Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 41, No. 3, Page 510-530 (2025)

DOI:10.22092/ijmapr.2025.367395.3487

Impact of sowing date and irrigation regimes on growth and performance characteristics of *Plantago ovata* in Rafsanjan's climatic conditions

Mostafa Alinaghizadeh[1] and Mohammad Azimi Gandomani[2]*

1- Department of Agriculture, Faculty of Technical and Engineering, Payame Noor University, P. O. Box 19395-4697, Tehran, Iran
2*- Corresponding Author, Department of Agriculture, Faculty of Technical and Engineering, Payame Noor University, P. O. Box 19395-4697, Tehran, Iran, E-mail: mohammad.azimi@pnu.ac.ir

Received: October 2024 Revised: July 2025 Accepted: August 2025

Abstract

Background and Objectives: Medicinal plant *Plantago ovata* is effective in treating gastrointestinal disorders and improving intestinal function due to its bioactive compounds, such as mucilage. Given the importance of psyllium as a valuable medicinal plant and the water resource limitations in many regions, this study aimed to investigate the effect of sowing date on the growth and yield characteristics of psyllium under different irrigation regimes in the climatic conditions of Rafsanjan, Iran.

Methodology: This experiment was conducted during the 2022–2023 growing season in Rafsanjan, Iran, at a farm located at 30°24′N latitude, 55°59′E longitude, with an elevation of 1467 meters above sea level. The area has an annual average rainfall of 120 mm and maximum and minimum temperatures of 43°C and -5°C, respectively. The experiment was laid out in a strip-plot design based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Irrigation treatments, applied in the horizontal strips, included four levels: 40%, 60%, 80%, and 100% of the crop water requirement. Sowing dates (March 10, 2023, March 25, 2023, April 10, 2023, and April 25, 2023) were assigned to vertical strips. Irrigation treatments were initiated after complete seedling establishment (3–4 leaf stage) and continued until physiological maturity. The irrigation water requirement was calculated using AGWAT software, with water volumes of 1430, 1144, 858, and 572 cubic meters per irrigation for 100%, 80%, 60%, and 40% water requirement levels, respectively. Data analysis was performed using SAS 9.4 software, and means were compared using Duncan's test at the 5% probability level.

Results: The results showed that the highest plant height (24.1 cm), number of tillers (6), spike length (14.3 cm), and number of spikes per plant (27.7) were achieved under the 100% water requirement treatment and the March 25 sowing date. Additionally, the highest number of seeds per plant (1245), seed yield (1876 kg. ha^{-1}), and biological yield (5357 kg. ha^{-1}) were observed under the same treatment. The highest harvest index (35.9%) was recorded with the 100% irrigation treatment and the March 10 sowing date. Furthermore, the maximum thousand-seed weight was obtained under the 80% water requirement (1.94 g) and the March 25 sowing date (1.88 g). Moreover, the highest mucilage content was reported under the 100% water requirement (23.9%) and the March 10 sowing date (22.4%).

Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Conclusion: Overall, the findings demonstrated that sowing date and irrigation level significantly affect the growth and yield characteristics of psyllium. Delayed sowing and reduced irrigation levels led to significant declines in plant height, yield components, seed yield, biological yield, and harvest index. Therefore, selecting an optimal sowing date and ensuring adequate water supply can improve the performance of this medicinal plant.

Keywords: harvest index, medicinal plant, mucilage, number of tillers, seed yield, spike length.

تأثیر تاریخ کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکردی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) در شرایط آب و هوایی رفسنجان

مصطفی علی‌نقی‌زاده[۱] و محمد عظیمی گندمانی[۲*]

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه کشاورزی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

پست‌الکترونیک: Mohammad.azimi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: آبان ۱۴۰۳ تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۴۰۴ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۴

چکیده

سابقه و هدف: گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata*) به دلیل دارا بودن ترکیب‌های فعال زیستی مانند موسیلاژ، در درمان بیماری‌های گوارشی و بهبود عملکرد روده‌ها مؤثر است. با توجه به اهمیت بالای اسفرزه به عنوان یک گیاه دارویی ارزشمند و محدودیت‌های منابع آبی در بسیاری از مناطق، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر خصوصیات رشدی و عملکردی اسفرزه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی رفسنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شهرستان رفسنجان و در مزرعه‌ای با مختصات جغرافیایی عرض ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی، طول ۵۵ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۴۶۷ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۱۲۰ میلی‌متر و دمای حداکثر و حداقل ۴۳ و ۵- درجه سلسیوس، انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در کرت‌های افقی و چهار تاریخ کاشت (۱۰ اسفند ۱۴۰۱، ۲۵ اسفند ۱۴۰۱، ۱۰ فروردین ۱۴۰۲ و ۲۵ فروردین ۱۴۰۲) در کرت‌های عمودی بودند. تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله ۳ تا ۴ برگی اعمال شد و تا رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. میزان آب آبیاری بوسیله نرم‌افزار AGWAT محاسبه شد، به‌طوری‌که برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد به ترتیب ۱۴۳۰، ۱۱۴۴، ۸۵۸ و ۵۷۲ مترمکعب آب در هر نوبت مصرف شد. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج: نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۲۴/۱ سانتی‌متر)، تعداد پنجه (۶ عدد)، طول سنبله (۱۴/۳ سانتی‌متر) و تعداد سنبله در بوته (۲۷/۷) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به دست آمد. همچنین، بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۲۴۵)، عملکرد دانه (۱۸۷۶ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۵۳۵۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند مشاهده شد. شاخص برداشت نیز با بیشترین مقدار (۳۵/۹ درصد) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱۰ اسفند به دست آمد. علاوه بر این، بیشترین وزن هزار دانه در تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی (۱/۹۴ گرم) و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند (۱/۸۸ گرم) ثبت شد. از سوی دیگر، بیشترین میزان موسیلاژ در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۲۳/۹ درصد) و تاریخ کاشت ۱۰ اسفند (۲۲/۴) گزارش گردید.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تاریخ کاشت و میزان آبیاری تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات رشدی و عملکرد گیاه دارویی اسفرزه دارند. تأخیر در کاشت و کاهش میزان آبیاری موجب کاهش چشمگیر در ارتفاع بوته، اجزای عملکرد، عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت شد. بنابراین، انتخاب تاریخ کاشت مناسب و تأمین نیاز آبی گیاه می‌تواند به بهبود عملکرد این گیاه کمک کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، گیاه دارویی، موسیلاژ، تعداد پنجه، عملکرد دانه، طول سنبله.

مقدمه

گیاهان دارویی به دلیل اهمیت فزاینده‌ای که در صنایع داروسازی، غذایی و بهداشتی دارند، مورد توجه بسیاری از محققان و کشاورزان قرار گرفته‌اند. یکی از این گیاهان دارویی اسفرزه (*Plantago ovata*) است که به دلیل دارا بودن ترکیب‌های فعال زیستی مانند موسیلاژ، در درمان بیماری‌های گوارشی و بهبود عملکرد روده‌ها شهرت یافته است (Przybyszewska *et al*., 2024). اسفرزه گیاهی علفی و یکساله است که بومی مناطق گرم و خشک آسیا و مدیترانه می‌باشد و به‌دلیل تطابق با شرایط اقلیمی خشک، کشت آن در مناطق کم‌آب نیز رایج است (Tewari *et al*., 2014).

در کشت گیاهان دارویی، ازجمله اسفرزه، دو عامل بسیار مهم که می‌تواند به شکل قابل‌توجهی بر عملکرد و کیفیت گیاه تأثیرگذار باشد، تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری است. تاریخ کاشت به عنوان یکی از عوامل مهم زراعی، مستقیماً بر مرحله‌های رشد گیاه اثر می‌گذارد و می‌تواند بر واکنش‌های فیزیولوژیکی، بهره‌وری از منابع و در نهایت بر عملکرد نهایی گیاه تأثیرگذار باشد (Shrestha *et al*., 2018). تاریخ کاشت به عنوان یکی از پارامترهای مهم در موفقیت زراعت گیاهان، اثرهای چشمگیری بر رشد و توسعه آنها دارد (Baygi *et al*., 2017). انتخاب مناسب زمان کاشت می‌تواند با فراهم کردن شرایط مطلوب آب و هوایی و فصلی به بهبود جوانه‌زنی، استقرار مناسب گیاهچه‌ها و تسریع در مراحل رشد و نمو کمک کند (Khaeim *et al*., 2022). به‌ویژه در گیاهانی که چرخه زندگی آنها به طول فصل رشد وابسته است، مانند اسفرزه. تاریخ کاشت مناسب می‌تواند اثرهای مطلوبی بر عملکرد داشته باشد (Mosavi *et al*., 2012). گیاهان در پاسخ به تغییرات دما و طول روز در طول فصل رشد، رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. کاشت زودهنگام ممکن است گیاه را در معرض دمای پایین در مراحل حساس رشد قرار دهد که می‌تواند سبب کاهش جوانه‌زنی و رشد اولیه شود (Shrestha *et al*., 2018). از سوی دیگر، کاشت دیرهنگام نیز ممکن است باعث کوتاه شدن دوره رشد گیاه و کاهش زمان لازم برای توسعه کامل ساختارهای زایشی گردد (Khan *et al*., 2017). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، زمان‌بندی مناسب کاشت نه تنها بر عملکرد نهایی گیاه اثرگذار است بلکه می‌تواند با افزایش بهره‌وری از منابع آبی، نیاز گیاه به آب را نیز کاهش دهد (Ali *et al*., 2017).

از سوی دیگر، رژیم‌های آبیاری و مدیریت بهینه مصرف آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، از عوامل کلیدی برای بهبود عملکرد و کاهش تنش‌های آبی در گیاهان دارویی هستند (Ghalkhani *et al*., 2023). مدیریت بهینه آب یکی از چالش‌های اصلی در کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. کمبود آب به عنوان یکی از عوامل محدودکننده در زراعت، باعث کاهش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Claeys & Inze, 2013). به دلیل اهمیت آب در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان، مانند فتوسنتز، تعرق و انتقال مواد مغذی، رژیم‌های مختلف آبیاری می‌تواند اثرهای متنوعی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشد. در این زمینه، انتخاب رژیم آبیاری مناسب می‌تواند به گیاه کمک کند تا در شرایط تنش آبی عملکرد بهینه‌ای داشته باشد (Li *et al*., 2019). تحقیقات نشان داده است که اسفرزه به عنوان گیاهی متحمل به خشکی، در مواجهه با تنش‌های آبی، سازوکارهای مختلفی مانند کاهش تعرق و بهینه‌سازی مصرف آب را فعال می‌کند. ازاین‌رو، مدیریت صحیح آب و تعیین نیاز آبی گیاه در مراحل مختلف رشد، می‌تواند به بهبود عملکرد گیاه و افزایش کیفیت محصولات دارویی حاصل از آن کمک کند (Koocheki *et al*., 2011).

تاریخ کاشت و رژیم‌های آبیاری به عنوان دو عامل اصلی در کشت اسفرزه، اثرهای متقابلی بر یکدیگر دارند. انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌تواند باعث همزمانی مراحل حساس رشد گیاه با دوره‌های مطلوب رطوبتی و دمایی شود که نیاز به آب را کاهش داده و بهره‌وری گیاه از منابع آبی را افزایش می‌دهد (Khaeim *et al*., 2022). از سویی، رژیم‌های آبیاری نیز می‌توانند با تنظیم میزان آب در دسترس در مراحل مختلف رشد، از تأثیرات منفی تاریخ

کاشت نادرست جلوگیری کنند (Rivandi *et al*., 2024). در مناطق خشک و نیمه‌خشک که آب به عنوان یکی از منابع محدود مطرح است، تحقیق در مورد اثرهای متقابل این دو عامل ضروری به نظر می‌رسد. به عنوان مثال، کاشت زودهنگام ممکن است به دلیل تأمین مناسب رطوبت خاک در اوایل فصل باعث بهبود استقرار گیاه شود، اما در ادامه فصل، به دلیل کاهش تدریجی منابع آبی، گیاه با تنش آبی مواجه شده و عملکرد کاهش یابد. بعکس، کاشت دیرهنگام ممکن است در مراحل اولیه رشد، گیاه را با کمبود آب مواجه کند، اما در ادامه با افزایش دسترسی به منابع آبی، عملکرد بهتری نشان دهد (Saha *et al*., 2022).

مطالعات زیادی در زمینه تأثیر تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری بر خصوصیات رشدی و عملکردی گیاهان دارویی انجام شده است. به عنوان مثال، تحقیقاتی بر روی گیاهان دارویی مانند زیره سبز (*Cuminum cyminum*) نشان داده است که انتخاب تاریخ کاشت مناسب و آبیاری بهینه می‌تواند تأثیرات مثبتی بر افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثره این گیاهان داشته باشد. این نتایج نشان می‌دهد که مدیریت بهینه هر دو عامل کاشت و آبیاری، نه تنها بر عملکرد گیاه بلکه بر افزایش مواد مؤثره‌ای که ارزش دارویی دارند نیز مؤثر است (Mollafilabi & Esfandiari, 2018). نتایج مطالعه بر روی گیاه اسفرزه نشان داد که تاریخ کاشت زودهنگام و آبیاری منظم می‌تواند به بهبود رشد رویشی و زایشی گیاه کمک کند (Roostanezhad *et al*., 2021). با این حال، اثرهای دقیق این عوامل بر کمیت و کیفیت محصول نهایی، به‌ویژه در مناطق مختلف اقلیمی و تحت شرایط متفاوت آبیاری، نیازمند مطالعات بیشتری است.

با توجه به اهمیت بالای اسفرزه به عنوان یک گیاه دارویی ارزشمند و محدودیت‌های منابع آبی در بسیاری از مناطق، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر خصوصیات رشدی و عملکردی اسفرزه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط آب و هوایی رفسنجان انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در شهرستان رفسنجان و در مزرعه‌ای با مختصات جغرافیایی عرض ۳۰ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی، طول ۵۵ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۴۶۷ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالانه ۱۲۰ میلی‌متر و دمای حداکثر و حداقل ۴۳ و ۵- درجه سانتی‌گراد، انجام شد. این منطقه دارای آب‌وهوای خشک و بیابانی است. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- آمار هواشناسی (ماهانه) ایستگاه سینوپتیک رفسنجان طی دوره آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱

Table 1. Monthly meteorological statistics of Rafsanjan synoptic station during the experimental period in 2022–2023 crop year

Month	Rainfall (mm)	Min temperature (°C)	Max temperature (°C)	Sunny hours
	2022-23	2022-23	2022-23	2022-23
(February 20 - March 20)	40.6	4.81	16.8	6.52
(March 21 - April 20)	31.7	6.91	18.9	5.31
(April 21 - May 21)	17.4	14.1	26.1	11.3
(May 22 - June 21)	0.4	19.2	35.5	12.5
(June 22 - July 22)	3.04	20.8	35.9	11.7
Total rainfall during the growing season	93.14			

آزمایش به‌صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارهای آبیاری در چهار سطح شامل ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در کرت‌های افقی و چهار تاریخ کاشت (۱۰ اسفند ۱۴۰۱، ۲۵ اسفند ۱۴۰۱، ۱۰ فروردین ۱۴۰۲ و ۲۵ فروردین ۱۴۰۲) در کرت‌های عمودی بودند.

پیش از شروع آزمایش، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد و برخی خصوصیات خاک ارزیابی گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2. Physicochemical characteristics of the experimental soil

OC (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Potassium (ppm)	Phosphorous (ppm)	Nitrogen (%)	Soil texture
0.52	1.14	7.71	137	11.2	0.38	Sandy loam

زمین در سال قبل آیش بوده و در اواسط بهمن ۱۴۰۱ با شخم و دو دیسک عمود بر هم آماده‌سازی شد. بذرهای رقم بومی شهرستان کرمان از مزرعه دانشگاه باهنر کرمان تهیه شدند و قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوسی‌تیرام (دو در هزار) ضدعفونی گردیدند. برای تسهیل کاشت، بذرها با ماسه بادی مخلوط و به‌صورت خشک‌کاری و خطی، دستی و با تراکم بالا در شیارهایی با عمق ۰/۵ سانتی‌متر کاشته شدند. هر کرت به ابعاد ۲×۲/۴ متر شامل ۸ ردیف کاشت (۴ پشته با فاصله ۲۵ سانتی‌متر) بود. فاصله بین کرت‌ها ۶۰ سانتی‌متر و بین تکرارها ۲ متر در نظر گرفته شد. بذرها در عمق یک سانتی‌متری کشت شدند.

کودهای مورد استفاده شامل ۵۰ کیلوگرم اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) و ۶۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل (۴۶ درصد P_2O_5) بودند که به‌صورت یکنواخت دست‌پاش شده و بعد با دیسک با خاک مخلوط شدند. بوته‌ها در مرحله ظهور چهار برگی با فاصله ۳ سانتی‌متر از یکدیگر تنک شدند (۱۳۳ بوته در مترمربع). سامانه آبیاری نیز به‌صورت فارو تحت فشار با کنتور حجمی دقیق برای هر تیمار بود و آبیاری هر ۷ روز یکبار انجام می‌شد. تیمارهای آبیاری پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها و در مرحله ۳-۴ برگی اعمال شد و تا رسیدگی فیزیولوژیک ادامه یافت. میزان آب آبیاری بوسیله نرم‌افزار AGWATمحاسبه شد (Alizadeh & Kamali, 2007)، به‌طوری‌که برای تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد به ترتیب ۱۴۳۰، ۱۱۴۴، ۸۵۸ و ۵۷۲ مترمکعب آب در هکتار مصرف شد.

به دلیل تفاوت در تاریخ‌های کاشت و تیمارهای آبیاری، پر شدن دانه‌ها در کرت‌ها به‌صورت یکنواخت نبود، ازاین‌رو آبیاری آخر به مرحله فیزیولوژیک خاصی نسبت داده نشد و برداشت نهایی براساس علائم ظاهری رسیدگی مانند زرد شدن برگ‌ها، قهوه‌ای شدن سنبله‌ها و صورتی شدن بذرها انجام شد. تاریخ‌های برداشت شامل ۵ خرداد، ۱۵ خرداد، ۳۱ خرداد و ۲۰ تیر بودند. نمونه‌برداری نهایی در سطح یک مترمربع از هر کرت و پس از حذف اثر حاشیه‌ای انجام شد و صفاتی مانند ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول سنبله، تعداد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد کاه، عملکرد زیستی، شاخص برداشت و موسیلاژ اندازه‌گیری شدند.

موسیلاژ دانه‌های اسفرزه مطابق روش ارائه‌شده توسط Davis و همکاران (۱۹۹۳) استخراج شد. برای این منظور، بذرها ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر با دمای اتاق خیس شدند تا پوشش دانه‌ها به‌طور کامل متورم و ژله‌ای شود. سپس محلول حاصل با استفاده از همزن مغناطیسی به‌مدت ۱ ساعت مخلوط گردید. مخلوط به‌دست‌آمده با استفاده از سانتریفوژ (۵۰۰۰ دور در دقیقه، به مدت ۱۰ دقیقه) جداسازی شد. موسیلاژ جداشده به‌وسیله خشک‌کن

(آون) در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس از توزین، وزن خشک آن به‌عنوان شاخص محتوای موسیلاژ ثبت شد.

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و تحلیل همبستگی بین صفات با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) انجام گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر آبیاری و تاریخ کاشت بر اجزای عملکرد اسفرزه

Table 3. ANOVA of irrigation and planting date effects on *Plantago ovata* yield components

S.O.V.	d.f.	M.S.					
		Plant height	Number of tillers per plant	Spike length	Number of spikes per plant	Number of seeds per plant	1000-seed weight
Replication (R)	2	0.10^{ns}	1.02^{**}	0.007^{ns}	0.52^{ns}	650^{ns}	0.003^{ns}
Irrigation (I)	3	662^{**}	51.6^{**}	11.2^{**}	1938^{**}	3257828^{**}	0.227^{**}
R×I	6	0.29	0.16	0.005	0.33	295	0.003
Planting date (P)	3	21.0^{**}	5.13^{**}	0.460^{**}	49.2^{**}	136431^{**}	0.039^{**}
R×P	6	0.08	0.47	0.011	2.24	7073	0.005
I×P	9	27.1^{**}	1.43^{**}	0.188^{**}	6.54^{**}	15518^{**}	0.007^{ns}
Experimental error	18	0.10	0.12	0.010	0.90	3965	0.003
Corrected total	47						
C.V. (%)	–	10.8	8.71	14.5	7.08	11.7	2.98

^{ns}, *, and **: non-significant, significant at p= 0.05, and p= 0.01, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرمتقابل آبیاری × تاریخ کاشت بر اجزای عملکرد اسفرزه

Table 4. Means comparison of irrigation × planting date interaction on *Plantago ovata* yield components

Irrigation level (% of crop water requirement)	Planting date	Plant height (cm)	Number of tillers per plant	Spike length (cm)	Number of spikes per plant	Number of seeds per plant
100	1 March	23.5^{a}	5.67^{a}	3.05^{a}	25.0^{b}	1001^{b}
	16 March	24.1^{a}	6.00^{a}	3.14^{a}	27.7^{a}	1108^{b}
	30 March	23.7^{a}	4.33^{c}	3.01^{a}	22.3^{c}	882^{c}
	14 April	23.8^{a}	4.00^{c}	3.01^{a}	22.3^{c}	882^{c}
80	1 March	22.8^{b}	5.67^{a}	3.01^{a}	25.3^{b}	1090^{b}
	16 March	23.7^{a}	5.67^{a}	3.10^{a}	29.0^{a}	1245^{a}
	30 March	22.7^{b}	6.00^{a}	3.06^{a}	21.7^{c}	869^{c}
	14 April	22.5^{b}	6.00^{a}	3.01^{a}	21.7^{c}	821^{c}
60	1 March	14.7^{d}	5.00^{b}	2.17^{c}	5.22^{d}	216^{d}
	16 March	16.6^{c}	5.67^{a}	2.50^{b}	5.00^{d}	228^{d}
	30 March	12.1^{e}	3.00^{d}	1.82^{d}	2.33^{e}	82.0^{e}
	14 April	13.8^{de}	3.00^{d}	1.29^{e}	1.33^{e}	40.3^{e}
40	1 March	10.2^{f}	1.67^{e}	1.41^{e}	2.00^{e}	75.3^{e}
	16 March	10.1^{f}	1.33^{e}	1.09^{f}	1.33^{e}	53.3^{e}
	30 March	5.17^{g}	0.670^{f}	0.870^{g}	1.00^{e}	8.33^{e}
	14 April	5.13^{g}	0.670^{f}	0.850g	1.00^{e}	4.00^{e}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح مختلف آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش این دو بر ارتفاع بوته اسفرزه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج برهم‌کنش تیمار آبیاری و تاریخ کاشت نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در برهم‌کنش ۱۰۰ درصد آبیاری و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به دست آمد (جدول ۴)، به‌طوری‌که این تیمار تفاوت معنی‌داری با سایر تاریخ‌های کاشت در سطح آبیاری ۱۰۰ درصد و برهم‌کنش ۸۰ درصد آبیاری و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند و برهم‌کنش ۶۰ درصد آبیاری و تاریخ کاشت ۲۵ فروردین نداشت. به عبارت دیگر، در شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته نداشت، اما با کاهش میزان آبیاری، تاریخ کاشت بر ارتفاع بوته تأثیرگذار شد. به طور خاص، در شرایط ۶۰ درصد آبیاری، تأخیر در تاریخ کاشت به ۲۵ فروردین باعث جبران کاهش ارتفاع شد و بیشترین ارتفاع در این شرایط به دست آمد (جدول ۴).

تعداد پنجه در بوته

براساس تجزیه واریانس، تعداد پنجه‌های بوته اسفرزه تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش آنها در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برهم‌کنش دو تیمار آبیاری و تاریخ کاشت نشان داد که بیشترین تعداد پنجه در بوته در برهم‌کنش ۱۰۰ درصد آبیاری و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند (۶ عدد) و برهم‌کنش ۸۰ درصد آبیاری با تاریخ‌های کاشت ۱۰ و ۲۵ فروردین (۶ عدد) مشاهده شد. در مجموع، با کاهش میزان آب مصرفی تا ۴۰ درصد و تأخیر در تاریخ کاشت، تعداد پنجه‌های بوته اسفرزه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۴).

طول سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که طول سنبله اسفرزه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش هر دو تیمار قرار گرفت (جدول ۳). برهم‌کنش سطوح آبیاری و تاریخ کاشت نشان داد که بیشترین طول سنبله در شرایط آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و در تمامی تاریخ‌های کاشت مشاهده شد (جدول ۴). به این معنی که در این شرایط، تاریخ کاشت تأثیری بر طول سنبله نداشت. اما با کاهش میزان آب مصرفی به ۴۰ درصد، تاریخ کاشت نیز تأثیرگذار بود و کمترین طول سنبله در تیمار آبیاری ۴۰ درصد و تاریخ‌های کاشت ۱۰ و ۲۵ فروردین (به ترتیب ۰/۸۷ و ۰/۸۵ سانتی‌متر) مشاهده شد.

تعداد سنبله در گیاه

تجزیه واریانس نشان داد که تعداد سنبله در بوته تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش این دو تیمار در سطح آماری یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). برهم‌کنش این دو تیمار نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در بوته در برهم‌کنش ۸۰ درصد آبیاری به همراه کاشت در ۲۵ اسفند (۲۹/۰) به‌دست آمد و با برهم‌کنش ۱۰۰ درصد آبیاری و کاشت ۲۵ اسفند (۲۷/۷) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین تعداد سنبله در تیمارهای آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد در تمامی تاریخ‌های کاشت مشاهده شد.

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد دانه در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، تاریخ کاشت و اثر متقابل این دو عامل، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه در بوته تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و تاریخ کاشت، در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ ۲۵ اسفند مشاهده شد (جدول ۴). کمترین تعداد دانه در سنبله نیز در سطوح ۴۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی در تمامی تاریخ‌های کاشت به دست آمد که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر سطوح آبیاری نسبت به تاریخ کاشت بر تعداد دانه در بوته است.

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری و تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه اسفرزه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با این حال، اثر متقابل سطوح آبیاری و تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه (۱/۹۴ گرم) در شرایط آبیاری ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. با کاهش میزان آب مصرفی، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی، وزن هزار دانه نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۸/۵ درصد کاهش نشان داد. بیشترین وزن هزار دانه تحت تأثیر تاریخ کاشت در ۲۵ اسفند (۴/۶۷ گرم) مشاهده شد که با تاریخ کاشت ۱۰ اسفند تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر آبیاری و تاریخ کاشت بر وزن هزاردانه اسفرزه

Table 5. Means comparison of irrigation and planting date effects on *Plantago ovata* 1000-seed weight

Main factor		1000-seed weight (g)
Irrigation level (% of crop water requirement)	100	1.93[a]
	80	1.94[a]
	60	1.78[b]
	40	1.65[c]
Planting date	1 March	1.86[ab]
	16 March	1.88[a]
	30 March	1.8[bc]
	14 April	1.76[c]

For each factor, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

عملکرد دانه

براساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، تاریخ کاشت و اثر متقابل این دو عامل، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). بیشترین عملکرد دانه تحت تأثیر برهم‌کنش هر دو عامل در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند با ۱۸۷۶ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۷). کمترین عملکرد دانه نیز در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی و تمامی تاریخ‌های کاشت مشاهده شد. نتایج نشان می‌دهد که بهترین تاریخ کاشت برای دستیابی به بیشترین عملکرد دانه، ۲۵ اسفند است و در صورت بروز مشکلات مدیریتی برای کاشت در این تاریخ، کمترین کاهش عملکرد در تاریخ ۱۰ اسفند حاصل می‌شود. همچنین، بیشترین عملکرد دانه در شرایط ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به دست آمد (۱۸۷۶ کیلوگرم در هکتار). در این شرایط، با تأخیر در کاشت، عملکرد دانه حدود ۳۸/۵ درصد کاهش یافت. این موضوع نشان می‌دهد که هرچند کاهش آب مصرفی به شدت عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما در شرایط بهینه آبیاری (۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، تأخیر در تاریخ کاشت نیز باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود.

عملکرد زیستی

براساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد زیستی تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش این دو تیمار، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد در هر چهار تاریخ کاشت، با افزایش شدت تنش از میزان عملکرد زیستی اسفرزه کاسته شد. از سوی دیگر، در هر چهار سطح تیمار تنش، بیشترین میزان عملکرد زیستی در تاریخ کاشت ۲۵ اسفند مشاهده شد. بیشترین عملکرد زیستی در شرایط برهم‌کنش سطوح آبیاری و تاریخ کاشت، در آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند به میزان ۵۳۵۷

کیلوگرم در هکتار حاصل شد، این مقدار تفاوت معنی‌داری با تیمار آبیاری ۸۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ اسفند (۵۳۰۳ کیلوگرم در هکتار) نداشت. از سوی دیگر، کمترین میزان عملکرد زیستی در تیمار ۴۰ درصد نیاز آبی و ۲۵ فروردین (۶۷/۶ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد، هرچند که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با دیگر تاریخ‌های کاشت نداشت. تفاوت بیشترین و کمترین میزان این صفت برای تیمارهای مختلف نیز ۸ برابر می‌باشد (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر آبیاری و تاریخ کاشت بر صفات عملکرد و موسیلاژ اسفرزه

Table 6. ANOVA of irrigation and planting date effects on yield traits and *Plantago ovata* mucilage content

S.O.V.	d.f.	M.S.			
		Seed yield	Biological yield	Harvest index	Mucilage content
Replication (R)	2	11271^{*}	70784^{ns}	5.89^{ns}	0.214^{ns}
Irrigation (I)	3	6688947^{**}	54001210^{**}	872^{**}	90.1^{**}
R×I	6	2739	43652	5.03	0.002
Planting date (P)	3	6475600^{**}	5636636^{**}	160^{**}	16.7^{**}
R×P	6	3738	136858	6.02	5.32
I×P	9	58579^{**}	523454^{**}	158^{**}	0.268^{ns}
Experimental error	18	2189	10574	2.24	1.07
Corrected total	47				
C.V. (%)	-	5.78	10.2	4.93	4.93

^{ns}, *, and **: non-significant, significant at p= 0.05, and p= 0.01, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرمتقابل آبیاری × تاریخ کاشت بر صفات عملکرد و موسیلاژ اسفرزه

Table 7. Means comparison of irrigation × planting date interaction on yield traits and *Plantago ovata* mucilage content

Irrigation level (% of crop water requirement)	Planting date	Seed yield	Biological yield	Harvest index
		kg.ha^{-1}		%
100	1 March	1629^{c}	4545^{c}	35.9^{a}
	16 March	1765^{b}	5357^{a}	33.4^{ab}
	30 March	1234^{d}	3500^{d}	35.3^{a}
	14 April	1060^{e}	3104^{d}	34.1^{ab}
80	1 March	1696^{bc}	4897^{bc}	34.9^{a}
	16 March	1876^{a}	5303^{ab}	35.2^{a}
	30 March	1166^{d}	3312^{d}	35.2^{a}
	14 April	1190^{d}	3392^{d}	35.1^{a}
60	1 March	409^{f}	1186^{e}	34.5^{a}
	16 March	433^{f}	1297^{e}	33.4^{ab}
	30 March	128^{g}	378^{f}	33.9^{ab}
	14 April	102^{g}	298^{f}	34.1^{ab}
40	1 March	145^{g}	402^{f}	31.6^{b}
	16 March	115^{g}	462^{f}	28.5^{c}
	30 March	5.32^{h}	89.3^{f}	5.97^{d}
	14 April	2.82^{h}	67.6^{f}	4.15^{d}

In each column, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

شاخص برداشت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که شاخص برداشت اسفرزه، مشابه عملکرد دانه، تحت تأثیر سطوح آبیاری، تاریخ کاشت و برهم‌کنش این دو تیمار در سطح آماری یک درصد قرار گرفته است (جدول ۶). میزان شاخص برداشت در تیمار آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد در هر چهار تاریخ کاشت از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت ولی در تیمار آبی ۴۰ درصد میزان شاخص برداشت به‌طور چشمگیری کاهش یافت و این کاهش در هر ۴ تاریخ کاشت مشاهده شد، ولی در تاریخ کاشت ۱۰ فروردین و ۲۵ فروردین میزان شاخص برداشت دارای کمترین میزان خود بود. بیشترین شاخص برداشت در برهم‌کنش سطوح آبیاری و تاریخ کاشت، در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۱۰ اسفند به میزان ۳۵/۹ درصد به‌دست آمد، کمترین میزان این صفت نیز در تیمار آبیاری ۴۰ درصد نیاز آبی و تاریخ کاشت ۲۵ فروردین (۴/۱۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۷).

موسیلاژ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری و تاریخ کاشت بر میزان موسیلاژ دانه اسفرزه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). با این حال، اثر متقابل سطوح آبیاری و تاریخ کاشت بر موسیلاژ معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین میزان موسیلاژ (۲۳/۹ درصد) در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. با کاهش میزان آب مصرفی، میزان موسیلاژ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در شرایط ۴۰ درصد نیاز آبی، میزان موسیلاژ نسبت به ۱۰۰ درصد نیاز آبی ۲۷ درصد کاهش نشان داد. بیشترین میزان موسیلاژ تحت تأثیر تاریخ کاشت در ۱۰ اسفند (۲۲/۴ درصد) مشاهده شد که نسبت به کمترین میزان این صفت که در تیمار ۲۵ فروردین بدست آمد به‌میزان ۱۴ درصد موسیلاژ بیشتری تولید کرد (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر آبیاری و تاریخ کاشت بر موسیلاژ اسفرزه

Table 8. Means comparison of irrigation and planting date effects on *Plantago ovata* mucilage content

Main factor		Mucilage content (%)
Irrigation level (% of crop water requirement)	100	23.9[a]
	80	22.2[b]
	60	20.3[c]
	40	17.5[d]
planting date	1 March	22.4[a]
	16 March	21.4[b]
	30 March	20.5[c]
	14 April	19.6[c]

For each factor, means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (Duncan test).

همبستگی صفات

در جدول همبستگی صفات، روابط مثبت قوی میان صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد پنجه‌ها، طول سنبله، تعداد سنبله‌ها و عملکرد دانه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم این ویژگی‌ها در بهبود تولید گیاه است. به‌ویژه ارتفاع بوته با تعداد پنجه‌ها (۰/۸۹)، طول سنبله (۰/۸۸) و تعداد سنبله‌ها در بوته (۰/۹۳) همبستگی قوی دارد که نشان می‌دهد گیاهان بلندتر معمولاً سنبله‌های بلندتر و بیشتری تولید می‌کنند و عملکرد بالاتری خواهند داشت. همچنین عملکرد دانه با بیشتر صفات مرتبط مانند تعداد دانه در هر بوته (۰/۸۱) و وزن ۱۰۰۰ دانه (۰/۸۱) همبستگی مثبت دارد که نشان‌دهنده اهمیت این صفات در تولید دانه‌های باکیفیت و وزن بالاست. موسیلاژ نیز به‌طور قابل‌توجهی با ارتفاع بوته (۰/۹۳)، تعداد سنبله‌ها

(۰/۹۲) و عملکرد دانه (۰/۸۸) ارتباط مثبت دارد که احتمالاً به‌عنوان یک شاخص مهم برای بهینه‌سازی تولید گیاه در نظر گرفته می‌شود. از سوی دیگر، شاخص برداشت با وزن ۱۰۰۰ دانه (۰/۷۷) و تعداد دانه در بوته (۰/۷۴) ارتباط متوسطی دارد که نشان می‌دهد این شاخص به ترکیب بهینه‌ای از صفات تولیدی بستگی دارد و می‌تواند در بهبود بهره‌وری برداشت تأثیرگذار باشد. به‌طور کلی، این نتایج نشان می‌دهند که برای بهینه‌سازی تولید گیاه و عملکرد دانه، توجه به صفاتی مانند ارتفاع گیاه، تعداد پنجه‌ها، تعداد سنبله‌ها و وزن دانه‌ها اهمیت زیادی دارد.

جدول ۹- همبستگی صفات اسفرزه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت

Table 9. Correlation of *Plantago ovata* traits affected by irrigation and planting date treatments

	Plant height	Number of tillers per plant	Spike length	Number of spikes per plant	Number of seeds per plant	1000-seed weight	Seed yield	Biological yield	Harvest index	Mucilage content
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
B	0.89**	1								
C	0.88**	0.99**	1							
D	0.93**	0.92**	0.92**	1						
E	0.87**	0.79**	0.78**	0.92**	1					
F	0.87**	0.82**	0.82**	0.86**	0.83**	1				
G	0.90**	0.99**	0.98**	0.91**	0.81**	0.81**	1			
H	0.90**	0.99**	0.98**	0.90**	0.80**	0.80**	0.99**	1		
I	0.81**	0.52*	0.51*	0.70**	0.74**	0.77**	0.53*	0.52*	1	
J	0.93**	0.86**	0.86**	0.92**	0.84**	0.84**	0.88**	0.87**	0.76**	1

* and **: significant at p= 0.05 and p= 0.01, respectively.

بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته، مانند سایر اندام‌های گیاه، به شدت تحت تأثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرد. دسترسی کافی به آب و عناصر غذایی، به‌ویژه نیتروژن، از طریق تأثیر بر تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها، نقشی کلیدی در افزایش ارتفاع بوته دارد. Puertolas و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که با کاهش دفعات آبیاری، ارتفاع بوته زیره سبز (*Cuminum cyminum*) به تدریج کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع در آبیاری کامل و کمترین آن در قطع یک نوبت آبیاری پس از گلدهی حاصل شد. همچنین، El-Tahan و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک، ارتفاع بوته و سایر خصوصیات گیاه دارد. Asgharipour و Rafie (۲۰۲۰) نیز کاهش ارتفاع بوته اسفرزه را در اثر تنش خشکی و افزایش فواصل آبیاری گزارش کردند.

در این تحقیق، تاریخ کاشت اثرهای قابل توجهی بر تمامی ویژگی‌های رشد گیاه داشت. در این تحقیق، تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت (۱۰ اسفند، ۲۵ اسفند، ۱۰ فروردین و ۲۵ فروردین) بر ویژگی‌های رشد گیاه با توجه به داده‌های هواشناسی بررسی شد. نمودارهای دمایی نشان داد که با تأخیر در کاشت، گیاهان در دوره‌هایی با دماهای بالاتر قرار گرفتند، به‌ویژه در ماه‌های اردیبهشت و خرداد که حداکثر دما به ۳۵/۵ و ۳۵/۹ درجه سانتی‌گراد رسید. این افزایش دما و شدت گرما باعث کاهش عملکرد و ویژگی‌های رشدی گیاه مانند ارتفاع، تعداد سنبله‌ها و وزن دانه‌ها شد. همچنین، کاهش بارش از ۴۰/۶ میلی‌متر در اسفند به ۰/۴ میلی‌متر در اردیبهشت شرایط نامطلوبی برای رشد در کاشت‌های تأخیری ایجاد کرد (جدول ۱). بنابراین، کاشت زود هنگام (۱۰ و ۲۵ اسفند) به دلیل دمای مناسب‌تر

و بارش کافی، بهترین شرایط را برای رشد و عملکرد گیاه فراهم کرد. کاهش ارتفاع با تأخیر در کاشت احتمالاً به دلیل کوتاه‌تر شدن دوره رشد رویشی به علت گرمای بیشتر در مراحل بعدی رشد است (Djaman *et al*., 2022). Karimzadeh و Omidbaigi (۲۰۰۴) گزارش کردند که کاشت اسفرزه در اوایل فروردین می‌تواند باعث کاهش رشد گیاه به دلیل آسیب سرمای بهاره شود. براساس این مطالعه، تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت به عنوان مناسب‌ترین زمان کاشت اسفرزه در منطقه زنجان پیشنهاد شد. Shrestha و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که کاشت زودهنگام، به‌ویژه در تاریخ ۱۶ نوامبر، باعث بیشترین رشد ارتفاع بوته در گیاه بارهنگ (*Plantago major*) می‌شود، اما با تأخیر در کاشت، ارتفاع کاهش می‌یابد. Mosavi و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در بیرجند گزارش کردند که تأخیر در کاشت از فروردین به اردیبهشت موجب کاهش ارتفاع بوته از ۲۰/۷ به ۱۶/۶ سانتی‌متر شد.

تعداد پنجه در بوته

افزایش میزان آبیاری معمولاً باعث بهبود شرایط رشد رویشی و افزایش تعداد پنجه‌های بارور و سنبله‌های هر بوته می‌شود، به‌نحوی‌که به دلیل همبستگی بین تعداد سنبله‌ها و عملکرد بذر، افزایش عملکرد گیاه را نیز به دنبال دارد. Koocheki و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که افزایش تعداد آبیاری منجر به افزایش تعداد پنجه و سنبله در بوته اسفرزه می‌شود. با این حال، Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که کاهش دفعات آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه و طول سنبله ندارد که احتمالاً به دلیل قطع آبیاری در پایان مرحله رویشی است. Asgharipour و Rafie (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که افزایش فواصل آبیاری و ایجاد تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر تعداد پنجه‌های گیاه اسفرزه نداشت. همچنین، تأخیر در تاریخ کاشت باعث کاهش معنی‌داری در تعداد پنجه‌های گیاه شد. baygi و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش کردند که تأخیر در تاریخ کاشت تأثیر کاهشی بر خصوصیات مورفولوژیکی ازجمله تعداد پنجه و طول سنبله دارد. در کاشت‌های زودتر، طول دوره رشد طولانی‌تر و افزایش وزن خشک کل باعث افزایش تعداد پنجه‌ها شد. Mosavi و همکاران (۲۰۱۲) نیز اعلام کردند که با تأخیر در کاشت از فروردین به اردیبهشت، تعداد پنجه‌ها کاهش یافت.

طول سنبله

نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش شدت تنش از میزان سنبله کاسته شد. کاهش آبیاری با ایجاد تنش آبی در گیاه، فشار تورژسانس سلولی را کاهش می‌دهد که این فشار نیروی اصلی برای رشد و کشیدگی سلول‌هاست. کاهش تورژسانس باعث محدود شدن تقسیم و کشیدگی سلولی می‌شود و رشد بخش‌های هوایی، ازجمله طول سنبله را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، تنش آبی موجب کاهش فعالیت فتوسنتزی و تولید کربوهیدرات‌های لازم برای رشد می‌شود و هورمون‌هایی مانند اسید آبسیزیک (ABA) افزایش می‌یابند که رشد اندام‌های گیاه را سرکوب می‌کنند. در نتیجه، کاهش آبیاری مستقیماً به کوتاه‌تر شدن طول سنبله منجر می‌شود (Taiz *et al*., 2015). این نتایج با یافته‌های Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد، که نشان دادند کم‌آبیاری باعث کاهش طول سنبله اسفرزه می‌شود. همچنین، Koocheki و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که تیمارهای مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر طول سنبله اسفرزه و پسیلیوم داشتند و طول سنبله در تیمار آبی ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب ۱/۸ و ۱/۲ سانتی‌متر برای اسفرزه و پسیلیوم بود. با افزایش میزان آبیاری، طول سنبله افزایش یافت. Shojaei و همکاران (۲۰۲۱) نیز افزایش طول سنبله با افزایش دفعات و کاهش فواصل آبیاری را گزارش کرده‌اند. با این حال، برخی مطالعات مانند تحقیقات Wang و همکاران (۲۰۲۴) تأثیر معناداری را بین دفعات آبیاری و طول سنبله نشان ندادند. Asgharipour و Rafie (۲۰۲۰) نیز بیان کردند که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر طول سنبله اسفرزه نداشت. Shrestha و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تاریخ کاشت نیز تأثیر زیادی بر طول

سنبله داشت، به‌طوری‌که بیشترین طول سنبله در تاریخ کاشت ۱۸ اکتبر (۴/۳۹ سانتی‌متر) مشاهده شد و با تأخیر در تاریخ کاشت، طول سنبله به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. Mousapour و همکاران (۲۰۱۷) نیز تأیید کردند که تأخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش طول سنبله می‌شود.

تعداد سنبله در بوته

با افزایش شدت تنش تعداد سنبله اسفرزه کاهش یافت. افزایش شدت تنش آبی با کاهش دسترسی به آب، فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز و جذب مواد مغذی را مختل می‌کند و به کاهش تولید انرژی و ترکیب‌های ضروری برای رشد منجر می‌شود. این شرایط باعث اختلال در تقسیم سلولی در نواحی مریستمی و کاهش توانایی گیاه در تشکیل اندام‌های زایشی مانند سنبله می‌گردد. علاوه بر این، تنش آبی با افزایش غلظت هورمون‌های مهارکننده رشد مانند اسید آبسیزیک و کاهش فعالیت هورمون‌های محرک رشد مانند سیتوکینین، تولید سنبله را محدود می‌کند (Taiz *et al.*, 2015). مطالعات Koocheki و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که تیمارهای آبیاری بر تعداد سنبله در بوته‌های اسفرزه و پسیلیوم تأثیر معنی‌داری داشت. بیشترین تعداد سنبله در هر بوته اسفرزه و پسیلیوم به ترتیب ۸/۶۶ و ۲۷/۷ در تیمار آبیاری ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد. با کاهش آب آبیاری، تعداد سنبله در پسیلیوم نسبت به اسفرزه کاهش بیشتری یافت. همچنین، نتایج Wang و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که با افزایش فواصل آبیاری و کاهش دفعات آن، تعداد سنبله در بوته گندم زمستانه تحت تأثیر بیشتری قرار گرفت. مطالعه Bannayan و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که بیشترین تعداد سنبله در شرایط آبیاری کامل و کمترین تعداد آن در تیمار قطع آبیاری در مرحله ساقه دادن مشاهده شد. Asgharipour و Rafie (۲۰۲۰) تأیید کردند که تنش خشکی باعث کاهش تعداد سنبله می‌شود.

مطالعات Shrestha و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با تأخیر در تاریخ کاشت، تعداد سنبله کاهش یافت. در کاشت‌های ۱۸ اکتبر، ۲۵ اکتبر و ۲ نوامبر، تعداد سنبله به ترتیب ۴۴/۸، ۴۵/۷ و ۴۲/۲ بود، اما با تأخیر در کاشت، این تعداد کاهش یافت. مطالعه Mousapour و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که تأثیر زمان کاشت بر تعداد سنبله در بوته اسفرزه معنی‌دار بود. تأخیر در تاریخ کاشت منجر به افزایش تعداد سنبله در بوته اسفرزه شد، به‌طوری‌که در تاریخ کاشت ۲۰ بهمن، تعداد سنبله (۷/۴) به میزان ۸/۸ درصد بیشتر از تاریخ کاشت اول (۶/۸) بود. همچنین، نتایج آزمایش Shrestha و همکاران (۲۰۱۸) حکایت از آن داشت که تأخیر در کاشت اسفرزه باعث کاهش تعداد سنبله در گیاه شد. در این مطالعه، کمترین تعداد سنبله در گیاه در کاشت دیرهنگام ژانویه به‌دست آمد. این یافته‌ها نشان‌دهنده اهمیت زمان‌بندی مناسب کاشت در تولید تعداد سنبله و بهبود عملکرد گیاه است.

تعداد دانه در بوته

به‌طور کلی، با کاهش مقدار آب مصرفی، تعداد دانه در بوته به‌شکل معنی‌داری کاهش یافت. Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) نیز تأکید کردند که رژیم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد سنبله و دانه در سنبله دارد؛ به‌طوری‌که با کاهش تعداد آبیاری، تعداد سنبله و دانه در سنبله نیز کاهش می‌یابد. بیشترین تعداد سنبله و دانه در سنبله از تیمار آبیاری کامل و کمترین مقدار آن از تیمار قطع یک نوبت آبیاری قبل از گل‌دهی حاصل شد. افزایش محدودیت آبی قبل از گل‌دهی باعث کاهش تعداد سنبله می‌شود، اما اگر تنش خشکی پس از گل‌دهی اعمال شود، بر تعداد سنبله تأثیری نداشته و فقط تعداد و طول دانه‌ها را کاهش می‌دهد (Frantova *et al.*, 2022). همچنین، محدودیت آبی در مراحل زایشی به‌دلیل اختلال در گرده‌افشانی و کاهش دوره آن، منجر به کاهش تعداد دانه‌ها می‌شود (Höfer *et al.*, 2022). نتایج Koocheki و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که تیمارهای مختلف آبیاری تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله داشتند، اگرچه اثر متقابل آبیاری و گونه در این زمینه معنی‌دار نبود. بیشترین تعداد دانه در سنبله برای

اسفرزه و پسیلیوم به ترتیب ۴۹/۳ و ۳۶ دانه در تیمار آبی ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار به دست آمد. تعداد دانه در سنبله نشان‌دهنده ظرفیت مخزن گیاه است و افزایش این صفت باعث افزایش عملکرد می‌شود (Chen *et al*., 2019).

همچنین، با تأخیر در تاریخ کاشت، تعداد دانه در بوته به‌شکل معنی‌داری کاهش یافت. Mosavi و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که تعداد سنبله، دانه در سنبله و تعداد دانه در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار می‌گیرند. بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۳/۱) در تاریخ ۲۰ اردیبهشت به دست آمد و با تأخیر در کاشت به ۱۰ خرداد، تعداد دانه ۴۵ درصد کاهش یافت. همچنین، بیشترین تعداد دانه در بوته (۱۰۷۵) در تاریخ ۳۰ فروردین ثبت شد که با تأخیر در کاشت به ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد، این تعداد به ترتیب ۳۳/۵ و ۶۱/۲ درصد کاهش یافت.

وزن هزاردانه

وزن هزار دانه با کاهش میزان آب مصرفی روندی کاهشی و معنی‌داری داشت. Koocheki و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تیمارهای مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه اسفرزه و پسیلیوم تأثیر معنی‌داری داشتند، در حالی که اثر متقابل آبیاری و گونه معنی‌دار نبود. بیشترین وزن هزار دانه در اسفرزه و پسیلیوم به ترتیب ۱/۹ و ۰/۸۶ گرم در تیمار آبی ۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار مشاهده شد. در بسیاری از گونه‌های زراعی، تنش آبی در دوره پر شدن دانه‌ها باعث چروکیده شدن آنها می‌شود (Sehgal *et al*., 2018). این موضوع ناشی از بسته شدن روزنه‌ها، کاهش سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی در واکنش به کمبود آب و کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه‌هاست (Chen *et al*., 2019). در این آزمایش نیز با کاهش میزان آبیاری، وزن هزار دانه کاهش یافت که این موضوع در اسفرزه مشهودتر بود. Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که با کاهش تعداد آبیاری، وزن هزار دانه کاهش یافت. البته بین آبیاری کامل و تیمارهای قطع آبیاری قبل و بعد از گل‌دهی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد، اما تفاوت وزن هزار دانه بین تیمارهای قطع یک نوبت آبیاری قبل و بعد از گل‌دهی معنی‌دار نبود. بیشترین وزن هزار دانه از آبیاری کامل و کمترین آن از تیمار قطع یک نوبت آبیاری بعد از گل‌دهی حاصل شد.

وزن هزار دانه با تأخیر در کاشت نیز روندی کاهشی و معنی‌دار داشت. Shrestha و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که تاریخ کاشت تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه اسفرزه در سطح آماری یک درصد داشت. بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ‌های ۱۸ و ۲۵ اکتبر و ۲ نوامبر (به ترتیب ۱/۹۸، ۱/۹۷ و ۱/۹۸ گرم) مشاهده شد و با تأخیر در تاریخ کاشت کاهش یافت؛ به‌طوری‌که وزن هزار دانه در تاریخ ۴ ژوئن (۱/۵۵ گرم) نسبت به ۱۸ اکتبر حدود ۲۱/۷ درصد کاهش یافت. Karimzadeh و Omidbaigi (۲۰۰۴) نیز نشان دادند که تاریخ کاشت در زنجان تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه اسفرزه داشت. بیشترین و کمترین وزن هزار دانه در تاریخ‌های ۱۵ اردیبهشت و ۳۱ فروردین مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت نداشتند. Galavi و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بر روی شش تاریخ کاشت (از ۱۸ بهمن تا ۸ فروردین) در زابل به این نتیجه رسیدند که اختلاف معنی‌داری از نظر وزن هزار دانه مشاهده نشد. Canavar و Kaynak (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که با تأخیر در تاریخ کاشت از می تا ژوئن، وزن صد دانه در بادام‌زمینی در برخی واریته‌ها کاهش یافت.

عملکرد دانه

تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد، به‌ویژه در مرحله زایشی، به دلیل کاهش طول دوره فتوسنتزی و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز به دانه، باعث کاهش عملکرد می‌شود. این موضوع به دلیل پیری زودرس برگ‌ها، کاهش سطح فتوسنتزکننده و کاهش سهم انتقال دوباره مواد ذخیره‌شده از ساقه به دانه است که در نهایت باعث کاهش وزن دانه‌ها می‌شود (Bannayan *et al*., 2008). براساس مطالعات Koocheki و همکاران (۲۰۱۱)، تیمارهای مختلف آبیاری

تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه در گیاه اسفرزه و پسیلیوم داشتند. این تأثیر می‌تواند به تغییرات فیزیولوژیک مرتبط با تأمین آب، مانند بهبود فتوسنتز، جذب مواد مغذی و تولید بیوماس، مرتبط باشد. اثر متقابل آبیاری و گونه نیز بر عملکرد دانه معنی‌دار بود. در اسفرزه، بیشترین عملکرد دانه (۶۷۷ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۷۵ درصد نیاز آبی (۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار) به دست آمد. این محققان بیان کردند این موضوع احتمالاً ناشی از تعادل بین تأمین آب کافی و جلوگیری از تنش هیدریک بیش‌ازحد است که بهبود رشد رویشی و زایشی را تسهیل کرده و عملکرد دانه را افزایش داده است. در مقابل، در پسیلیوم، بیشترین عملکرد دانه (۱۹۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) مشاهده شد که نشان‌دهنده حساسیت بالاتر این گونه به کاهش آب است. این تفاوت‌ها می‌تواند به ویژگی‌های فیزیولوژیک مانند کارایی مصرف آب، مقاومت به تنش هیدریک و تخصیص منابع به اندام‌های زایشی مرتبط باشد (Koocheki *et al*., 2011). کاهش میزان آب آبیاری به دلیل کاهش رشد رویشی، محدودیت سطح فتوسنتزکننده و تولید ماده خشک کمتر در شرایط خشکی، به کاهش اجزای عملکرد دانه در هر دو گونه منجر شد. از سوی دیگر، کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و رسیدگی زودتر تیمارهای تحت تنش خشکی نیز به کاهش عملکرد دانه کمک کرد. مطالعات انجام شده در هند بر روی گیاه اسفرزه نشان داد که آبیاری کافی در طی ۸ نوبت آبیاری در طول دوره رشد اسفرزه، عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Rolbiecki *et al*., 2024). در آزمایش Asgharipour و Rafie (۲۰۲۰) نیز مشخص شد که افزایش تنش خشکی منجر به کاهش تعداد دانه در گیاه اسفرزه می‌شود. Mosavi و همکاران (۲۰۱۲) اظهار داشتند که خشکی از طریق تأثیر بر هدایت الکتریکی، فتوسنتز، توسعه سطح برگ و چرخه رشد گیاه، تأثیرات منفی بر عملکرد اسفرزه دارد. Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که کاهش تعداد آبیاری‌ها به شدت عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. رژیم آبیاری کامل بیشترین عملکرد دانه و قطع یک نوبت آبیاری بعد از مرحله گلدهی کمترین عملکرد را داشت، به‌طوری‌که کاهش عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل ۲۰/۱ درصد بود. تنش کم‌آبی در مراحل مختلف رشد، به‌ویژه در مرحله زایشی، به دلیل کاهش طول دوره فتوسنتزی و کاهش سهم انتقال مواد ذخیره‌شده به دانه، باعث کاهش عملکرد می‌شود (Rolbiecki *et al*., 2024). بنابراین، تأمین آب کافی در طول دوره کوتاه گرده‌افشانی تا پر شدن دانه برای دستیابی به عملکرد دانه مناسب ضروریست.

از آنجا که تاریخ کاشت بر طول دوره‌های رویشی و زایشی گیاه اثر می‌گذارد و طول دوره گلدهی و پر شدن دانه ارتباط مثبت بالایی با عملکرد دانه دارد، به نظر می‌رسد که با کاهش فاصله زمانی سبز شدن گیاه تا گلدهی و گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی در کاشت‌های دیرتر، گیاه قبل از رسیدن به شاخص سطح برگ مناسب وارد مرحله زایشی می‌شود و کاهش دریافت انرژی نوری توسط برگ‌ها باعث کاهش عملکرد در تاریخ‌های کاشت دیرتر می‌شود. بنابراین، عملکرد بالاتر دانه در کاشت‌های زودتر ممکن است به دلیل طولانی‌تر بودن فصل رشد و استفاده از شرایط اقلیمی مناسب اوایل بهار باشد (Mosavi *et al*., 2012). تأثیر تاریخ کاشت بر عملکرد اسفرزه نشان‌دهنده اهمیت تطابق زمان کاشت با نیازهای فیزیولوژیک گیاه است. مطالعات نشان داده‌اند که تأخیر در کاشت موجب کاهش طول دوره رشد، کاهش فتوسنتز مؤثر و عدم تکمیل مراحل رشدی می‌شود (Galavi *et al*., 2008؛ Mosavi *et al*., 2012). به‌طور خاص، تاریخ کاشت ۱۵ اسفند در مشهد و ۲۸ بهمن در زابل بهترین عملکرد را نشان دادند که به شرایط مطلوب دما و رطوبت برای سبز شدن و رشد زایشی مرتبط است (Galavi *et al*., 2008؛ Baygi *et al*., 2017). همچنین، تراکم مناسب بذر تا ۱۲ کیلوگرم در هکتار با کاهش رقابت منفی، تولید بذر را افزایش داد، اما مقادیر بالاتر به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای باعث کاهش عملکرد شد (Baygi *et al*., 2017). کاهش عملکرد در تاریخ‌های دیرتر نیز به حساسیت اسفرزه به گرمای انتهای فصل و کوتاه شدن دوره پرشدن دانه مرتبط است (Mosavi *et al*., 2012).

عملکرد زیستی

Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که تأثیر رژیم‌های آبیاری و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بر عملکرد زیستی و دانه به‌طور معنی‌داری تأثیرگذار است. کاهش تعداد دفعات آبیاری، به‌طور چشمگیری عملکرد زیستی اسفرزه را کاهش داد. بیشترین میزان عملکرد زیستی از رژیم آبیاری کامل و کمترین میزان از تیمار قطع یک نوبت آبیاری پس از مرحله گلدهی به‌دست آمد که این کاهش در مقایسه با رژیم آبیاری کامل حدود ۱۱/۵ درصد بود. محدودیت آبی در مراحل مختلف رشد گیاه، با کاهش سطح برگ، کاهش جذب نور، فتوسنتز جاری و تولید مواد غذایی، منجر به کاهش تجمع ماده خشک و کاهش عملکرد زیستی می‌شود (Bannayan *et al*., 2008). از سوی دیگر، تأخیر در کاشت نیز به‌طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد زیستی شد. Mosavi و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که مساعد بودن شرایط محیطی، به‌ویژه نور، دما و طول دوره رشد طولانی‌تر در تاریخ کاشت ۳۰ فروردین، به گیاه امکان می‌دهد که بهتر از این شرایط استفاده کرده و تولید مواد فتوسنتزی را افزایش دهد؛ در نهایت، این عوامل موجب افزایش عملکرد زیستی می‌شود. کوتاه شدن دوره رشد، به‌طور کلی به کاهش تولید عملکرد زیستی و اقتصادی منجر می‌شود. همچنین، Galavi و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تأثیر شش تاریخ کاشت (از ۱۸ بهمن تا ۸ فروردین) بر عملکرد اسفرزه در زابل، دریافتند که تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد زیستی بین تاریخ‌های کاشت وجود ندارد.

شاخص برداشت

با کاهش آب مصرفی، شاخص برداشت روندی کاهشی و معنی‌دار داشت. Ramroodi و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که بیشترین شاخص برداشت از رژیم آبیاری کامل و کمترین آن از رژیم قطع یک نوبت آبیاری قبل از گلدهی به‌دست آمد. این موضوع ممکن است به این دلیل باشد که هرچند در شرایط کم‌آبی، عملکرد زیستی و دانه هر دو کاهش می‌یابند، اما کاهش عملکرد زیستی کمتر از کاهش عملکرد دانه است. کاهش ۱۱/۵ درصدی عملکرد زیستی در مقایسه با کاهش ۱۴/۶ درصدی عملکرد دانه تحت تأثیر تیمار قطع یک نوبت آبیاری نیز این موضوع را تأیید می‌کند. Farzi-Aminabad و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که با کاهش تعداد آبیاری، به دلیل افت شدید عملکرد دانه، شاخص برداشت کاهش پیدا کرد.

همچنین، تأخیر در کاشت شاخص برداشت را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. این کاهش ممکن است به دلیل مصادف‌شدن زمان گلدهی و پرشدن دانه با دماهای بالا در منطقه باشد که تأثیر منفی بر مرحله زایشی گیاه گذاشته و کاهش بیشتر عملکرد دانه نسبت به بیوماس، به کاهش شاخص برداشت منجر شده است (Mosavi *et al*., 2012). برخلاف این نتایج، Mahakosee و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که شاخص برداشت تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار نگرفت، اما بیشترین شاخص برداشت (۲۵/۵ درصد) در تاریخ کاشت نیمه بهمن به‌دست آمد. Baygi و همکاران (۲۰۱۷) نیز اعلام کردند که شاخص برداشت تحت تأثیر تاریخ کشت و مقدار بذر قرار نگرفت. اگرچه تأثیر سطوح آبیاری بر شاخص برداشت نسبت به تاریخ کاشت بیشتر است و با کاهش آب مصرفی شاخص برداشت کاهش می‌یابد، اما در شرایطی که میزان آب مصرفی به کمتر از حد بهینه (۴۰ درصد نیاز آبی) کاهش یابد، تأخیر در تاریخ کاشت نیز منجر به کاهش شاخص برداشت خواهد شد. Chandra و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان دادند که با تأخیر در کشت اسفرزه، شاخص برداشت به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند.

موسیلاژ

نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان موسیلاژ در گیاه اسفرزه تحت شرایط آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) به دست آمد، در حالی که با کاهش میزان آب مصرفی، میزان موسیلاژ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین تاریخ کاشت تأثیر قابل توجهی بر میزان موسیلاژ داشت، به‌طوری‌که بیشترین موسیلاژ در تاریخ کاشت ۱۰ اسفند

مشاهده شد که نسبت به تاریخ کاشت ۲۵ فروردین ۱۴ درصد افزایش داشت. کاهش میزان موسیلاژ در شرایط کم‌آبی را می‌توان به کاهش فعالیت آنزیم‌های مربوط به سنتز ترکیب‌های پلی‌ساکاریدی نسبت داد (Smith *et al*., 2010). در شرایط تنش خشکی، محدودیت دسترسی به آب باعث کاهش تورژسانس سلولی می‌شود که این موضوع می‌تواند فرایندهای بیوسنتزی مرتبط با موسیلاژ را مختل کند. همچنین، تاریخ کاشت نقش مهمی در مواجهه گیاه با شرایط محیطی مانند دما و طول روز دارد. در تاریخ کاشت ۱۰ اسفند، شرایط دمایی مطلوب و طول روز مناسب احتمالاً باعث افزایش متابولیسم و سنتز ترکیب‌های ثانویه ازجمله موسیلاژ شده است. در مقابل، کاشت در تاریخ ۲۵ فروردین ممکن است گیاه را در معرض تنش دمایی بالاتر و کاهش عملکرد متابولیسم قرار داده باشد. مطالعات دیگری نیز تأثیر تاریخ کاشت بر ترکیب‌های ثانویه را تأیید کرده‌اند (Khan *et al*., 2017). این مطالعات نشان می‌دهند که کاشت زودهنگام می‌تواند با فراهم آوردن شرایط محیطی بهتر، بهبود کیفیت و کمیت ترکیب‌های مفید گیاه را به همراه داشته باشد. این یافته‌ها می‌تواند در بهینه‌سازی مدیریت زراعی و تولید پایدار این گیاه ارزشمند دارویی مورد استفاده قرار گیرد.

براساس نتایج این تحقیق، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه اسفرزه در شرایط کم‌آبی کاهش یافته و تحت تأثیر قرار گرفته است. بنابراین، این گیاه در مواجهه با تنش خشکی رشد کمتری دارد. همچنین، تأخیر در زمان کاشت بر رشد و عملکرد آن تأثیر منفی گذاشته است. یکی از اقدامات اولیه در بررسی سازگاری و کشت گیاهان دارویی، تعیین زمان مناسب کاشت آنهاست. انتخاب زمان کاشت مناسب به دلیل استفاده بهینه از منابع محیطی در طول فصل رشد بسیار مهم است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که تأخیر در کاشت اسفرزه، مراحل رشد تعیین‌کننده اجزای عملکرد را در معرض شرایط نامطلوب محیطی قرار داده و توانایی تولید اقتصادی گیاه راکاهش می‌دهد. بنابراین انتظار می‌رود که نتایج این تحقیق بتواند اطلاعات ارزشمندی در مورد بهینه‌سازی زمان کاشت و مدیریت آب در کشت این گیاه ارائه دهد و به کشاورزان و محققان در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند تا با بهره‌وری بیشتر از منابع محدود آب، به عملکرد بالاتری دست یابند.

References

- Ali, S., Xu, Y., Ma, X., Ahmad, I., Kamran, M., Dong, Z., Cai, T., Jia, Q., Ren, X., Zhang, P. and Jia, Z., 2017. Planting patterns and deficit irrigation strategies to improve wheat production and water use efficiency under simulated rainfall conditions. Frontiers in Plant Science, 8: 1408. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01408
- Alizadeh, A. and Kamali, Gh., 2007. Water Needs of Plants in Iran. Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, 228p. https://www.gisoom.com/book/1577206/
- Asgharipour, M.R. and Rafie, M., 2010. Intercropping of isabgol (*Plantago ovata* L.) and lentil as influenced by drought stress. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 4(3): 341-348. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113071471
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M., 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products, 27(1):11-16. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.002
- Baygi, Z., Saifzade, S.S., Shirani Rad, A.H., Valadabad, S.A. and Jafarinejad, A., 2017. Effects of planting date on growth indices and yield and yield components spring wheat cultivars in Neyshabur. Applied Field Crops Research, 30(2): 115. https://doi.org/10.22092/aj.2018.109088.1113
- Canavar, O. and Kaynak, M.A., 2008. Effect of different planting dates on yield and yield components of peanut (*Arachis hypogaea* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 32(6): 521-528. https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol32/iss6/7/
- Chandra, R., Kumar, D., Jha, B.K., Gajbhiye, N.A. and Aishwath, O.P., 2006. Influence of sowing time on growth and yield of *Plantago ovata* Forsk. under middle Gujarat conditions. Indian Journal of Horticulture, 63(4): 424-427.
- Chen, W., Zhang, J. and Deng, X., 2019. The spike weight contribution of the photosynthetic

area above the upper internode in a winter wheat under different nitrogen and mulching regimes. Crop Journal, 7(1): 89-100. https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.10.004
- Claeys, H. and Inzé, D., 2013. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. Plant Physiology, 162(4): 1768-1779. https://doi.org/10.1104/pp.113.220921
- Djaman, K., Allen, S., Djaman, D.S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Darapuneni, M.K. and Angadi, S.V., 2022. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. Environmental Challenges, 6: 100417. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417
- El-Tahan, A.M., Emran, M., Safhi, F.A., Wali, A.M., Sobhy, S.E. and Ibrahim, O.M., 2024. Modeling the effects of irrigation and its interaction with silicon on quinoa seed yield and water use efficiency in arid regions. Agronomy, 14: 2088. https://doi.org/10.3390/agronomy14092088
- Farzi-Aminabad, R., Ghassemi-Golezani, K. and Nasrullahzadeh, S., 2021. Grain and oil yields of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) affected by water deficit and growth regulators. Agriculture (Poľnohospodárstvo), 67(2): 87-94. https://doi.org/10.2478/agri-2021-0008
- Frantová, N., Rábek, M., Elzner, P., Středa, T., Jovanović, I., Holková, L., Martinek, P., Smutná, P. and Prášil, I.T., 2022. Different drought tolerance strategy of wheat varieties in spike architecture. Agronomy, 12(10): 2328. https://doi.org/10.3390/agronomy12102328
- Galavi, M., Ramroodi, M., Mansori, S., 2008. Effect of sowing dates on yield, yield components and quality of isabgol (*Plantago ovata*) in Sistan region. Pajouhesh and Sazandegi, 20(4): 135-140. https://www.sid.ir/journal/issue/1914/fa
- Ghalkhani, A., Golzardi, F., Khazaei, A., Mahrokh, A., Illés, Á., Bojtor, C., Mousavi, S.M.N. and Széles, A., 2023. Irrigation management strategies to enhance forage yield, feed value, and water-use efficiency of sorghum cultivars. Plants, 12(11): 2154. http://dx.doi.org/10.3390/plants12112154
- Höfer, R.J., Lindner, T., Ayasse, M. and Kuppler, J., 2022. Reduced seed set under water deficit is driven mainly by reduced flower numbers and not by changes in flower visitations and pollination. Functional Ecology, 37(2): 461-471. https://doi.org/10.1111/1365-2435.14233
- Karimzadeh, G. and Omidbaigi, R., 2004. Growth and seed characteristics of isabgol (*Plantago ovata* Forsk) as influenced by some environmental factors. Journal of Agricultural Science and Technology, 6: 103-110. https://jast.modares.ac.ir/article-23-727-en.pdf
- Khaeim, H., Kende, Z., Jolánkai, M., Kovács, G.P., Gyuricza, C. and Tarnawa, Á., 2022. Impact of temperature and water on seed germination and seedling growth of maize (*Zea mays* L.). Agronomy, 12: 397. https://doi.org/10.3390/agronomy12020397.
- Khan, A., Wang, L., Ali, S., Tung, S.A., Hafeez, A. and Yang, G., 2017. Optimal planting density and sowing date can improve cotton yield by maintaining reproductive organ biomass and enhancing potassium uptake. Field Crops Research, 214: 164-174. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.016
- Koocheki, A., Mokhtari, V., Taherabadi, S. and Kalantari, S., 2011. The effect of water stress on yield, yield components and quality characteristics of *Plantago Ovata* and *Plantago psyillium*. Journal of Water and Soil, 25(3): 656-664. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.9700
- Li, Q., Wei, M., Li, Y., Feng, G., Wang, Y., Li, S. and Zhang, D., 2019. Effects of soil moisture on water transport, photosynthetic carbon gain and water use efficiency in tomato are influenced by evaporative demand. Agricultural Water Management, 226: 105818. http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105818
- Mahakosee, S., Jogloy, S., Vorasoot, N., Theerakulpisut, P., Banterng, P., Kesmala, T., Holbrook, C. and Kvien, C., 2019. Seasonal variations in canopy size and yield of rayong 9 cassava genotype under rainfed and irrigated conditions. Agronomy, 9: 362. https://doi.org/10.3390/agronomy9070362
- Mollafilabi, A. and Esfandiari, T., 2018. Effects of irrigation regimes and planting times on essential oil percentage, yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology, 10(3): 935-948. https://doi.org/10.22067/jag.v10i3.75201

- Mosavi, S.G.R., Segatoleslami, M.J. and Pooyan, M., 2012. Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata*. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27(4): 681-699. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2012.4517
- Mousapour, H., Ghanbari, A. and Asghari pour, M.R., 2017. Effect of sowing date on yield, yield components, secondary metabolites content and weed control in ajwain and isabgol intercropping. Journal of Crop Improvement, 18(4): 835-850. https://doi.org/10.22059/jci.2017.56655
- Przybyszewska, J., Kuźmiński, A., Przybyszewski, M. and Popławski, C., 2024. The role and therapeutic effectiveness of *Plantago ovata* seed husk (psyllium husk) in the prevention and non-pharmacological treatment of gastrointestinal diseases. Part 1. Clinical use of psyllium husk in the treatment of irritable bowel syndrome, ulcerative colitis, and colorectal cancer. Przegląd Gastroenterologiczny, 19(2): 121-126. https://doi.org/10.5114/pg.2024.139209
- Puertolas, J., Albacete, A. and Dodd, I.C., 2020. Irrigation frequency transiently alters whole plant gas exchange, water and hormone status, but irrigation volume determines cumulative growth in two herbaceous crops. Environmental and Experimental Botany, 176: 104101. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104101.
- Ramroudi, M., Keikha Jaleh, M., Galavi, M., Saghatoleslami, M.J. and Baradarn, R., 2011. The effect of various micronutrient foliar applications and irrigation regimes on quantitative and qualitative yields of isabgol (*Plantago ovata* forsk.). Journal of Agroecology, 3(2): 219-226. https://doi.org/10.22067/jag.v3i2.13527
- Rivandi, H., Rezvan, S., Jami Moeini, M., Masoud Sinaki, J. and Damavandi, A., 2024. Adaptation strategies for cumin in Sabzevar, Iran: planting date and irrigation management. Water Supply, 24(7): 2271-2284. https://doi.org/10.2166/ws.2024.142
- Rolbiecki, S., Rolbiecki, R., Sadan, H.A., Jagosz, B., Kasperska-Wołowicz, W., Kanecka-Geszke, E., Pal-Fam, F., Atilgan, A., Krakowiak-Bal, A. and Kuśmierek-Tomaszewska, R., 2024. Sustainable water management of drip-irrigated asparagus under conditions of central Poland: Evapotranspiration, water needs and rainfall deficits. Sustainability, 16(3): 966. https://doi.org/10.3390/su16030966
- Roostanezhad, M.R., Bannayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P. and Gazanchiyan, G.A., 2021. Effect of planting dates and irrigation level on growth criteria, yield and yield components of isabgol (*Plantago ovata* L.) under the weather conditions of Sarakhs. Iranian Journal of Field Crops Research, 19(3): 233-248. https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.67257.0
- Saha, D., Choyal, P., Mishra, U.N., Dey, P., Bose, B., MD, P., Gupta, N.K. and Singhal, R.K., 2022. Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. Plant Stress, 4: 100066. http://dx.doi.org/10.1016/j.stress.2022.100066
- Sehgal, A., Sita, K., Siddique, K.H.M., Kumar, R., Bhogireddy, S., Varshney, R.K., HanumanthaRao, B., Nair, R.M., Prasad, P.V.V. and Nayyar, H., 2018. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. Frontiers in Plant Science, 9: 1705. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01705
- Shojaei, A., Salehi Shanjani, P., Zarghami, R., Ashraf Jafari, A. and 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(2): 193-198. https://doi.org/10.22092/jmpb.2020.352135.1269
- Shrestha, J., Kandel, M. and Chaudhary, A., 2018. Effects of planting time on growth, development and productivity of broadleaf plantain (*Plantago major*). Journal of Agriculture and Natural Resources, 1(1): 43-50. https://www.researchgate.net/publication/335568206_Effects_of_planting_time_on_growth_development_and_productivity_of_maize_Zea_mays_L
- Smith, G.R., Gowda, M.C., Sreeramu, B.S., Umesha, K., and Gowda, A.P.M., 2010. Influence of integrated nutrient management on growth, yield and quality of Makoi. Indian Journal of Horticulture 67: 395-398.

https://journal.iahs.org.in/index.php/ijh/article/view/2202
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M. and Murphy, A., 2015. Plant Physiology and Development. Sinauer Associates, Sunderland, CT, 761p. https://www.amazon.com/Plant-Physiology-Development-Lincoln-Taiz/dp/1605352551
- Tewari, D., Anjum, N. and Tripathi, Y.C., 2014. Phytochemistry and pharmacology of *Plantago ovata*: A natural source of laxative medicine. World Journal of Pharmaceutical Research, 3(9):361-372. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20153005934
- Wang, L., Liu, X., Liu, X., Bao, X., Zhang, X., Yin, B., Wang, W., Wang, Y. and Zhen, W., 2024. Effects of spring limited irrigation on grain yield and root characteristics of winter wheat in groundwater-overexploitation areas in the North China Plain. Agricultural Water Management, 294(2): 108729. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108729