها در روش کاشت دارای اهمیت زیادی است. هر چند در سیستم های زراعی رایج، مهم ترین منبع تأمین کننده عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان کودهای شیمیایی هستند، اما در سال های اخیر به دلیل افزایش هزینه تولید کودهای شیمیایی و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف آن ها، کودهای آلی از جمله کودهای دامی و زیستی برای رفع نیاز تغذیه ای گیاهان و اصلاح خاک،

مورد توجه قرار گرفته است (Neisani et al., 2012). فسفر از مهم ترین عناصر در ترکیبات غذایی موجود در گیاه است که در انتقال انرژی و فرآیندهای متابولیکی در سلول های بافت های گیاهی و در تولید اسیدهای نوکلئیک و آنزیم ها نقش حیاتی دارد. کمبود فسفر نه تنها به شدت در میزان رشد تأثیر دارد؛ بلکه بر تشکیل دانه و کیفیت آن نیز بسیار مؤثر است (Singh et al., 2003).

در کشاورزی متداول از کودهای فسفاته شیمیایی برای رفع کمبود خاک استفاده می شود، ولی در عمل درصد بالایی از کودهای مصرفی با یون های خاک ترکیب و به صورت غیرقابل جذب در می آیند (Rodríguez and Reynaldo, 1999). از این رو استفاده از کودهای زیستی که حاوی میکروارگانیسم های مفید می باشد؛ می تواند به تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون های فسفات کمک کند. این میکروارگانیسم ها معمولاً در اطراف ریشه گیاه مستقر و گیاه را در جذب عناصر کمک می کنند (Wu et al., 2005). کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی دو نوع باکتری حل کننده فسفات (پاتنوا آگلومراس سویه P5 و سودوموناس پوتیدا P13) در هر گرم از محصول است که با تولید اسیدهای ارگانیک و آنزیم های فسفاتاز در اطراف ریشه باعث آزاد شدن یون فسفات می شوند (El-Komy, 2005). پایداری، حاصلخیزی خاک و سلامت محیط زیست در سیستم های کشاورزی متداول همواره موضوع مورد بحث بوده و محققان مهم ترین روش غلبه بر این مشکل را رو آوردن به کشاورزی پایدار و مصرف تلفیقی کودها را به عنوان یکی از راهکارهای کاهش استفاده از نهاده های شیمیایی بیان نمودند (Salehi et al., 2014). استفاده مداوم از کودهای آلی و زیستی نه تنها مقدار استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش، بلکه هزینه ها و آلودگی های محیطی را کاهش و به ذخیره انرژی کمک می کنند (Faraji et al., 2015).

با مصرف کودهای آلی، شیمیایی و زیستی به صورت تلفیقی شرایط مناسب و مطلوب برای رشد گیاه

مناسب و عملکرد بالا است. روش کاشت می‌تواند بر رشد و تولید گیاهان زراعی و دارویی موثر باشد. در بررسی Welbaum et al. (2004) بر روش کاشت، در دو روش کاشت جوی و پشته و سطح، عملکرد دانه روش جوی و پشته به‌طور معنی‌داری کم‌تر از بستر کاشت سطح بود. نتایج بررسی Soleymani Sardoo et al. (2020) نشان داد که عملکرد دانه گلرنگ در روش کاشت سطح نسبت به روش کاشت جوی و پشته ۲۹ درصد افزایش داشت. احتمالاً تجمع نمک در رأس پشته و افزایش هدایت الکتریکی خاک روی پشته، دلیل کاهش عملکرد بوده باشد. نتایج تحقیق Bahadorkhah and Kazemineei (2014) نشان داد که بیشترین عملکرد دانه گلرنگ در سطوح تنش شوری، در روش کاشت درون جوی بیشتر از روی پشته بود، به‌طوری‌که با افزایش میزان شوری کاهش عملکرد دانه در روش کاشت روی پشته نسبت به کاشت درون جوی بالاتر بود.

با توجه به ویژگی‌های مطلوب اسفرزه برای کاشت در مناطق تحت تنش خشکی، به دلیل وجود بحران آب در بسیاری از مناطق ایران، معرفی این گیاه به سیستم‌های زراعی برخی از مناطق کشور مفید ارزیابی می‌گردد (Koocheki et al., 2004). از این رو این پژوهش به منظور ارزیابی تنش خشکی، حاصلخیزکننده‌های فسفری توام با روش کاشت بر عملکرد، اجزای عملکرد و ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی اسفرزه اجراء شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در چاه-نیمه با طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۴۸۹ متر اجراء گردید. این منطقه دارای اقلیم 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 سانتی

فراهم می‌شود. از آن جایی‌که این قبیل کودها اثر سوء بر هم نداشته، بلکه مکمل همدیگر نیز می‌باشند. در پژوهش Ramroudi et al. (2019)، برهمکنش تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین روی گیاه دارویی اسفرزه نشان داد که، بیشترین میزان ویژگی‌های کمی از تیمار آبیاری ۸۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با کاربرد کود زیستی نیتروکسین حاصل شد. نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد کودهای زیستی و غیرزیستی با کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی سبب افزایش میزان اجزای عملکرد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه دارویی آویشن زراعی (*Thymus vulgaris L.*) تحت تنش می‌شوند که در نهایت می‌تواند بر کمیت، کیفیت فراورده‌های گیاهان دارویی تأثیر مثبت داشته باشد (Goshasbi et al., 2020). بر اساس نتایج تحقیقی تأثیر آبیاری و کود زیستی بر کلروفیل برگ و عملکرد دانه گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum L.*) معنی‌دار شد و بیشترین مقدار آن‌ها از تیمار بدون تنش و استفاده از کود میکوریزا حاصل شد (Rezazadeh Roghani et al., 2019). در بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد آفتابگردان، کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بهتر از زمانی است که این کودها به تنهایی استفاده می‌شوند (Akbari et al., 2010). مصرف کودهای زیستی فسفره به صورت تلفیقی سبب بهبود قابلیت دسترسی فسفر خاک می‌شود و تأثیر کودهای آلی و شیمیایی را در تولیدات کشاورزی افزایش می‌دهد (Yang et al., 2005). Singh and Kapoor (1988) مشاهده کردند که تلقیح میکرواورگانیزم‌های حل‌کننده فسفات، باعث افزایش عملکرد باقلا می‌شود و جذب فسفر توسط گیاه نسبت به شاهد تلقیح نشده افزایش می‌یابد. در آزمایش Toro et al. (1998) مشخص شد باکتری‌های حل‌کننده فسفات در ریزوسفر یونجه باعث افزایش جذب فسفر در این گیاه می‌شود.

روش آبیاری و شیوه مناسب کاشت بسته به شرایط آب و هوایی در هر منطقه از مؤلفه‌های مهم جهت استقرار

توأم با مصرف تلفیقی کود سوپر فسفات تریپل و کود زیستی فسفات بارور ۲، کاشت جوی و پشته بدون کاربرد کود (شاهد)، کاشت سطح توأم با کود سوپر فسفات تریپل، کاشت سطح توأم با کود زیستی فسفات بارور ۲، کاشت سطح توأم با مصرف تلفیقی کود سوپر فسفات تریپل و کود زیستی فسفات بارور ۲ و کاشت سطح بدون کاربرد کود (شاهد) بودند، مقادیر کود سوپر فسفات تریپل و به صورت مجزا و همراه با کود زیستی فسفات بارور ۲ به ترتیب ۵۰ (Pouryousef et al. 2010) و ۲۵ کیلوگرم در هکتار استفاده شد.

گراد در فصول سرد و گرم متغیر می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجراء شد. عامل اصلی تنش خشکی، آبیاری پس از ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عامل فرعی ترکیب کود سفر و روش کاشت شامل کاشت جوی و پشته توأم با کود سوپر فسفات تریپل، کاشت جوی و پشته توأم با کود زیستی فسفات بارور ۲، کاشت جوی و پشته

جدول ۱: خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک (عمق ۰-۳۰)

Table 1: Soil Physical and chemical analysis (0-30 cm)

Soil texture	K Available (mg.kg <sup>-1</sup> )	P Available (mg.kg <sup>-1</sup> )	Total N (%)	Organic matter (%)	Organic C (%)	PH	Field capacity	EC (dS.m <sup>-1</sup> )
Sandy lom	138	12	0.05	1.05	0.61	7.7	24	1.6

کرت به طور تصادفی به منظور ارزیابی اثر عوامل آزمایشی بر تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله و وزن هزاردانه برداشت شد. در مرحله بعد، با حذف اثرات حاشیه‌ای سایر بوته‌های وسط کرت برداشت و پس از خشک شدن در آون توزین و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. علاوه بر این از بذرها هر کرت یک نمونه ۱۰ گرمی به آزمایشگاه منتقل و درصد موسیلاژ و شاخص تورم بذر به ترتیب با کمک روش Kalyanasundaram et al. (1982) و Sharma and Koul (1986) اندازه‌گیری شد. 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.

زمین قبل از کاشت با گاوآهن برگردان‌دار شخم عمیق و به منظور خرد شدن کلوخه‌ها، دو دیسک عمود برهم زده شد. کود نیتروژن به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار از منبع اوره استفاده شد. کود سوپر فسفات تریپل قبل از کاشت با خاک مخلوط شد و کود زیستی فسفات بارور ۲ (۱۰۰ گرم در هکتار) قبل از کشت با بذر بر اساس توصیه شرکت سازنده کود تلقیح داده شد و بعد از خشک شدن بذرها در سایه کاشت صورت گرفت. کاشت در ۲۸ بهمن ماه به صورت دستی در کرت‌هایی دارای ۴ ردیف کاشت با فاصله بین و روی ردیف به ترتیب ۲۵ و ۵ سانتی‌متر انجام شد و در مرحله ۳ و ۴ برگی گیاه و جین علف هرز و تنک بوته‌ها انجام شد.

قبل از مرحله گل‌دهی میزان کلروفیل کل و کاروتنوئید از برگ‌های جوان و کاملاً توسعه یافته با استفاده از روش Arnon (1967)، میزان پرولین با روش Bates et al. (1973) و میزان کربوهیدرات‌های محلول به روش فنل- اسید سولفوریک (Schlegel, 1956) اندازه‌گیری شد. در پایان فصل رشد تعداد پنج بوته از هر

## نتایج و بحث

### تعداد سنبله در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری بر تعداد سنبله در بوته اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۲).

کاربرد کودهای بیولوژیک و شیمیایی توام با آبیاری متداول باعث افزایش تعداد سنبله در بوته و در مقابل عدم استفاده از حاصلخیزکننده‌ها و کم‌آبیاری منجر به کاهش تعداد سنبله در بوته گردید. نتایج تحقیق Ramroudi et al. (2019) روی گیاه دارویی اسفرزه نشان داد؛ با کاهش تعداد آبیاری و عدم کاربرد کود تعداد سنبله در بوته کاهش یافت. در بررسی صورت گرفته روی گیاه دارویی اسفرزه، بیش‌ترین تعداد سنبله در بوته مربوط به تیمار ۴۰ تن کود دامی توام با ۲۰ کیلوگرم کود شیمیایی NPK در هکتار بود (Khavari et al., 2019). بنابراین، کودهای فسفره توانسته‌اند نقش مثبتی در افزایش تعداد سنبله در بوته، با تعدیل تنش خشکی در خاک داشته باشند.

مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیزکننده‌های فسفری نشان داد که بیش‌ترین تعداد سنبله در بوته مربوط به تیمار آبیاری متداول (آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) با کاربرد تلفیقی کود سوپرفسفات تریپل + فسفات بارور ۲ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار تنش شدید خشکی (آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و عدم کاربرد کود بود (جدول ۴). تنش خشکی با کاهش سطح برگ، انسداد روزنه‌ها، کاهش فعالیت‌های پرتوپلاسمی و تثبیت گاز کربنیک، کاهش سنتز پروتئین و کلروفیل برگ سبب تقلیل فرآیند فتوسنتز می‌گردد (Soleymani Sardoo et al., 2020). استفاده از حاصلخیزکننده‌ها منجر به بهبود بخش‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک این گیاه می‌گردد؛

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفرزه تحت تاثیر تنش خشکی، حاصلخیزکننده‌های فسفره و روش کاشت

Table 2. Analysis of variance for yield and yield components of isabgol under the influence of drought stress, phosphorus fertilizers and planting method

Source of Variance	df	Mean Square			
		Number of spikes per plant	Number of seed per spike	1000-seed weight	Seed yield
Replication	2	77.89	29.52	0.009	448568.66
Drought stress (A)	2	247.36**	1072.05**	0.307**	1609856**
Ea	4	6.54	3.65	0.006	174005.66
Phosphorus fertilizer (B)	3	48.23**	159.14**	0.056**	169759.70**
Planting method (C)	1	4.19 <sup>ns</sup>	22.09**	0.009*	49088.88**
A×B	6	12.24**	13.51**	0.007**	21601.48**
A×C	2	0.67 <sup>ns</sup>	1.92 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	10656.88 <sup>ns</sup>
B×C	3	0.25 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	9413.63 <sup>ns</sup>
A×B×C	6	0.34 <sup>ns</sup>	2.44 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	6893.63 <sup>ns</sup>
Eb	42	1.61	1.21	0.001	6198.16
C.V (%)	-	9.44	2.00	2.24	11.13

ns, \* and \*\* are not significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respective

دانه در سنبله در روش کاشت مسطح ۲ درصد بیشتر از روش کاشت بذر روی پشته بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیزکننده‌های فسفری نیز نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در

#### تعداد دانه در سنبله

تاثیر روش کاشت و برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیزکننده‌های فسفری بر تعداد دانه در سنبله در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). طبق نتایج تعداد

تعداد دانه در سنبله با کاربرد کودهای زیستی تطابق داشت. به نظر می‌رسد کود زیستی با تقویت گیاه باعث کاهش اثر تنش خشکی روی گیاه دارویی اسفرزه شده است. در بررسی روی گیاه دارویی اسفرزه (Khavari et al. 2019) مشاهده کردند بیشترین تعداد دانه در سنبله با کاربرد تلفیقی ۴۰ تن کود دامی توام با ۲۰ کیلوگرم کود شیمیایی NPK در هکتار حاصل شد.

سنبله (۶۶/۷۸) به تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A توأم با کاربرد تلفیقی حاصلخیزکننده‌های فسفری و کم‌ترین آن (۴۳/۱۷) به تیمار آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و بدون کاربرد کود تعلق داشت (جدول ۴). یافته‌های این تحقیق با نتایج (Ramroudi et al. 2011) بر اساس کاهش تعداد دانه در سنبله، تحت شرایط کم آبیاری و افزایش

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر روش کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفرزه

Table 3. Mean Comparison for effect of planting method on yield and yield components in isabgol.

Planting method	Number of spikes per plant	Number of seed per spike	1000-seed weight (g)	Seed yield (kg. ha <sup>-1</sup> )
Flat planting	13.67 <sup>a</sup>	55.47 <sup>a</sup>	1.67 <sup>a</sup>	733.78 <sup>a</sup>
Ridge planting	13.21 <sup>a</sup>	54.37 <sup>b</sup>	1.65 <sup>b</sup>	681.56 <sup>b</sup>

\*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

کود توانست وزن هزار دانه را ۳۰ درصد افزایش دهد. نتایج نشان می‌دهد که کودهای با منشاء آلی و شیمیایی، مکمل مناسب برای افزایش و ثبات تولید گیاهان دارویی می‌باشند. پوریوسف و همکاران (Pouryousef et al. 2010) دریافتند که با استفاده از حاصلخیزکننده‌های خاک و تلقیح بذرها با کود زیستی فسفات بارور ۲ در مقایسه با عدم تلقیح و استفاده از حاصلخیز کننده‌ها، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. این امر به دلیل اثرات مفید کود در افزایش رشد ریشه، عرضه مناسب عناصر غذایی، افزایش سطح برگ و بهبود فتوسنتز، تسهیم بهتر مواد در دانه‌ها می‌باشد. Singh et al. (2003) گزارش کردند که تعداد سنبله در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اسفرزه با کاربرد کودهای دامی و شیمیایی افزایش معنی‌داری داشتند. نتایج پژوهشی نشان داد که بیش‌ترین وزن هزار دانه اسفرزه، با کاربرد تلفیقی ۲۰ تن کود دامی توام با ۴۰ کیلوگرم کود شیمیایی NPK در هکتار نسبت به عدم مصرف کود و کاربرد منفرد کود دامی و شیمیایی حاصل شد (Khavari et al., 2019).

### وزن هزار دانه

نتایج حاصل نشان داد که تاثیر روش کاشت در سطح پنج درصد و برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری بر وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها بیشترین وزن هزار دانه به روش کشت مسطح تعلق داشت که در روش کاشت بذر روی پشته وزن هزار دانه حدود ۱ درصد کمتر از روش کاشت مسطح بود (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری نشان داد بیش‌ترین وزن هزار دانه (۱/۸۹ گرم) از تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A توأم با کاربرد تلفیقی حاصلخیز کننده‌های فسفری و کم‌ترین آن (۱/۴۶ گرم) از تیمار آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و بدون مصرف کود حاصل شد (جدول ۴). با کاهش زمان بین دو آبیاری، آبیاری بعد از ۶۰ میلی متر نسبت به ۱۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A توأم با کاربرد تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی فسفره نسبت به عدم کاربرد

جدول ۴- مقایسه میانگین مربوط به برهمکنش اثر تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفره بر ویژگی های کمی گیاه اسفرزه

**Table 4. Means comparison for interaction effect of drought stress and Phosphorus fertilizers on yield and yield components of isabgol plant**

Drought stress (mm evaporation from evaporation pan class A)	Phosphorus fertilizers	Number of spikes per plant	Number of seed per spike	1000-seed weight (g)	Seed yield (kg. ha <sup>-1</sup> )
60	Control	14.33 <sup>cd</sup>	58.42 <sup>c</sup>	1.70 <sup>cd</sup>	832 <sup>cd</sup>
	Phosphate barvar-2	14.76 <sup>c</sup>	59.38 <sup>c</sup>	1.73 <sup>bc</sup>	920 <sup>bc</sup>
	Superphosphate triple	17.18 <sup>b</sup>	62.12 <sup>b</sup>	1.78 <sup>b</sup>	979 <sup>b</sup>
	Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	21.42 <sup>a</sup>	66.78 <sup>a</sup>	1.89 <sup>a</sup>	1214 <sup>a</sup>
120	Control	11.95 <sup>fgh</sup>	52.56 <sup>f</sup>	1.62 <sup>fgh</sup>	583.3 <sup>gh</sup>
	Phosphate barvar-2	12.38 <sup>efg</sup>	54.35 <sup>e</sup>	1.65 <sup>efg</sup>	642.7 <sup>fg</sup>
	Superphosphate triple	13.08 <sup>def</sup>	55.56 <sup>de</sup>	1.67 <sup>def</sup>	680 <sup>ef</sup>
	Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	13.87 <sup>cde</sup>	56.65 <sup>d</sup>	1.69 <sup>de</sup>	743.3 <sup>de</sup>
180	Control	9.38 <sup>i</sup>	43.17 <sup>i</sup>	1.46 <sup>j</sup>	388.7 <sup>j</sup>
	Phosphate barvar-2	10.51 <sup>hi</sup>	48.13 <sup>h</sup>	1.55 <sup>i</sup>	464 <sup>ij</sup>
	Superphosphate triple	10.91 <sup>ghi</sup>	50.24 <sup>g</sup>	1.59 <sup>h</sup>	502 <sup>hi</sup>
	Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	11.57 <sup>fgh</sup>	51.70 <sup>f</sup>	1.61 <sup>gh</sup>	542.7 <sup>hi</sup>

\*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

#### عملکرد دانه

دانه با کاربرد تلفیقی حاصلخیز کننده‌های فسفری در شرایط متداول (عدم تنش خشکی) و کمترین آن در شرایط تنش شدید و عدم کاربرد کود حاصل شد (جدول ۴)، به طوری که عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری پس از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر نسبت به تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر به ترتیب ۳۸/۸۰ و ۵۳/۳۵ درصد کاهش یافت. با کوتاه شدن زمان بین دو آبیاری، از ۱۸۰ به ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و استفاده از حاصلخیز کننده‌های فسفری، عملکرد دانه از ۳۸۹ کیلوگرم به ۱۲۱۴ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت. نتایج این پژوهش با نتایج بررسی *Khavari et al.* (2019)، که استفاده از کودهای آلی و شیمیایی توانسته بود؛ عملکرد دانه را نسبت به شاهد به طور معنی داری افزایش دهد، تطابق داشت. فراهم بودن آب و عناصر غذایی، رشد رویشی مطلوب گیاه را به همراه دارد. لازمه عملکرد بالا، تولید بیوماس بیش تر در واحد سطح می‌باشد. نتایج به دست آمده از بررسی *Ghasemi et al.* (2014) نشان داد؛

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر روش کاشت و برهمکنش تنش خشکی و کود فسفره بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که عملکرد دانه در روش کاشت مسطح به طور معنی داری بیشتر از روش کاشت پشته‌ای گردید (جدول ۳)، به طوری که در روش کاشت مسطح عملکرد دانه تقریباً ۸ درصد بیشتر از عملکرد دانه نسبت به روش کاشت بذر روی پشته بود. با توجه به فصل رشد کوتاه اسفرزه، جوانه‌زنی و استقرار سریع تر بوته‌ها، یکی از دلایل اصلی عملکرد بالاتر روش کاشت مسطح نسبت به روش کاشت جوی و پشته‌ای بود. نتایج تحقیق *Yousefi et al.* (2016) نشان داد در کم آبیاری استفاده از الگوی کاشت بذر روی پشته عملکرد دانه گندم را ۱۷/۷۵ درصد نسبت به سایر الگوهای کاشت کاهش داد.

طبق نتایج مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری بیشترین عملکرد



کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی سبب افزایش تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته و تعداد دانه در سنبله شده است؛ مجموع ویژگی‌های ذکر شده موجب افزایش عملکرد دانه با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی شد. تنش خشکی منجر به رشد رویشی کمتر و به تبع آن، سطح فتوسنتز کننده محدودتر می‌شود و سبب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه به جهت زودرسی گیاه تحت تنش خشکی و در نهایت سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود.

### کلروفیل کل برگ

نتایج نشان داد که کلروفیل کل برگ تحت تاثیر روش کاشت و برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفوری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). در مقایسه میانگین‌ها مشخص گردید که میزان کلروفیل کل برگ در روش کاشت پشته‌ای کم‌تر از روش کاشت مسطح بود (جدول ۶)، به طوری که در روش کاشت پشته‌ای میزان کلروفیل کل برگ تقریباً ۲ درصد کمتر از روش کاشت مسطح بود. علت احتمالی کاهش کلروفیل کل برگ در روش کاشت پشته‌ای تجمع نمک در اطراف ریشه گیاه می‌باشد. در بررسی Mousavian Kalat and Abbaspour, (2017) روی کلزا مشاهده شد، که یکی از اثرات مهم شوری بر گیاه، پیری زودرس برگ و کاهش میزان کلروفیل برگ تحت تنش شوری است.

مقایسه میانگین‌های برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفوری نشان داد که بیشترین کلروفیل کل برگ (۱/۱۶ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A توام با کاربرد تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی فسفوره و کم‌ترین آن (۰/۶۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) مربوط به تیمار آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عدم استفاده از کود بود (جدول ۸). تنش خشکی سبب کاهش کلروفیل برگ گردید، ولی کود فسفر اثرات تنش خشکی را تا حدودی تعدیل نموده است. نتایج مطالعه‌ی روی گیاه دارویی بابونه (*Matricaria*)

(*chamomilla L.*) نشان داد که بیش‌ترین مقدار کلروفیل کل برگ به تیمار آبیاری کامل و کودهای شیمیایی و زیستی به صورت تلفیقی و کم‌ترین آن به تیمار آبیاری بعد از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد کود تعلق داشت (Khatami et al., 2018). در شرایط تنش خشکی عوامل لازم برای سنتز کلروفیل برگ کاهش و تخریب آن افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، در شرایط تنش خشکی، گیاه با بسته نگه‌داشتن روزنه‌ها در طی روز، سعی در حفظ محتوای آب نسبی خود دارد، در این زمان انتقال الکترون در فتوسیستم II مختل شده و الکترون اضافی ناشی از فتولیز آب، باعث تولید اکسیژن فعال و خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و کاهش محتوای کلروفیل برگ می‌گردد. یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش کلروفیل‌ها و تخریب آن‌ها به وسیله گونه‌های اکسیژن فعال (از جمله پراکسید هیدروژن) می‌باشد؛ این عوامل بیوسنتز کلروفیل برگ را با محدودیت مواجه می‌کنند (Bybord et al., 2010).

### کربوهیدرات‌های محلول

نتایج حاکی از آن است که اثر تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفوری در سطح یک درصد و اثر روش کاشت در سطح پنج درصد بر کربوهیدرات‌های محلول معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که روش کاشت بذر روی پشته ۸ درصد مقدار کربوهیدرات‌های محلول را نسبت به روش کاشت مسطح افزایش داده است (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش دور آبیاری، از آبیاری بعد از ۶۰ میلی متر تبخیر به آبیاری بعد از ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A بر میزان کربوهیدرات‌های محلول نسبت به آبیاری متداول ۴۵ درصد افزوده شد و کاربرد تلفیقی از حاصلخیز کننده‌های فسفوری میزان کربوهیدرات‌های محلول را ۵۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۷). در بررسی Khatami et al. (2018) مشاهده شد میزان کربوهیدرات محلول تحت تأثیر تنش کم‌آبی و کود فسفر

جدول ۵- تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی گیاه دارویی اسفرزه تحت تاثیر تنش خشکی، حاصلخیز کننده‌های فسفره و روش کاشت

**Table 5. Analysis of variance for qualitative traits of isabgol under influence of drought stress, phosphorus fertilizers and planting method**

Source of Variance	df	Mean Square					
		Total chlorophyll	Soluble carbohydrates	Proline	Carotenoids	Mucilage percentage	turgid index
Replication	2	0.028	95414.37	2544.46	0.004	2.138	0.307
Drought stress (A)	2	0.564**	547998.71**	5277.66**	0.223**	115.348**	7.571**
Ea	4	0.011	228968.66	152.43	0.002	1.356	0.045
Phosphorus fertilizer(B)	3	0.064**	402247.63**	560.94**	0.025**	17.831**	1.058**
Planting method (C)	1	0.009**	67625.09*	85.23**	0.008**	1.063 <sup>ns</sup>	0.167**
A×B	6	0.003**	30775.83 <sup>ns</sup>	22.91 <sup>ns</sup>	0.001*	3.525**	0.098**
A×C	2	0.001 <sup>ns</sup>	429.35 <sup>ns</sup>	0.43 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.101 <sup>ns</sup>	0.014 <sup>ns</sup>
B×C	3	0.001 <sup>ns</sup>	1605.1 <sup>ns</sup>	1.53 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.085 <sup>ns</sup>	0.005 <sup>ns</sup>
A×B×C	6	0.001 <sup>ns</sup>	5103.58 <sup>ns</sup>	2.26 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.165 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>ns</sup>
Eb	42	0.001	15681.2	10.58	0.001	0.809	0.110
CV (%)	-	3.3	15.18	5.34	3.11	8.88	4.98

ns, \* and \*\* are not significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respective

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر روش کاشت بر ویژگی‌های کیفی گیاه اسفرزه

**Table 6 Mean Comparison for effect of planting method on qualitative traits in isabgol.**

Planting method	Total chlorophyll (mg. g <sup>-1</sup> FW)	Soluble carbohydrates (mg.100g <sup>-1</sup> FW)	Proline (mg.100g <sup>-1</sup> FW)	Carotenoids (mg. g <sup>-1</sup> FW)	Mucilage percentage (%)	turgid index (ml.L <sup>-1</sup> )
Flat planting	0.907 <sup>a</sup>	794.24 <sup>b</sup>	59.78 <sup>b</sup>	0.602 <sup>b</sup>	10.26 <sup>a</sup>	2.06 <sup>b</sup>
Ridge planting	0.885 <sup>b</sup>	855.54 <sup>a</sup>	61.96 <sup>a</sup>	0.623 <sup>a</sup>	10.02 <sup>a</sup>	2.15 <sup>a</sup>

\*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

(Xue et al., 2008). در شرایط تنش خشکی، گیاه برای حفظ تعادل اسمزی و توانایی جذب آب بیش تر از محیط ریشه، ترکیباتی مانند کربوهیدرات‌ها که در ساختار سلول‌ها شرکت دارند و باعث رشد گیاه می‌شوند را در خود افزایش می‌دهد تا تنظیم اسمزی بهتر صورت گیرد که منجر به افزایش توانایی گیاه برای زنده ماندن در مقابل تنش خشکی شده، ولی عملکرد زیستی گیاه کاهش می‌یابد (Abdalla and El-Khoshiban, 2007). کاربرد کود زیستی فسفات بارور ۲ به دلیل قابل دسترس کردن عناصر غذایی به ویژه فسفر توسط گیاه، سبب افزایش ترکیباتی مانند

قرار گرفت، اما اثر برهمکنش آنها همانند این پژوهش معنی دار نشد. بر اساس مقایسه میانگین‌های پژوهش آنها بیشترین میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ در تیمار آبیاری بعد از ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (تنش شدید) و کمترین مقدار آن در تیمار آبیاری متداول (آبیاری بعد از ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی افزایش کربوهیدرات‌های محلول برگ باعث حفظ تورژسانس سلول‌های برگ، حفاظت غشای سلولی و بازداری از تخریب پروتئین‌ها می‌شود، همچنین از طریق تأمین انرژی مورد نیاز گیاه، از مرگ گیاه جلوگیری می‌کند

پرولین و کربوهیدرات‌های محلول می‌گردد تا تنظیم اسمزی بهتر صورت گیرد. تجمع اسمولیت‌هایی مانند پرولین و کربوهیدرات‌های محلول یکی از راهکارهای افزایش تحمل شوری و خشکی در گیاهان می‌باشد. کود زیستی کربوهیدرات‌های محلول را نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش می‌دهد. (Khatami et al., 2018).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری بر کربوهیدرات‌های محلول و پرولین گیاه اسفرزه  
**Table 7. Mean comparison for soluble carbohydrates and Proline of isabgol under the influence of drought stress and phosphorus fertilizers**

Treatments	Soluble carbohydrates (mg.100g <sup>-1</sup> FW)	Proline (mg.100g <sup>-1</sup> FW)
Drought stress (mm evaporation from evaporation pan class A)		
60	669.2 <sup>b</sup>	45.88 <sup>c</sup>
120	834.4 <sup>a</sup>	61.20 <sup>b</sup>
180	971.0 <sup>a</sup>	75.53 <sup>a</sup>
P-fertilizer		
Control	653.1 <sup>c</sup>	54.80 <sup>d</sup>
Phosphate barvar-2	777.1 <sup>b</sup>	58.44 <sup>c</sup>
Superphosphate triple	860.0 <sup>b</sup>	62.43 <sup>b</sup>
Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	1009.3 <sup>a</sup>	67.82 <sup>a</sup>

\*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

نسبی کاهش یابد، نشت الکترولیتی غشای سلولی در اثر آسیب وارده به آن افزایش یافته و باعث تولید بیش‌تر پرولین و قندهای محلول بیشتری می‌گردد. در شرایط تنش خشکی با افزایش تجمع اسمولیت‌های مانند پرولین، گلوکز و فرکتوز منجر به تنظیم اسمزی درون سلولی، حفظ تورژسانس سلولی و کاهش خسارت به غشای سلولی می‌گردد و تحمل به تنش خشکی در گیاه افزایش می‌یابد (Boroujerdnia et al., 2016). در روش کاشت بذر روی پشته اسفرزه احتمالاً تجمع نمک در اطراف ریشه گیاهان باعث افزایش پرولین نسبت به روش کاشت سطح شده است. نتایج بررسی Dehghani Tafti et al. (2020) نشان‌داد که قارچ میکوریزا آربوسکولار در ترکیب با باکتری حل‌کننده فسفات سودوموناس فلورسنس با تجمع پرولین همراه با کاهش نشت الکترولیت و حفظ محتوای آب نسبی در برگ‌ها، اثرات مضر تنش شوری در اسفرزه را کاهش دادند.

## پرولین

در بررسی نتایج تجزیه واریانس مشخص گردید تاثیر تنش خشکی، حاصلخیز کننده‌های فسفری و روش کاشت در سطح یک درصد بر پرولین برگ معنی‌دار شدند (جدول ۵). با اعمال تنش خشکی، استفاده از حاصلخیزکننده‌های فسفری و روش کاشت بذر روی پشته پرولین به ترتیب ۶۴، ۲۴ و ۴ درصد نسبت به آبیاری مطلوب گیاه، عدم استفاده از حاصلخیزکننده‌های فسفری و روش کاشت سطح افزایش پیدا کرد (جدول ۷). نتایج این پژوهش با نتایج بررسی Khatami et al. (2018) روی گیاه بابونه با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی فسفره در واکنش به تنش کم‌آبی هم‌راستا بود. آنها دریافتند که بیش‌ترین محتوای پرولین از تنش شدید خشکی با کاربرد ۵۰ درصد کودهای شیمیایی و زیستی و کم‌ترین آن از تیمار آبیاری کامل و عدم کاربرد کود به دست آمد. هر چه میزان محتوای آب

### کاروتنوئید برگ

بررسی کاروتنوئید روی گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis L.*) تنش خشکی و کم‌ترین آن در تنش ملایم خشکی حاصل شد (Jafarzadeh et al., 2014). نتایج برهمکنش تنش خشکی و کود فسفره نشان داد که بیش‌ترین محتوای کاروتنوئید مربوط به تیمار تلفیقی کودها با تنش شدید و کم‌ترین آن مربوط به تیمار آبیاری متداول و عدم کاربرد کود بود (Khatami et al., 2018). افزایش میزان رنگیزه‌های فتوستتزی با کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند به دلیل جذب بیشتر عناصر به‌خصوص نیتروژن و فسفر توسط گیاه بوده باشد. نیتروژن در ساختمان کلروفیل و اسیدهای آمینه نقش فعالی دارد و فسفر نیز در ساختار آنزیم‌های دخیل و در فتوستتزر شرکت دارد و افزایش جذب آن‌ها به بالا رفتن میزان فتوستتزر در گیاه کمک می‌کند.

تأثیر روش کاشت در سطح یک درصد و برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری در سطح پنج درصد بر کاروتنوئید معنی‌دار شد (جدول ۵). بر اساس نتایج میزان کاروتنوئید در روش کاشت پشته‌ای بیشتر از کاشت مسطح بود (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین کاروتنوئید برگ به ترتیب مربوط به تیمار تنش شدید با کاربرد تلفیقی کودهای فسفره و تیمار آبیاری متداول و عدم کاربرد کود تعلق داشت (جدول ۸)، به طوری که میزان کاروتنوئید برگ در تیمار آبیاری پس از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر توام با کاربرد تلفیقی کودهای فسفره نسبت به تیمار آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و عدم کاربرد کود، ۶۵/۹۶ درصد افزایش داشت. در

جدول ۸- مقایسه میانگین مربوط به برهمکنش اثر تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفری بر ویژگی های کیفی گیاه اسفرزه  
Table 8. Means comparison for interaction effect of drought stress and Phosphorus fertilizers on qualitative traits of isabgol

Drought stress (mm evaporation from evaporation pan class A)	Phosphorus fertilizers	Total chlorophyll (mg. g <sup>-1</sup> FW)	Carotenoids (mg. g <sup>-1</sup> FW)	Mucilage percentage (%)	turgid index (ml.L <sup>-1</sup> )
60	Control	0.97 <sup>d</sup>	0.47 <sup>i</sup>	7.10 <sup>b</sup>	2.37 <sup>c</sup>
	Phosphate barvar-2	1.02 <sup>c</sup>	0.51 <sup>h</sup>	8.25 <sup>g</sup>	2.48 <sup>c</sup>
	Superphosphate triple	1.08 <sup>b</sup>	0.53 <sup>g</sup>	8.44 <sup>g</sup>	2.74 <sup>b</sup>
	Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	1.16 <sup>a</sup>	0.55 <sup>g</sup>	8.80 <sup>fg</sup>	3.10 <sup>a</sup>
120	Control	0.83 <sup>fg</sup>	0.58 <sup>f</sup>	9.19 <sup>fg</sup>	1.97 <sup>fg</sup>
	Phosphate barvar-2	0.85 <sup>f</sup>	0.60 <sup>e</sup>	9.62 <sup>ef</sup>	2.07 <sup>ef</sup>
	Superphosphate triple	0.90 <sup>e</sup>	0.63 <sup>e</sup>	9.85 <sup>def</sup>	2.13 <sup>de</sup>
	Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	0.93 <sup>e</sup>	0.65 <sup>d</sup>	10.44 <sup>de</sup>	2.23 <sup>d</sup>
180	Control	0.69 <sup>j</sup>	0.66 <sup>d</sup>	10.83 <sup>cd</sup>	1.16 <sup>j</sup>
	Phosphate barvar-2	0.74 <sup>i</sup>	0.69 <sup>c</sup>	11.63 <sup>bc</sup>	1.47 <sup>i</sup>
	Superphosphate triple	0.79 <sup>h</sup>	0.71 <sup>b</sup>	12.45 <sup>b</sup>	1.69 <sup>h</sup>
	Phosphate barvar 2 and 50% superphosphate triple	0.81 <sup>gh</sup>	0.78 <sup>a</sup>	15.04 <sup>a</sup>	1.87 <sup>g</sup>

\*Means in each column having at least a common letter are not significantly different by the Duncan test at 5 % probability level.

## درصد موسیلاژ

کاشت و برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفوری به‌طور معنی‌داری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۵). طبق نتایج شاخص تورم در روش کاشت مسطح تقریباً ۴ درصد بیشتر از روش کاشت بذر روی پشته بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفوری نشان داد که بیشترین شاخص تورم از تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از کلاس A با کاربرد تلفیق حاصلخیز کننده‌های فسفوری و کمترین آن از تیمار آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از کلاس A به‌دست آمد (جدول ۸). با افزایش رطوبت خاک و عناصر غذایی در خاک شاخص تورم بذرافزایش یافت. در پژوهش Ramroudi et al. (2019) روی گیاه دارویی اسفرزه، بیش‌ترین شاخص تورم بذر از تیمار آبیاری بعد از ۸۰ درصد ظرفیت زراعی توأم با کاربرد کود بیولوژیک فسفات بارور ۲ و کم‌ترین آن از تیمار آبیاری بعد از ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بدون کاربرد کود به‌دست آمد. نتایج تحقیق دیگری نشان داد که بیش‌ترین شاخص تورم از کاربرد تلفیقی ۴۰ تن کود دامی توأم با ۲۰ کیلوگرم کود شیمیایی NPK در هکتار حاصل گردید، که نسبت به کاربرد منفرد ۴۰ کیلوگرم کود شیمیایی NPK و ۴۰ تن کود دامی در هکتار به‌ترتیب ۱۱ و ۱۳ درصد در هکتار برتری داشت (Khavari et al., 2019).

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که کمبود آب اثر کاهشی بر اکثر ویژگی‌های مورد بررسی داشت و گیاه برای تحمل خشکی میزان پرولین و کربوهیدرات برگ را افزایش داده است. حاصلخیزکننده‌های فسفوری نقش موثری در افزایش میزان ویژگی‌های مورد بررسی تحت تاثیر تنش خشکی داشتند. در روش کاشت مسطح تعداد سنبله در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه نسبت به روش کاشت پشته‌ای بیش‌تر بود. این ویژگی‌ها اثر تجمعی بر هم داشته و سبب افزایش ۸ درصدی عملکرد دانه در روش کاشت مسطح

بر اساس نتایج درصد موسیلاژ تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی و حاصلخیز کننده‌های فسفوری در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین درصد موسیلاژ در تیمار آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از کلاس A با کاربرد تلفیق حاصلخیز کننده‌های فسفوری و کمترین آن در تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از کلاس A مشاهده گردید (جدول ۸)، به‌طوری‌که با افزایش فاصله بین دو آبیاری بعد از ۱۲۰ و ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از کلاس A و استفاده از حاصلخیز کننده‌های فسفوری به‌ترتیب حدود ۴۰ و ۳۵ درصد در مقایسه با تیمار آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از کلاس A بر درصد موسیلاژ افزود. در پژوهشی Mousavinik (2012) تحت شرایط تنش خشکی و سطوح کود گوگرد روی گیاه دارویی اسفرزه مشاهده نمود که درصد موسیلاژ افزایش یافت. در بررسی اثر کود شیمیایی NPK و دامی، Khavari et al. (2019) دریافتند که استفاده تلفیقی این کودها بیشتر از کاربرد منفرد بر درصد موسیلاژ گیاه دارویی اسفرزه تأثیر مثبت داشت. نتایج بررسی Mirzaei et al. (2019) نشان داد که قطع آبیاری در دوره‌های مختلف رشد گیاه دارویی گاوزبان (*Borago officinalis* L. بر درصد اسانس اثر معنی‌داری داشت؛ به گونه‌ای که در تیمار قطع آبیاری درصد اسانس حدود ۲۰ درصد بیشتر از تیمار شاهد (بدون تنش) بود. شواهد زیادی بر افزایش چند برابری مواد موثره تحت شرایط تنش‌های محیطی وجود دارد. از طرفی کیفیت مواد موثره نیز تحت تأثیر تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد در شرایط تنش خشکی، تولید مواد ثانویه در گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*) افزایش یافت (Alam et al., 2015). با اعمال تنش شوری درصد موسیلاژ گیاه اسفرزه افزایش می‌یابد (Dehghani Tafti et al., 2020).

## شاخص تورم بذر

نتایج نشان داد شاخص تورم بذر تحت تأثیر روش

می‌توان نتیجه‌گیری نمود که آبیاری متداول توام با کاربرد حاصلخیز کننده‌های فسفری و روش کاشت مسطح جهت افزایش عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفی اسفرزه برای شرایط آب و هوایی سیستان مناسب باشد.

نسبت به روش کاشت بذر روی پشته شدند. بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای دلیل افزایش مقدار اکثر ویژگی‌های در روش کاشت مسطح نسبت به روش کاشت بذر روی پشته، سبز شدن سریع‌تر بذرها و استقرار بهتر بوته‌ها در روش کاشت مسطح بوده است. با توجه به نتایج این گونه

## منابع

- Abdalla, M.M., and El-Khoshiban, N.H. 2007. The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. Journal of Applied Sciences Research, 3: 12.2062-2074.
- Akbari, P., Qalavand, A. and Secondary teacher Seyed, A. M. 2010. The effect of different nutritional systems (organic, chemical, integrated) and growth promoting. Iranian Food Science and Technology, 7(3): 1-10.
- Alam, F., Ramin, A.A., and Amini, F. 2013. Changes in the active ingredient of *Silybum marianum* in drought stress. Journal of Plant Process and Function.2: 6.77-87.
- Arnon, A. N., 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23: 112-121.
- Bahahorkhah, F. F. and Kazeminej, S.A.R. 2014. Effect of salinity and sowing method on yield, yield component and oil ccontent of two cultivars of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Field Crop Research, 12(2): 264-272.
- Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teare, E.D. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 39: 205-207.
- Boroujerdnia, M., Alemi Saeed, Kh., Bi Hemta, M.R., and Abdousi, V. 2016. Effect of drought stress on proline content, soluble carbohydrates, electrolyte leakage and relative bean water content (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Crop Physiology, 8: 29.23-41.
- Bybord, A., Tabatabaei, S.J., and Ahmadev, A. 2010. Effect of salinity on fatty acid composition of canola (*Brassica napus* L). Journal of Food Agriculture and Environment, 8: 113-115.
- Dehghani Tafti, A.R., Mahmoodi, S., Alikhani, H.A., and Salehi, M. 2020. Role of rhizospheric microorganisms in mitigating the adverse effect of salinity stress in *Plantago ovata* growth, biochemical and photosynthetic traits. Archives of Agronomy and Soil Science, 66:1-15.
- El-Gendy, S.A., Hosni, A.M., Ahmed, S.S., and Sabri, R.M. 2001. Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) productivity under different organic fertilization and inter-plant spacing levels in anewly reclaimed land in Egypt. Annals of Agricultural Science, 46: 319-338.
- El-Komy, H.M.A. 2005 Co-immobilization of *Azospirillum lipoferum* and *Bacillus megaterium* for successful phosphorus and nitrogen nutrition of wheat plants. Food Technology and Biotechnology. 43: 1.19-27.
- Fallahi, H.R., Taherpour Kalantari, R., Asadian, A.H., Aghhavani-Shajari, M., and Ramazani, H.R. 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: 3.1-11.

Faraji, S., Rafieiolhossaini, M., and Soorki, A.A. 2015. The effect of solitary and combined application of organic and biological manure and chemical fertilizer on some of the qualitative and quantitative properties of sugar beet. *Journal of Crops Improvement*, 17: 3.789-800.

Ghasemi, K., Fallah, S., Raeisi, F., and Heidrari, M. 2014. The effect urea and biological fertilizers on quantitative and qualitative yield of isabgol (*Plantago ovata* Frosk.) medicinal plant. *Journal of Plant Production Research*, 20: 4.101-116.

Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S. K. and Makarian, H. 2020. Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Horticultural Plants Nutrition*, 3(1): 51-68.

Jafarzadeh, L., Omid, H., and Bostani, A.A. 2014. The study of drought stress and Bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis* L.) *Journal of Plant Research*, 27: 2.180-193. (In Persian)

Kalyanasundaram, N.K., Patel, P.B., and Dalal, K.C. 1982. Nitrogen needs of *Plantago ovata* Forsk. In relation to the available nitrogen in soil. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 52: 4.240-242.

Khatami, M., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2018. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizers application on flower yield, essential oil percentage and osmotic adjustments of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) in response to water deficit stress, 25: 4.119-132.

Khavari, M., Behdani, M.A., and Fallahi, H.R. 2019. Influence of plant density, single and combined application of cow manure and chemical fertilizer on seed and mucilage yields in isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). *Journal of Agroecology*, 11: 3.1139-1150.

Koocheki, A., Tabrizi, L., and Nassiri Mahallati, M. 2004. Organic cultivation of *Plantago ovata* and *Plantago psyllium* in response to water stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 2: 1.67-78. (In Persian)

Mirzaei, M.M., Ghorbani, S., Rozbahani, A., and Ghaderi, A. 2019. The effect of drought stress, chemical fertilizer and biofertilizer on yield and essence content of borage (*Borago officinalis* L.). *Plant Ecoohysiolgy*, 11(36): 67-77.

Mousavian Kalat, S.M., and Abbaspour, N. 2017. Effects of salinity on some morphological and physiological parameters in four canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Nova Biologica Reperta*, 4: 2.98-106.

Mousavinik, M. 2012. Effect of drought stress and sulphur fertilizer on quantity and quality yield of psyllium (*Plantago ovata* L.) in Baluchestan. *Journal of Agroecology*, 4: 2.170-182.

Neisani, S., Fallah, S., and Raiesi, F. 2012. The effect of poultry manure and urea on agronomic characters of forage maize under drought stress conditions. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 21: 4.63-76.

Omid Beygi, R. 2005. Production and processing of medicinal plants. Beh Nashr Publication, Astan Ghods Razavi, Mashhad, Iran 347 pp.

Pouryousef, M., Mazaheri, D., Chaiechi, M.R., Rahimi, A., and Tavakoli, A. 2010. Effect of different soil fertilizing treatments on some of agro morphological traits and mucilage of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). *Electronic Journal of Crop Production*, 3: 2.193-213.

Ramroudi, M., Bagheri, M. and Forouzandeh, M. 2019. Effect of application of biofertilizers and water treatments on yield, yield components and swelling index of isabgol (*Plantago ovata* Forssk.). Journal of Agroecology, 11(3): 1037-1048 (in)

Ramroudi, M., Keykha Jaleh, M., Galavi, M., Seghatolesalmi, S.M.J., and Baradaran, R. 2011. The effect of various micronutrient foliar applications and irrigation regimes on quantitative and qualitative yield of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). Journal of Agroecology, 3: 2219-226.

Rezazadeh Roghani, S., Aminian, R., Mafakheri, S., and Asghari, B. 2019. Effect of biological fertilizers on morpho-physiological traits of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) in different moisture conditions. Journal of Horticultural Plants Nutrition, 2(1): 145-163.

Rodríguez, H., and Reynaldo, F. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances, 17: 319-339.

Rodriguez, L. 2006. Drought and drought stress on south texas Landscape plants. san. Antonio Express News. Avilable at ([Http://bexar-tx.t.tamu.edu](http://bexar-tx.t.tamu.edu)).

Salehi, A., Fallah, S., Iranipour, R. and Surki, A. 2014. Effect of application time of integrated chemical fertilizer with cattle manure on the growth, yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology, 7: 3495-507.

Schlegel, H.G. 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. Planta, 47: 510-515.

Sharma, P.K., and Koul, A.K. 1986. Mucilage in seeds of *Plantago ovata* and its wild allies. Journal of Ethnopharmacology 17: 3. 289-295.

Singh, D., Chand, S., Anvar, M., and Patra, D. 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by isabgol (*plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science, 25: 414-419.

Singh, S. and Kapoor, K. 1988. Effect of inoculation of phosphate-solubilizing microorganisms and an arbuscular mycorrhizal fungus on mungbean grown under natural soil condition. Mycoorrhiza, 7: 249-253.

Soleymani Sardoo, M., Galavi, M., Fanaei, H. R. and 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 (4): 1189-1203.

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R., Kuikkarni, R., SuShil Hasan, S., Samresh, D., Kukre, J., Ashok, A., Sharmar Singh, K., Srikanth, S., and Rakesh, T. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in periwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science, 22: 356-358.

Toro, M., Azcon, R. and Barea, J. M. 1998. The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of *Rhizobium* genotype, mycorrhizal fungi Gphosphate solubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorous acquisition by *Medicago sativa*. New Phytologists, 138: 265-273.

Welbaum, G.E., Sturz, A.V., Dong, Z. and Nowak, J. 2004. Managing soil microorganisms to improve productivity of agro-ecosystems. Critical Reviews in Plant Sciences, 23(2): 175-193.



Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., and Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N- fixer, P and K solubilizes and AM fungi on maize growth: A greenhouse trial. *Geoderma*, 125: 155-166.

Xue, G., Lynne McIntyre, C., Glassop, D., and Shorter, R. 2008. Use of expression analysis to dissect alterations in carbohydrate metabolism in wheat leaves during drought stress. *Plant Molecular Biology*, 67: 197-214.

Yang, Y.H., Jiang, P.A., Ai, E.K. and Zhou, Y.Q. 2005 Effects of planting *Medicago sativa* L. on soil fertility. *Arid Land Geography*, 28: 248-251.

Yousefi, A., Pouryousef, M., and Mardani, R. 2016. Evaluation of wheat yield and weed biomass under planting patterns and irrigation regimes. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 26: 2.17-30.