

Comparison of grain and forage yields of pearl millet and proso millet under irrigated and rainfed conditions at different sowing dates

Fatemeh Ghorbannezhad¹, Mohsen Zavareh^{2*}, Mohammad Rahmani³

¹ Ph.D., Fatemeh Ghorbannezhad, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: F_ghorbannezhad@phd.guilan.ac.ir

^{2*} Corresponding Author, Associate Professor, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: mzavareh@guilan.ac.ir.

³ Researcher, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Karaj, Iran. Email: mrf_1351@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

ABSTRACT

Background and objectives: Millets, a group of small-seeded cereals, exhibit remarkable performance in arid and semi-arid regions due to their high drought tolerance, low water requirements, and efficient water use. They are capable of producing substantial and stable forage yields under both irrigated and rainfed conditions. However, there is limited information on the management of millet cultivation under rainfed conditions in Mediterranean regions. This study aimed to compare the grain and forage yields of two millet species, pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) and proso millet (*Panicum miliaceum* L.), under irrigated and rainfed conditions in Rasht.

Materials and methods: The experiment was conducted during the 2018-2019 growing season at the research farm of the Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, using a split-plot factorial design within a randomized complete block design with four replications. The main plots consisted of two irrigation regimes (rainfed and irrigated), and the sub-plots comprised a combination of two millet species (pearl millet cv. Mehran and proso millet cv. Pishahang) and four sowing dates (June 4, July 7, August 5, and September 6).

Results: Analysis of variance revealed that the interaction effect of sowing date and irrigation regime, as well as the interaction effect of sowing date and species, significantly affected biomass yield, grain yield, panicle dry matter, number of filled grains, and thousand-grain weight. The number of panicles per plant was significantly influenced by the interaction between sowing date and species. The comparison of mean interaction effects of irrigation regime and sowing date indicated that in both irrigation regimes, delaying sowing from June 4 to September 6 led to a decrease in average grain and biomass yields. However, the results varied across different sowing dates. Specifically, on June 4, August 5, and September 6, the average grain and biomass yields under both irrigated and rainfed conditions were similar. In contrast, on July 7, due to a significant reduction in rainfall, the water needs of the plants under rainfed conditions were not met, resulting in substantial decreases in grain and biomass yields due to drought stress

Article history:

Received: 2025-4-21
Accepted: 2025-10-7

Keywords:

Day Length
Forage Production
Millets
Rainfed Farming
Sowing Date

and insufficient moisture supply. Furthermore, the results of the interaction between species and sowing date indicated that pearl millet cv. Mehran had a higher potential for grain and biomass yields compared to proso millet cv. Pishahang. For pearl millet, the highest grain and biomass yields were achieved on the sowing dates of June 4 (1365.76 Kg ha⁻¹) and July 7 (1290.91 Kg ha⁻¹). For proso millet cv. Pishahang, the highest grain and biomass yields were recorded on June 4, with an average of 1165.66 Kg ha⁻¹ and 6349.91 Kg ha⁻¹, respectively. Overall, the findings of this experiment demonstrated that pearl millet (cv. Mehran) outperformed proso millet (cv. Pishahang) in all evaluated traits.

Conclusion: The lack of significant differences in grain and forage yields of pearl millet sown on June 4 under both rainfed and irrigated conditions suggests optimal synchronization of the plant's growth stages with favorable environmental conditions. Therefore, it is recommended to cultivate pearl millet (cv. Mehran) under rainfed conditions with a sowing date of June 4 to conserve water.

Cite this article: Ghorbannezhad, F., Zavareh, M., Rahmani, M. 2025. Comparison of grain and forage yields of pearl millet and proso millet under irrigated and rainfed conditions at different sowing dates. *Crop Production Journal*, 18 (3), 17-40.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2025.23562.2681](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23562.2681)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹۸
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



مقایسه عملکرد دانه و زیست توده ارزن های مرواریدی و پروسو در شرایط کشت آبی و دیم و در تاریخ های مختلف کشت

فاطمه قربان نژاد^۱، محسن زواره^{۲*}، محمد رحمانی^۳

^۱ دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: F_ghorbannezhad@phd.guilan.ac.ir

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: mzavareh@guilan.ac.ir

^۳ پژوهشگر، موسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: mrf_1351@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: ارزن ها گروهی از غلات دانه ریز هستند که به دلیل توانایی تحمل تنش خشکی، نیاز آبی اندک و کارایی زیاد در استفاده از آب، می توانند در کشت های آبی و دیم مناطق خشک و نیمه خشک تولید علوفه خوب و پایداری داشته باشند. با این حال، اطلاعات اندکی از مدیریت کشت آنها در شرایط دیم مناطق مدیترانه ای در دسترس است. بنابراین، پژوهش کنونی با هدف مقایسه عملکرد دانه و زیست توده دو گونه ارزن مرواریدی (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.) و پروسو (<i>Panicum miliaceum</i> L.) در شرایط کشت آبی و دیم در رشت و در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۱۶	مواد و روش ها: این آزمایش به صورت کرت های یک بار خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این پژوهش دو رژیم آبیاری (دیم و فاریاب) در کرت های اصلی و ترکیب دو ارزن مرواریدی (رقم مهران) و پروسو (رقم پیشاهنگ) و چهار تاریخ کشت (۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور) به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی در نظر گرفته شدند.
واژه های کلیدی: ارزن ها تاریخ کاشت تولید علوفه دیم کاری طول روز	یافته ها: تجزیه واریانس داده ها نشان داد که برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم آبیاری و همچنین برهمکنش تاریخ کاشت و رقم از نظر آماری بر عملکرد زیست توده، عملکرد دانه، ماده خشک خوشه، تعداد دانه پر و وزن هزار دانه تاثیر معنی دار داشته اند. مقایسه میانگین داده های برهمکنش رژیم آبیاری و تاریخ کاشت نشان داد که در هر دو رژیم آبیاری مورد مطالعه، با تاخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور از میانگین عملکرد دانه و زیست توده کاسته می شود. با این حال، نتایج متفاوتی در تاریخ های کاشت به دست آمد. در تاریخ های کاشت ۱۴ خرداد، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور، میانگین عملکرد دانه و زیست توده در کشت آبی و دیم مشابه بود اما در تاریخ کاشت ۱۶ تیر و در کشت دیم، به دلیل کاهش شدید بارش ها (۲۴ درصد) و عدم تامین نیاز آبی گیاهان، عملکرد دانه و زیست توده به طور چشمگیری کاهش یافت. بررسی برهمکنش رقم و تاریخ کاشت نشان داد که ارزن مرواریدی مهران در مقایسه با ارزن پروسو رقم پیشاهنگ توانایی بیشتری در

تولید عملکرد دانه و زیست توده دارد. در ارزن مهران بیشترین عملکرد دانه و زیست توده به صورت مشترک از تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد (به ترتیب عملکرد دانه و زیست توده ۱۳۶۵/۷۶ و ۷۲۶۱/۰۵ کیلوگرم در هکتار) و ۱۶ تیر (به ترتیب عملکرد دانه و زیست توده ۱۲۹۰/۹۱ و ۷۲۴۰/۴۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. در ارزن پروسو رقم پیشاهنگ بیشترین عملکرد دانه و زیست توده به ترتیب با میانگین ۱۱۶۵/۶۶ و ۶۳۴۹/۹۱ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد ثبت شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع به دلیل برتری ارزن مرواریدی (رقم مهران) در همه ویژگی‌های مورد در مقایسه با ارزن پروسو (رقم پیشاهنگ) و عدم تفاوت عملکرد دانه و زیست‌توده آن در تاریخ کشت ۱۴ خرداد در هر دو رژیم آبیاری دیم و فاریاب که بیانگر هم‌نوایی مناسب مراحل رشد و نمو گیاه با شرایط مطلوب محیطی است، پیشنهاد می‌شود برای صرفه جویی در مصرف آب، این گیاه به صورت دیم در تاریخ ۱۴ خرداد کشت شود.

استناد: قربان‌نژاد، فاطمه؛ زواره، محسن؛ رحمانی، محمد. (۱۴۰۴). مقایسه عملکرد دانه و زیست‌توده ارزن‌های مرواریدی و پروسو در شرایط کشت آبی و دیم و در تاریخ‌های مختلف کشت. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۸ (۳)، ۴۰-۱۷.



[10.22069/ejcp.2025.23562.2681](https://doi.org/10.22069/ejcp.2025.23562.2681)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

یکی از مهم ترین موضوعات پژوهشی کنونی در جهان دانش، تغییر اقلیم و اثرات آن بر کشاورزی و امنیت غذایی است (۱). از جنبه های منفی تغییر اقلیم می توان به کاهش بارندگی و پراکنش نامظم آن، افزایش دما و نیز کاهش دسترسی به آب اشاره کرد که پیامد آن کاهش تولید و عملکرد گیاهان زراعی خواهد بود (۲). پیش بینی ها نشان می دهند که در سطح جهانی تا سال ۲۰۵۰ از مقدار بارش ها ۲۰ تا ۲۵ درصد کاسته شده و بر میانگین دمای هوا ۲ تا ۲/۷۵ درجه سلسیوس افزوده خواهد شد (۳) که کاهش منابع آب و افزایش خشکی کشاورزی را به دنبال خواهد داشت. پژوهش های مشابه در ایران هم نشانگر بروز و تشدید تغییر اقلیم در کشور و اثرات منفی آن بر کشاورزی است (۴ و ۵). برای چیرگی بر این مشکلات، به ویژه در کشت دیم، تغییر الگوی کشت و استفاده از گیاهان سازگار به خشکی می تواند به عنوان راه حل مناسبی در نظر گرفته شود (۶).

مدارکی در دست است که نشان می دهد گونه های مختلف ارزن می توانند تولید مناسبی در مناطقی با میانگین بارش سالانه ۹۰۰-۲۵۰ میلی متر داشته باشند (۷). چنین موضوعی به تحمل بالای این گیاهان به کمبود آب و سازگاری مناسب به شرایط گرم و خشک برمی گردد که ناشی از سیستم ریشه ای گسترده و عمیق، سرعت زیاد رشد، طول فصل رشد کوتاه و نیز کارایی مصرف آب و تعرق بالای آنها است (۸). از میان انواع مختلف ارزن ها، ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.) و پروسو (*Panicum miliaceum* L.) از پتانسیل زیادی برای تولید دانه و علوفه برخوردارند و به همین دلیل، در بسیاری از کشورهای آفریقایی و آسیایی در جایگاه غلات پرمصرف (به لحاظ علوفه و ماده غذایی) قرار می گیرند (۹ و ۱۰).

پژوهش ها نشان داده است که میزان آب مورد نیاز ارزن پروسو در دشت های بزرگ آمریکا از زمان کاشت تا تشکیل بذر حدود ۱۰۰ میلی متر است که این مقدار در مقایسه با نیاز آبی گندم (۱۲۷ میلی متر)، آفتابگردان (۱۷۷ میلی متر) و نیز ذرت (۲۲۸ میلی متر) بسیار کمتر است (۶). شانتز و پایمیزل (۱۹۲۷) ارزن پروسو را به عنوان یکی از ۵۲ گونه زراعی با کارایی مصرف آب بالا به شمار آوردند و اعلام کردند که این گیاه برای تولید هر گرم بذر در منطقه آکرون (آمریکا)، به ۵۶۷ گرم آب نیاز دارد (۱۱). فاروق و صدیق (۲۰۲۳) در گزارشی بیان کردند که ارزن پروسو برای تولید هر کیلوگرم ماده خشک به ۲۷۷ لیتر آب نیاز دارد که مقدار آن در مقایسه با نیاز آبی گندم ۸۱/۱۶ درصد کمتر است (۱۲). بنابراین، می تواند در مناطق خشکی که امکان رشد مناسب سایر غلات وجود ندارد، به خوبی کشت شود (۷). پژوهش ها، همچنین، نشان داده اند که امکان کشت ارزن پروسو به صورت دیم در مناطقی با میانگین بارش سالانه ۵۰۰-۲۰۰ میلی متر فراهم است (۹ و ۱۳).

ارزن مرواریدی نیز به عنوان گونه ای منعطف در برابر تغییرات اقلیمی در نظر گرفته می شود و می تواند در مناطقی با بارش سالانه کمتر از ۳۰۰ میلی متر که در آن ها کشت سورگوم و ذرت با شکست روبرو می شود هم تولید مناسبی به صورت دیم داشته باشد (۱۴). این موضوع به نیاز آبی پایین این گیاه (۳۵۰ میلی متر) مرتبط است که در مقایسه با نیاز آبی سورگوم و ذرت به ترتیب ۱۴ و ۴۲ درصد کمتر برآورد شده است (۱۵). وجود روزهای روشن آفتابی به همراه باران های سبک به عنوان مناسب ترین شرایط آب و هوایی برای رشد این گیاه در نظر گرفته می شود و باران های سنگین و رطوبت بالا اثرات زیان باری بر رشد و بازدهی گیاه خواهند داشت (۱۶). اوپال و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که بارش بیش از ۳۰ میلی متر

باران در پنج روز، به دلیل ایجاد بروز شرایط غرقاب سبب کاهش عملکرد دانه ارزن مرواریدی شده است (۱۷). از سوی دیگر، آب و هوای بسیار خشک همراه با نبود بارندگی نیز مضر است؛ زیرا با تاثیر منفی بر بر فرایندهای مرتبط با جذب کربن مانند فتوسنتز و تعرق به کاهش عملکرد گیاه می‌انجامد (۱۶). به طوری که در خشکی‌های شدید تا متوسط از مقدار عملکرد دانه آن ۶۹ تا ۸۱ درصد کاسته می‌شود (۱۸).

انتخاب درست تاریخ کاشت به عنوان یک عامل مدیریتی مهم تاثیر زیادی بر عملکرد گیاه زراعی در شرایط دیم دارد. زیرا تولید موفق یک گیاه در این شرایط به بارش‌های مناسب و به هنگام و همچنین، به مقدار آب ذخیره شده در خاک (۱۹) وابسته است. به عبارت دیگر، با تنظیم زمان کاشت می‌توان از رطوبت خاک در دوره‌های مختلف رشد و نمو گیاه بهتر استفاده کرده و از بروز تنش خشکی و کاهش عملکرد جلوگیری نمود (۲۰ و ۲۱).

یافته‌های گویه و همکاران (۲۰۱۵) درباره کشت دیم ارزن فانیو در سنگال نشان داد که با تاخیر در کاشت از ۱۰ تیر (اول جولای) به ۲۱ مرداد (۱۲ آگوست)، عملکرد دانه ۴۰ درصد کاهش یافت که ناشی از کاهش میانگین بارش‌ها در طول فصل رشد از ۸۹۷ به ۶۷۱ میلی‌متر بود (۲۲). نتایج پژوهش جد‌هاو و همکاران (۱۹۹۴) روی گیاه ارزن مرواریدی نشان داد که با کاشت زودهنگام این گیاه در ماه خرداد (ژوئن)، امکان بهره‌مندی از باران‌های فصلی به نحو مناسب‌تری وجود دارد که پیامد آن افزایش طول فصل رشد و تولید ماده خشک بود (۲۳). یافته‌های مشابهی نیز توسط درا و ماتیواریا (۲۰۱۸) در مورد همبستگی مثبت عملکرد دانه با مقدار بارش‌ها در شرایط دیم و به ترتیب روی گیاهان ذرت و سورگوم گزارش شده است (۲۴).

پژوهش‌ها نشان داده است که زمان بارندگی در مقایسه با مقدار آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. به عنوان نمونه، نیلسن و ویگل (۲۰۱۷) در گزارشی اعلام کردند که در صورت افزایش بارش‌ها در دوره پرشدن دانه ارزن پروسو (بازه زمانی ۲۱ مرداد ۱۲ آگوست) تا ۲۷ مرداد (۱۸ آگوست)، عملکرد دانه افزایش خواهد یافت (۲۵) که شبیه یافته‌های سینگ و همکاران (۲۰۱۷) روی گیاه ارزن انگشتی است (۲). نتایج پژوهش ماس و همکاران (۲۰۰۷) در آمریکا نیز نشان داد که با کاشت ارزن مرواریدی در فروردین (آوریل) می‌توان به بارش‌های مناسبی پیش از ظهور خوشه دست یافت که پیامد آن دسترسی بیشتر گیاه به آب در مرحله پر شدن دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه بوده است (۲۶). ردی و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند که در صورت تاخیر در کاشت ارزن مرواریدی از نیمه اول ماه خرداد (ژوئن) به نیمه نخست ماه شهریور (آگوست) به دلیل وقوع خشکی‌های شدید در مرحله گلدهی از عملکرد دانه و زیست‌توده آن کاسته خواهد شد (۱۹). در پژوهش دیگری نیز اعلام شد که عملکرد دانه ذرت دیم تا حد زیادی از میزان بارش‌ها در مرحله زایشی و پرشدن دانه تاثیر می‌پذیرد و با کاهش بارش‌ها (از ۱۶۷ به ۱۵ میلی‌متر) در دوره بحرانی رشد و نمو آن (از ۲۴ تیر (۱۵ جولای) تا ۳ شهریور (۲۵ آگوست))، از عملکرد دانه به صورت چشمگیری کاسته خواهد شد (۲۷). نلسون و فنستر (۱۹۸۳) نیز با استفاده از رگرسیون چندگانه به ارتباط مثبت بارش‌ها در ماه تیر (جولای) و عملکرد دانه ارزن پروسوی دیم اشاره داشته‌اند (۲۸). تسیمبا و همکاران (۲۰۱۳) نیز در گزارشی کاهش ماده خشک ذرت دیم را به توزیع نامناسب بارش‌ها در ماه مرداد (آگوست) نسبت دادند (۲۹).

استان گیلان با داشتن شرایط آب و هوایی مناسب از توانمندی بالایی در تولید علوفه برخوردار است و

می تواند به یکی از مهم ترین مراکز در کشت گیاهان علوفه ای متنوع تبدیل شود. با این حال، تنها ۰/۱۵ درصد از مجموع سطح زیرکشت استان به زراعت علوفه اختصاص یافته است و مقدار تولید آن نیز حدود ۰/۳۴ درصد از مجموع تولیدات را شامل می شود (۳۰). این آمار بیانگر عدم توجه کافی به بخش علوفه در استان گیلان است. در کنار این موضوع، با توجه به کمبود منابع آب، لزوم استفاده از گیاهان علوفه ای متحمل به خشکی مانند ارزن ها و کشت آن ها به صورت دیم به ویژه در اقلیم مدیترانه ای از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل، این پژوهش با هدف مقایسه عملکرد ارزن های پیشاهنگ و مهران در شرایط کشت دیم و آبی در تاریخ های مختلف کشت طراحی و اجرا شد.

مواد و روش ها

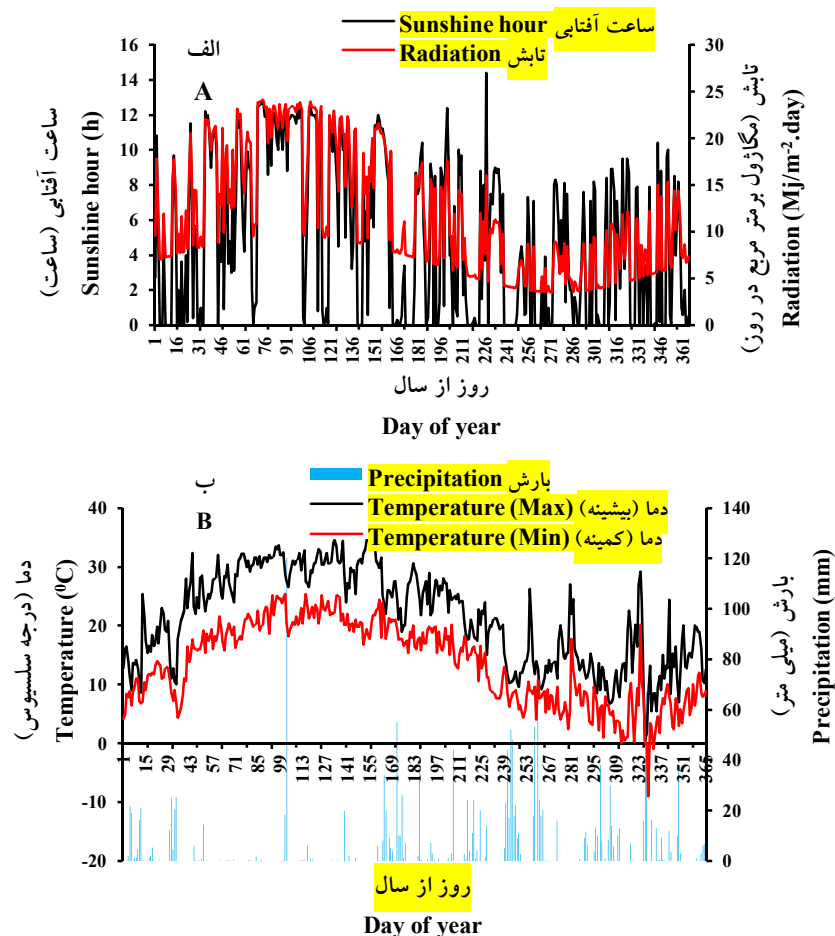
این آزمایش در سال ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان (با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۶۴ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۶ متر) به صورت کرت های یک بار خرد شده فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این پژوهش دو رژیم آبی دیم و فاریاب در کرت های اصلی و ترکیب دو گونه ارزن پروسو رقم پیشاهنگ (۳۱) و ارزن مرواریدی رقم مهران (۳۲، ۳۳) به همراه چهار تاریخ کشت (۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور) به صورت فاکتوریل در کرت های فرعی در نظر گرفته شدند.

بر پایه تقسیم بندی کوپن - گایگر، محل آزمایش در اقلیم مدیترانه ای (Csa) (۳۴) با مجموع بارش های ثبت شده ۱۶۹۰،۴۴ میلی متر در سال انجام آزمایش بود که مقدار آن در مقایسه با میانگین بلند مدت منطقه ۲۸،۲۲ درصد بیشتر بود. این داده ها نشان

می دهند که سال انجام آزمایش در مقایسه با آمار بلند مدت، سال مرطوب تری بوده است (شکل b۱). در محل آزمایش، مجموع بارش ها در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۲۰۸/۴۷، ۴۰۴/۹۶، ۶۲۴/۸۴ و ۴۵۲/۱۷ میلی متر بود که از این میان، بیشترین کمترین بارش به ترتیب با میانگین ۳۰۹/۴ و ۳/۱۳ میلی متر در ماه های آبان و خرداد ثبت شده است. میانگین دمای کمینه و بیشینه هوا نیز به ترتیب ۱۳/۴۷ و ۲۱/۳۵ درجه سلسیوس بود (شکل b۱). مقدار ساعت آفتابی از ۰/۱ تا ۱۴/۴ ساعت و مقدار تابش خورشیدی نیز از ۳/۵۲ تا ۲۴/۱۱ مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود (شکل a۱).

زمین آزمایش سال پیش تحت آیش بود. عملیات خاک ورزی شامل شخم عمیق در بهار و با گاو آهن برگردان دار انجام شد. پس از آن، برای تسطیح و خرد شدن کلوخه ها از دو دیسک عمود بر هم و لولر استفاده شد. پس از آماده سازی زمین، بلوک بندی و کرت بندی انجام شد. ابعاد هر کرت آزمایشی ۳×۳/۵ متر مربع در نظر گرفته شد. هر یک از کرت ها دارای هفت ردیف کشت به طول سه متر بود که با فاصله ۵۰ سانتی متر از هم قرار داشتند. فاصله بین دو کرت اصلی سه متر و فاصله دو تکرار از هم نیز یک متر بود.

پیش از اجرای آزمایش به منظور تعیین ویژگی های خاک محل آزمایش، نمونه مرکبی تهیه و ویژگی های آن اندازه گیری شد (جدول ۱). برای تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، پیش از کاشت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم به خاک داده شد. هم زمان با کاشت، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره نیز به صورت نواری به زمین داده شد.



شکل ۱- پارامترهای هواشناسی محل آزمایش: الف) میانگین روزانه تابش خورشیدی و ساعت آفتابی و ب) دمای کمینه و بیشینه هوا و بارش.

Figure 1. Meteorological parameters at the experimental site: (a) daily mean solar radiation and sunshine hours, and (b) minimum and maximum air temperature and precipitation.

جدول ۱- ویژگی‌های خاک محل آزمایش.

Table 1. Soil characteristics of the experimental site.

عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC(dS/m)	بی‌اج pH	نیتروژن کل N(%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq/100gr)	کربن آلی Organic carbon(%)
0-30	Silty clay	0.46	6.8	0.1	4.4	110	33.5	0.82
30-60	Silty clay	0.59	6.8	0.04	0.8	120	31.5	0.44

عملیات تنک فاصله دو بوته روی ردیف به ده سانتی‌متر تنظیم شد. هم زمان با تنک، سله‌شکنی و مبارزه با علف‌های هرز نیز انجام شد. در کشت فاریاب، نخستین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام شد. آبیاری به صورت قطره‌ای و با

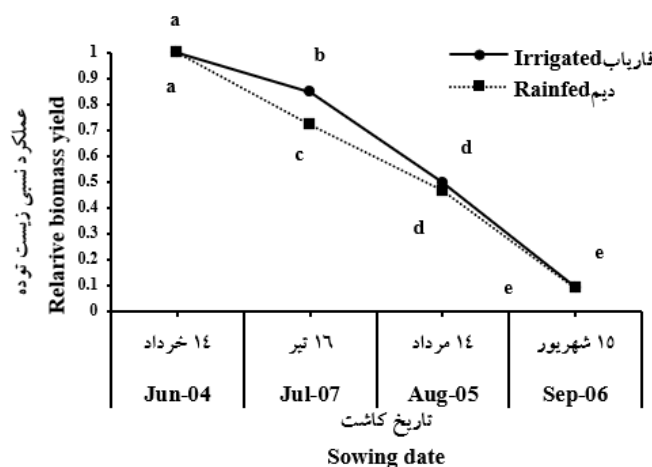
بذور ارزن‌های مرواریدی (رقم مهران) و پروسو (رقم پیشاهنگ) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه و به صورت متراکم درون شیارهایی با عمق سه سانتی‌متر به صورت دستی کشت شدند. پس از استقرار گیاهچه‌ها، در مرحله ۴-۳ برگی، با

هزار دانه و ماده خشک خوشه با استفاده از ترازوی حساس (مدل JP-300W، ساخت ژاپن) با دقت 0.001 گرم وزن شدند. در نهایت تجزیه واریانس داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه $9/4$ (SAS Institute Inc.) و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد زیست توده: یافته های این پژوهش نشان داد که برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت و همچنین برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد زیست توده در سطح احتمال یک درصد معنی دار بوده است (جدول ۲). مقایسه تغییرات میانگین عملکرد زیست توده (شکل ۲) نشان داد که تاخیر کشت در هر دو رژیم آبی فاریاب و دیم از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، باعث کاهش میانگین عملکرد زیست توده بوته ها شده و روندی کاهشی داشته است به گونه ای که از مقدار آن به ترتیب در شرایط فاریاب و دیم $90/44$ و $90/72$ درصد کاسته شد.

استفاده از نوارهای آبیاری (با فاصله 10 سانتی متری قطره چکان ها) انجام شد. برای محاسبه مقدار آب آبیاری استفاده شده در طول فصل رشد از کنتور استفاده شد. از آنجا که دو تا سه هفته نخست پس از کاشت به عنوان دوره بحرانی رشد ارزن ها در نظر گرفته می شود و کمبود آب در این دوره می تواند به استقرار ضعیف گیاه یا نابودی کامل آن منتج شود (۹)، بنابراین، در کشت دیم، نخستین آبیاری پس از کاشت انجام و تا زمان استقرار کامل گیاهچه ها ادامه یافت. پس از آن، کرت های کشت دیم تا پایان فصل رشد آبیاری نشدند و تامین آب آن ها کاملاً متکی به بارش بود. در پایان دوره رشد، عملکرد دانه و عملکرد زیست توده بر مبنای برداشت یک متر مربع از هر کرت تعیین شد. برای اندازه گیری اجزای عملکرد دانه، پیش از برداشت، از خطوط اصلی هر کرت و با رعایت اثر حاشیه، تعداد چهار بوته به صورت تصادفی انتخاب شد و پس از شمارش تعداد خوشه و تعداد دانه به آن در دمای 70 درجه سلسیوس منتقل و به مدت 48 ساعت نگهداری شدند. در نهایت وزن



شکل ۲- تغییر عملکرد نسبی زیست توده در دو شرایط فاریاب و دیم در پاسخ به تاریخ های مختلف کاشت.
Figure 2. Variation in relative biomass yield under irrigated and rainfed conditions in response to different sowing dates.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تاریخ کاشت و رژیم آبی بر ویژگی‌های مورد بررسی دو رقم ارزن.

Table 2. Analysis of variance for sowing date and irrigation regime effects on the evaluated traits of two pearl millet cultivars.

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square					
		عملکرد زیست‌توده (Biomass yield)	عملکرد دانه (Grain yield)	تعداد خوشه (Panicle numbers)	ماده خشک خوشه (Panicle)	تعداد دانه پر (Grain numbers)	وزن هزاردانه (1000-grain weight)
تکرار Replication	3	92204.30 ^{n.s}	16191.88 ^{n.s}	0.19 ^{n.s}	1.23 ^{n.s}	10309.15 ^{n.s}	0.58 ^{n.s}
رژیم آبی (A) Irrigation regime (A)	1	3576621.20 ^{**}	273924.88 ^{**}	2.00 ^{**}	8.63 ^{**}	452704.69 ^{**}	1.70 [*]
خطای اصلی Replication×A	3	234415.80	53933.31	0.04	1.09	12169.64	0.03
تاریخ کاشت (B) Sowing date (B)	3	114641539.00 ^{**}	4168858.63 ^{**}	45.48 ^{**}	498.74 ^{**}	8204078.03 ^{**}	15.12 ^{**}
رقم (C) Cultivar (C)	1	56172316.40 ^{**}	713494.16 ^{**}	189.06 ^{**}	82.91 ^{**}	4757578.91 ^{**}	4.29 ^{**}
B×A	3	851289.20 ^{**}	92327.68 ^{**}	0.05 ^{n.s}	8.92 ^{**}	214500.20 ^{**}	2.03 ^{**}
C×A	1	19659.00 ^{n.s}	64502.45 ^{n.s}	0.69 ^{n.s}	0.02 ^{n.s}	510.01 ^{n.s}	0.72 ^{n.s}
C×B	3	8410979.70 ^{**}	89588.73 ^{**}	22.27 ^{**}	30.10 ^{**}	1789024.19 ^{**}	3.08 ^{**}
C×B×A	3	49632.10 ^{n.s}	21706.03 ^{n.s}	0.33 ^{n.s}	0.39 ^{n.s}	6580.29 ^{n.s}	0.15 ^{n.s}
خطای Error	42	188506.80	17351.36	0.19	1.05	9651	0.25
ضریب تغییرات CV		10.79	15.44	8.94	11.14	8.74	11.70

* و ** به ترتیب معنی داری در سطح ۱٪ و ۵٪ می باشد و n.s عدم معنی داری را نشان می دهد.

n.s, * and ** Not-Significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

زیست‌توده در کشت فاریاب ۵۹۲۰ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با شرایط دیم حدود ۱۹ درصد بیشتر بود (جدول ۳). این نتیجه می‌تواند به کمبود بارندگی در طول فصل رشد ارزن‌ها (۱۹)، به ویژه در دوره رویشی مرتبط باشد.

مقایسه میانگین برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت (جدول ۳) نشان داد که در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد، میانگین عملکرد زیست‌توده به ترتیب در شرایط فاریاب و دیم ۶۹۶۹/۳ و ۶۶۴۱/۶۵ بوده است که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. با این حال، در تاریخ کشت ۱۶ تیر، میانگین عملکرد

جدول ۳- اثرات برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت بر ویژگی های مورد بررسی.

Table 3. Interaction effects of sowing dates and irrigation regime on the evaluated traits.

رژیم آبی Irrigation regime	تاریخ کاشت Sowing date	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	تعداد دانه پر Grain numbers (NO/Plant)	وزن هزار دانه 1000-grain weigh(g)	ماده خشک خوشه Panicle dry weight (g.plant ⁻¹)
فاریاب Irrigated	۱۴ خرداد June 4	6969.30 ^a	1304.46 ^a	1767.91 ^{ab}	5.09 ^a	13.86 ^a
	۱۶ تیر July 7	5920.00 ^b	1278.35 ^a	1851.20	5.57 ^a	13.93 ^a
	۱۴ مرداد August 5	3481.21 ^d	978.06 ^b	1037.55 ^d	4.39 ^b	9.62 ^c
	۱۵ شهریور September 6	665.77 ^e	113.25 ^c	174.12 ^e	2.93 ^c	0.96 ^d
دیم Rainfed	۱۴ خرداد June 4	6641.65 ^a	1226.96 ^a	1714.95 ^b	5.24 ^a	12.94 ^a
	۱۶ تیر July 7	4790.94 ^c	930.83 ^b	1338.66 ^c	4.19 ^b	11.16 ^b
	۱۴ مرداد August 5	3096.47 ^d	873.60 ^b	946.55 ^d	4.23 ^b	9.94 ^c
	۱۵ شهریور September 6	616.02 ^e	119.35 ^c	157.79 ^e	3.02 ^c	1.40 ^d

*در هر ستون، میانگین های با دست کم یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف آماری معنی داری ندارند.

Within each column, means sharing at least one common letter are not significantly different according to the LSD test.

جدول ۴- اثرات برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر ویژگی های مورد بررسی

Table 4. Interaction effects of sowing dates and cultivar on the evaluated traits.

رقم Cultivar	تاریخ کاشت Sowing date	عملکرد زیست توده Biomass yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	تعداد خوشه Panicle numbers (NO/Plant)	تعداد دانه پر Grain numbers (NO/Plant)	وزن هزار دانه 1000-grain weigh (g)	ماده خشک خوشه Panicle dry weight (g.plant ⁻¹)
مهران Mehran	۱۴ خرداد June 4	7261.05 ^a	1365.76 ^a	3.33 ^e	2179.79 ^a	5.50 ^a	15.41 ^a
	۱۶ تیر July 7	7240.42 ^a	1292.91 ^{ab}	4.79 ^c	2250.87 ^a	5.41 ^a	15.14 ^a
	۱۴ مرداد August 5	4403.13 ^c	1054.73 ^c	4.00 ^d	1062.22 ^c	3.93 ^{de}	9.89 ^c
	۱۵ شهریور September 6	933.49 ^f	123.37 ^e	1.00 ^f	92.08 ^f	3.54 ^e	1.01 ^d
پیشاهنگ Pishahang	۱۴ خرداد June 4	6349.91 ^b	1165.66 ^{bc}	6.41 ^b	1303.08 ^b	4.83 ^{bc}	11.40 ^b
	۱۶ تیر July 7	3470.52 ^d	918.27 ^d	5.29 ^c	939.00 ^d	4.36 ^{cd}	9.94 ^c
	۱۴ مرداد August 5	2174.55 ^e	796.93 ^d	10.20 ^a	921.87 ^d	4.69 ^{bc}	9.66 ^c
	۱۵ شهریور September 6	348.29 ^g	109.23 ^e	4.95 ^c	239.83 ^e	2.42 ^f	1.35 ^d

*در هر ستون، میانگین های با دست کم یک حرف مشترک بر اساس آزمون LSD اختلاف آماری معنی داری ندارند.

Within each column, means sharing at least one common letter are not significantly different according to the LSD test.

شکل b۱ نشان می‌دهد که در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد، از مجموع بارش‌های ثبت شده در طول فصل رشد ارزن‌ها (حدود ۳۷۰ میلی‌متر)، حدود ۱۶۸ میلی‌متر در مرحله رویشی باریده است در حالی که در تاریخ کاشت ۱۶ تیر، علاوه بر کاهش چشمگیر کل بارش‌ها در طول فصل رشد (حدود ۲۴ درصد)، مقدار آن در دوره رویشی نیز به ۳۱ میلی‌متر کاهش یافته است. با توجه به این آمار می‌توان چنین برداشت کرد که در تاریخ کاشت ۱۶ تیر، به دلیل دمای بالا و بارش‌های اندک و نامنظم، آبیاری تا استقرار گیاهچه پاسخگوی نیاز آبی ارزن‌ها در طول فصل رشد نبوده است که پیامد آن کاهش ویژگی‌های مرتبط با رشد رویشی (داده‌ها ارائه نشده‌اند) و زایشی (جدول ۳) و در نتیجه کاهش عملکرد زیست‌توده بوده است (جدول ۳). هم‌راستا با این یافته‌ها، نتایج آزمایش لو و همکاران (۲۰۱۵) روی گیاه ارزن دم‌روباهی نشان داد که کمبود آب با تاثیر منفی بر ویژگی‌های رویشی همانند سطح برگ و ارتفاع بوته، ۳۹ درصد از مقدار زیست‌توده گیاهان را کاهش داده است (۳۵). به همین ترتیب، آسفا و همکاران (۲۰۱۰) نیز در گزارشی بیان کردند که در صورت بروز کم آبی در دوره رویشی سورگوم، عملکرد زیست‌توده آن ۳۶ درصد کاهش می‌یابد (۳۶).

همانند تاریخ کاشت ۱۴ خرداد، در تاریخ کاشت ۱۴ مرداد نیز به دلیل وجود بارش‌های مناسب و به‌هنگام (به ترتیب برای ارزن مهران و پیشاهنگ ۳۹۰ و ۳۲۰ میلی‌متر) میانگین عملکرد زیست‌توده در کشت آبی (۳۴۸۱/۲۱ کیلوگرم در هکتار) و دیم (۳۰۹۶/۴۷ کیلوگرم در هکتار) مشابه به دست آمد (جدول ۳). به همین ترتیب، در تاریخ کاشت ۱۵ شهریور و به دلیل برقراری دمای پایین (شکل b۱) و بارش زیاد (مجموع بارش‌ها برای ارزن مهران و پیشاهنگ به ترتیب ۴۸۲ و ۴۷۳ میلی‌متر) وضعیت

رطوبت خاک در شرایط مناسبی قرار گرفت که پیامد آن دستیابی به عملکرد زیست‌توده یکسان در هر دو رژیم آبی مورد مطالعه بود (به ترتیب در شرایط فاریاب و دیم ۶۶۵/۷۷ و ۶۱۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار) (جدول ۳). پاسخ مناسب ارزن‌ها به شرایط دیم در تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور به کارایی مصرف آب (WUE) بالا، نیاز آبی اندک (۶) و سیستم فتوسنتزی کارآمد آن‌ها مرتبط است. هم‌راستا با نتایج این پژوهش می‌توان به گزارش تویدل و همکاران (۱۹۹۲) روی گیاه ارزن دم‌روباهی (*Setaria italica* (L.) P. Beauvois) اشاره کرد. این پژوهشگران اعلام کردند که ارزن دم‌روباهی پاسخ مناسبی به میزان بارندگی ثبت شده در طول فصل رشد (۸۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر) نشان می‌دهد به گونه‌ای که عملکرد به دست آمده از کشت دیم و آبی هیچ گونه تفاوت معنی‌داری نداشتند (۳۷). در نواحی مختلف آفریقا با میزان بارش سالانه ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر نیز کشت موفق ارزن مرواریدی به صورت دیم گزارش شده است (۳۸).

مقایسه میانگین داده‌های برهمکنش تاریخ کاشت و رقم (جدول ۴) نشان داد که در هر چهار تاریخ کاشت ۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور، میانگین عملکرد زیست‌توده ارزن مهران در مقایسه با ارزن پیشاهنگ به صورت چشمگیری بالاتر بود. بیشترین عملکرد زیست‌توده ارزن مهران در تاریخ کاشت‌های ۱۴ خرداد (۷۲۶۱/۰۵ کیلوگرم در هکتار) و ۱۶ تیر (۷۲۴/۴۲ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد که مقدار آن در مقایسه با بیشینه‌ی عملکرد زیست‌توده ارزن پیشاهنگ (۱۴ خرداد) ۱۲/۵۴ درصد بیشتر بود (جدول ۴). از طرفی، واکنش هر دو رقم مورد مطالعه نسبت به تغییر تاریخ کاشت از ۱۶ تیر به ۱۴ مرداد منفی و کاهشی بود و عملکرد زیست‌توده آن‌ها به ترتیب در ارزن مهران و پیشاهنگ به ۴۴۰۳/۱۳ و

کشت های تاخیری (به ویژه در تاریخ کاشت ۱۵ شهریور) در نظر گرفته شد (Error! Reference source not found). زیرا ارزن ها نسبت به غرقاب حساس هستند (۴۳) و در صورت بروز شرایط غرقاب، استقرار آن ها با مشکل مواجه خواهد شد (۲۵) که این امر کاهش رشد گیاه و در نهایت کاهش تولید زیست توده را به دنبال خواهد داشت. شبیه این یافته ها در پژوهش پال و همکاران (۲۰۰۳) روی ارزن مرواریدی دیده شده است (۴۰).

کاهش طول روز و تاثیر منفی آن بر طول دوره رشد گیاه نیز به عنوان یکی دیگر از دلایل کاهش عملکرد زیست توده ارزن ها در کشت های تاخیری به شمار می آید. زیرا با کوتاه شدن طول دوره رشد ارزن ها، در کنار کاهش ویژگی های مرتبط با رشد رویشی، مدت زمان دریافت تابش خورشیدی و تبدیل آن به ماده خشک نیز کاهش می یابد. بایدینگر و هاش (۲۰۰۴) در گزارشی اعلام کردند که مدت زمان دریافت تابش خورشیدی تا حدی زیادی به طول دوره رشد گیاه پیش از مرحله گل دهی وابسته است و با کاهش مقدار آن، دریافت تابش خورشیدی و تبدیل آن به ماده خشک نیز کاهش می یابد (۴۴).

عملکرد دانه: نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت و همچنین برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد دانه معنی دار بوده است. مقایسه تغییرات میانگین عملکرد دانه (شکل ۳) نشان داد که تاخیر کشت در هر دو رژیم آبی فاریاب و دیم از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، باعث کاهش میانگین عملکرد دانه شده و روند کاهشی داشته و از مقدار آن به ترتیب در شرایط فاریاب و دیم ۹۱/۳۱ و ۹۰/۲۷ درصد کاسته شده است.

نتایج مقایسه میانگین داده های برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت (جدول ۳) نشان داد که در تاریخ

۲۱۷۴/۵۵ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۴). این واکنش منفی در تاریخ کاشت ۱۵ شهریور با شدت بیشتری دیده شد به گونه ای که عملکرد زیست توده ارزن مهران و پیشاهنگ به ترتیب ۸۹/۶۴ و ۹۴/۵۱ درصد کاهش یافته و مقدار آن به ۹۳۳/۴۹ و ۳۴۸/۲۹ کیلوگرم در هکتار رسید (جدول ۴).

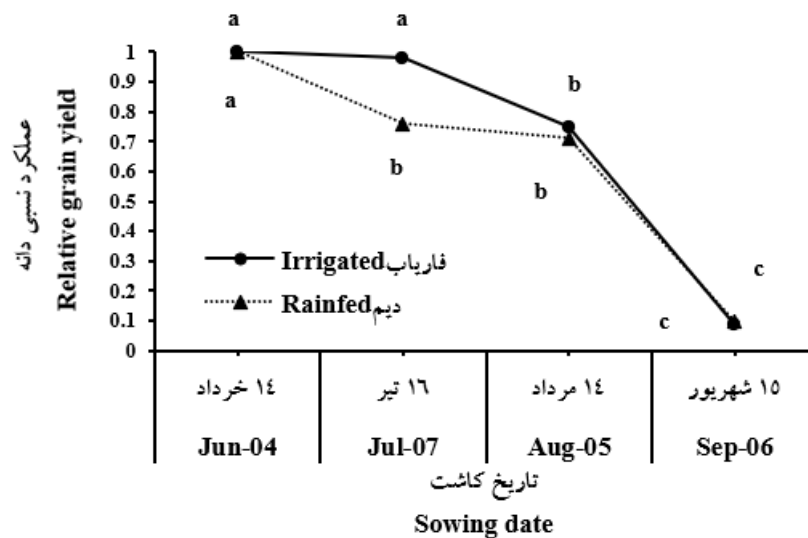
کاهش عملکرد زیست توده ارزن ها در کشت های تاخیری می تواند به نامناسب بودن پارامترهای هواشناسی موثر بر رشد و نمو مانند دما، تابش خورشیدی، و بارش مرتبط باشد (۳۹). Error! Reference source not found. b نشان می دهد که با تاخیر در کاشت به ۱۵ شهریور از میانگین دمای هوا (با تاخیر در کاشت از تاریخ ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، میانگین بیشینه و کمینه دمای هوا به ترتیب از ۳۰/۲۴ و ۲۱/۴۶ به ۲۴/۰۷ و ۱۶/۹۸ درجه سلسیوس کاهش یافت) کاسته شده است. این کاهش دما با تاثیر منفی بر ویژگی های رویشی ارزن ها و زایشی از مقدار عملکرد زیست توده می کاهد. یافته های جداها و همکاران (۱۹۹۴) و پال و همکاران (۲۰۰۳) روی گیاه ارزن مرواریدی بیانگر این موضوع است (۲۳ و ۴۰).

همان گونه که در شکل a۱ مشاهده می شود، تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و ساعت آفتابی نیز در کنار دما در کشت های تاخیری به صورت چشمگیری کاهش یافته است. با توجه به این که تابش خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی در رشد گیاه زراعی به شمار می رود و بر فرآیندهای مرتبط با انباشت، توزیع و انتقال مواد فتوسنتزی موثر است، بنابراین، کاهش مقدار آن می تواند از عملکرد زیست توده بکاهد (۴۱). این موضوع در گزارش مانیت (۱۹۹۷) به خوبی اثبات شده است (۴۲).

وقوع بارش های سنگین (به ویژه در ابتدای فصل رشد) و بروز شرایط غرقاب در مزرعه یکی دیگر از دلایل کاهش عملکرد زیست توده ارزن ها در

عملکردهای دانه مشابه بوده است (جدول ۳). با این حال، بر خلاف سه تاریخ کاشت اشاره شده، در تاریخ کاشت ۱۶ تیر، واکنش متفاوتی دیده شد (جدول ۳). بدین گونه که میانگین عملکرد دانه در کشت فاریاب ۱۲۷۸/۳۵ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با کشت دیم ۲۷/۱۸ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

کاشت ۱۴ خرداد، میانگین عملکرد دانه در کشت آبی (۱۳۰۴/۴۶ کیلوگرم در هکتار) و دیم (۱۲۲۶/۹۶ کیلوگرم در هکتار) یکسان بوده است. به همین ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۴ مرداد (به ترتیب در رژیم فاریاب و دیم ۹۷۸/۰۶ و ۸۷۳/۶ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵ شهریور (به ترتیب در رژیم فاریاب و دیم ۱۱۳/۲۵ و ۱۱۹/۳۵ کیلوگرم در هکتار) میانگین



شکل ۳- تغییر عملکرد نسبی دانه در دو شرایط کشت فاریاب و دیم در تاریخ‌های کاشت مختلف.

Figure 3. Variation in relative grain yield under irrigated and rainfed conditions in response to different sowing dates.

بارش‌ها را در تاریخ ۱۶ تیر نشان می‌دهد که پیامد آن عدم تامین رطوبت در مرحله تشکیل و پر شدن دانه و در نتیجه تاثیر منفی آن بر عملکرد دانه در شرایط دیم بوده است. یافته مشابهی در پژوهش ماس و همکاران (۲۰۰۷) روی ارزن مرواریدی به دست آمده است (۲۶).

پاتیل (۲۰۱۶) معتقد است که در صورت کمبود رطوبت و بروز تنش خشکی پس از مرحله گل‌دهی، عملکرد دانه ارقام مختلف ارزن از ۴۵ تا ۴۹ درصد کاهش خواهد یافت (۴۵). با توجه به این موضوع، می‌توان کاهش بارش‌ها پس از مرحله گل‌دهی (شکل b) را نیز به عنوان یکی دیگر از دلایل کاهش

از آنجا که عملکرد دانه در کشت دیم تا حد زیادی به مقدار آب خاک، به ویژه در پیش از مرحله گل‌دهی وابسته است، بنابراین، وقوع بارش‌های مناسب در این بازه زمانی می‌تواند نقش مثبتی در مقدار عملکرد تولید شده داشته باشد (۲۰) که این امر با انتخاب درست تاریخ کاشت تحقق خواهد یافت. با توجه به شکل b، مجموع بارش‌های پیش از مرحله گل‌دهی ارزن مهران، به ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور برابر ۱۷۱/۸۱، ۹۹/۳۹، ۲۷۲/۱۱ و ۲۷۵/۹۲ میلی‌متر و در ارزن پیشاهنگ به ترتیب ۱۴۸/۵، ۳۷/۳۹، ۲۱۰/۵۶ و ۱۶۱/۴۸ میلی‌متر بود. این داده‌ها کاهش چشمگیر

عملکرد دانه در شرایط دیم (تاریخ کاشت ۱۶ تیر) به شمار آورد. یافته های کریشنا و همکاران (۲۰۲۱) روی گیاه ارزن انگشتی نیز بیانگر این نتیجه است. این پژوهشگران اعلام کردند که در صورت وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه از عملکرد دانه ارزن انگشتی ۳۶/۶ درصد کاسته خواهد شد (۴۶). پراساد و همکاران (۲۰۲۰) و مامان و همکاران (۲۰۰۳) نیز به حساسیت بالای ارزن مرواریدی به خشکی از مرحله گل دهی تا پر شدن دانه اشاره داشته اند (۱۶ و ۴۷). یادوا و رای (۲۰۱۳) معتقدند که وقوع تنش خشکی پس از مرحله گل دهی با تاثیر منفی بر سه مولفه ی تعداد خوشه، تعداد دانه و وزن دانه از عملکرد دانه ارزن مرواریدی می کاهد (۴۸). در پژوهش دیگری نیز اعلام شده که بروز تنش خشکی در مرحله گل دهی سورگوم، به واسطه کاهش تعداد دانه در خوشه سبب کاهش عملکرد دانه می شود (۴۹).

نتایج مقایسه میانگین داده های برهمکنش تاریخ کاشت و رقم (جدول ۴) نشان داد که میانگین بیشینه عملکرد دانه ارزن مهران در مقایسه با ارزن پیشاهنگ به صورت چشمگیری بالاتر است. بیشترین عملکرد دانه ارزن مهران با میانگین ۱۳۶۵/۷۶ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد به دست آمد که مقدار آن با عملکرد دانه ثبت شده در تاریخ کاشت ۱۶ تیر تفاوت معنی دار نداشت (۱۲۹۰/۹۱ کیلوگرم در هکتار). در ارزن پیشاهنگ بیشترین عملکرد دانه ۱۱۶۵/۶۶ کیلوگرم در هکتار و در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد به دست آمد که مقدار آن در مقایسه با بیشینه عملکرد دانه ارزن مهران، ۱۴/۶۵ درصد کمتر بود. از طرفی در هر دو رقم مورد مطالعه با تاخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور از مقدار عملکرد دانه کاسته شد (به ترتیب در ارزن مهران و پیشاهنگ ۹۰/۹۶ و ۹۰/۶۲ درصد) (جدول ۴).

از دلایل کاهش از آنجا که عملکرد دانه ارزن ها تابعی از تعداد دانه و وزن دانه است (۴۸ و ۵۰)،

بنابراین، افزایش یا کاهش هر کدام از آن ها می تواند اثر مثبت یا منفی بر عملکرد دانه داشته باشد. بر همین اساس، واکنش مثبت عملکرد دانه ارزن ها نسبت به کشت های زودهنگام را می توان به افزایش تعداد دانه ($r=0/88^{**}$ $n=16$) و وزن دانه ($r=0/77^{**}$ $n=16$) نسبت داد که این موضوع می تواند ناشی از هماهنگی و توازن مناسب میان مواد پرورده و تعداد دانه تولیدی در این تاریخ باشد (۲۹).

عملکرد دانه ارزن ها در کشت های تاخیری می توان به کاهش دوره نوری (۵۱)، کاهش دما، کاهش تابش خورشیدی، کاهش ساعت آفتابی (۳۹)، بارندگی های شدید (۲۱) و کاهش طول دوره رشد گیاه (۵۲) اشاره کرد که به معنی شرایط محیطی نامناسب برای رشد و نمو ارزن ها و در نتیجه تاثیر منفی بر عملکرد دانه است.

در همین راستا سیرکانیا و همکاران (۲۰۲۰) کاهش عملکرد دانه ارزن دم روباهی را در کشت های تاخیری به بارندگی های شدید، دمای پایین و رطوبت نسبی بالا (در مرحله گل دهی تا رسیدگی فیزیولوژیک) نسبت دادند و اعلام کردند که این شرایط موجب افزایش بیماری، ریزش گل آذین و دانه بندی ضعیف خواهد شد و به دنبال آن عملکرد دانه نیز کاهش خواهد یافت (۲۱). در پژوهش دیگری اعلام شد که در صورت کاشت ارزن مرواریدی در ماه اردیبهشت (می)، عملکرد دانه آن به دلیل رشد رویشی مناسب تر و نیز برقراری شرایط محیطی مطلوب تر (در طول دوره پر شدن دانه)، افزایش قابل توجهی نشان خواهد داد (۵۳). مانیت (۱۹۷۷) نیز در گزارشی بیان کرد در صورت تقارن دوره رشد گیاه با دماهای پایین، به دلیل کاهش سرعت تولید مواد پرورده، عملکرد دانه هم کاهش خواهد یافت (۴۲). تسیمبا و همکاران (۲۰۱۳) کاهش عملکرد دانه ذرت را در کشت های تاخیری به هم زمانی دوره پر شدن دانه با دماهای کم و تابش خورشیدی اندک مرتبط

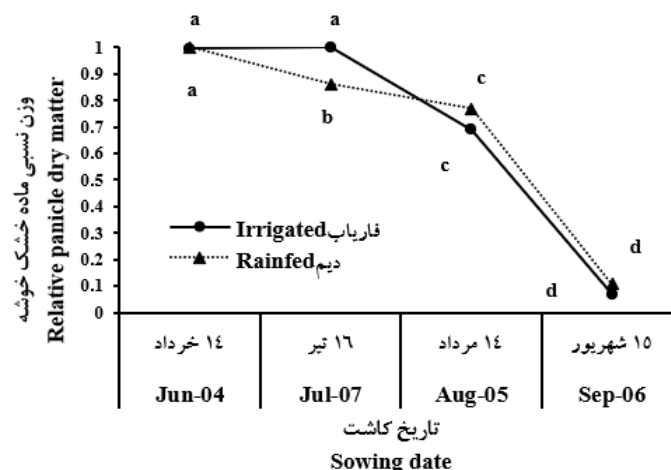
دانستند (۲۹). ارتباط مثبت عملکرد دانه ارزش مرواریدی و افزایش دما تا ۳۰,۵ درجه سلسیوس در آزمایش اوپال و همکاران (۲۰۱۵) مورد اشاره قرار گرفته است (۱۷).

تعداد خوشه در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش تاریخ کاشت و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری روی تعداد خوشه در هر بوته داشته است. مقایسه میانگین داده‌های این برهمکنش (جدول ۴) نشان داد که در ارزش مهران، بیشترین تعداد خوشه با میانگین ۴,۷۹ عدد در بوته در تاریخ کاشت ۱۶ تیر به دست آمده که مقدار آن در مقایسه با تاریخ کاشت ۱۴ خرداد ۳۰,۴۸ درصد کمتر بوده است. با این حال، تاخیر در کاشت از ۱۶ تیر به ۱۵ شهریور سبب کاهش خطی تعداد خوشه در بوته شده است به طوری که کمترین تعداد خوشه (۱ عدد در بوته) در چهارمین تاریخ کاشت (۱۵ شهریور) به ثبت رسید (جدول ۴).

در ارزش پیشاهنگ، بیشترین تعداد خوشه با میانگین ۱۰,۲ عدد در بوته در تاریخ کاشت ۱۴ مرداد به دست آمد که مقدار آن در مقایسه با بیشینه تعداد خوشه در رقم مهران ۵۳/۰۳ درصد بیشتر بود.

کمترین تعداد خوشه نیز در این رقم با میانگین ۴/۹۵ عدد در تاریخ کاشت ۱۵ شهریور ثبت شد (جدول ۴). سربکانیا و همکاران (۲۰۲۰) در گزارشی اعلام کردند که با کاشت ارزش دم روباهی در ۸ شهریور ۳۰ آگوست) تعداد خوشه این گیاه به ۹۵/۳ عدد در متر مربع افزایش خواهد یافت. آن‌ها این افزایش را به توزیع مناسب بارندگی و ساعات آفتابی بیشتر در این تاریخ نسبت دادند (۲۱).

وزن ماده خشک خوشه در بوته: ماده خشک خوشه بوته به عنوان مولفه‌ی مهمی در بهبود عملکرد دانه ارزش‌ها به شمار می‌آید (۵۴) یافته‌های این پژوهش نشان داد که برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم آبی و همچنین، برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر وزن ماده خشک خوشه بوته‌ها در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی‌دار داشته است (جدول ۲). مقایسه تغییرات میانگین وزن ماده خشک خوشه در بوته (شکل ۴) نشان داد که تاخیر در کشت در هر دو رژیم آبی فاریاب و دیم از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، باعث کاهش میانگین وزن خشک خوشه بوته‌ها شده و از مقدار آنها به ترتیب در شرایط فاریاب و دیم ۹۳/۱ و ۸۹/۱۸ درصد کاسته شده است.



شکل ۴- تغییر وزن نسبی ماده خشک خوشه در دو شرایط فاریاب و دیم در تاریخ های کاشت مختلف.

Figure 4. Variation in relative panicle dry matter under irrigated and rainfed conditions in response to different sowing dates.

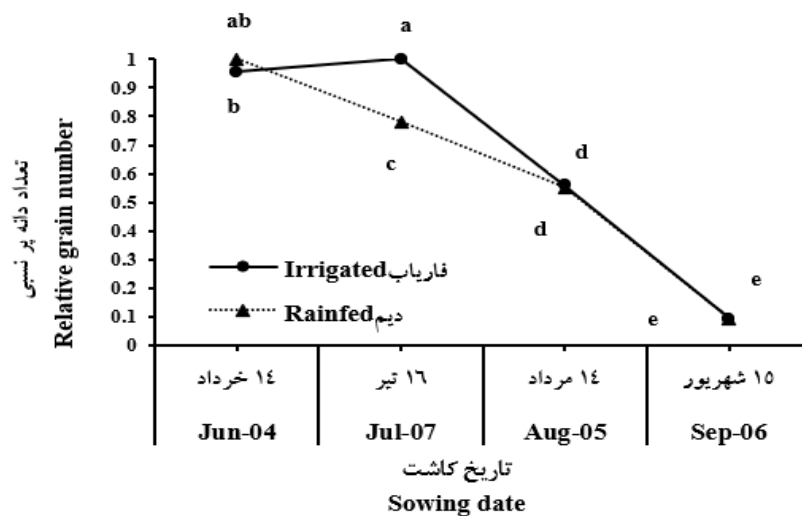
ماده خشک خوشه در گیاه سایر ارزن ها از جمله ارزن دمروباهی هم مورد اشاره قرار گرفته است (۵۲).

تعداد دانه پر در بوته: ارزن ها توانایی زیادی در تولید دانه دارند. هر خوشه ارزن بسته به شرایط بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ دانه دارد (۴۴). یافته های این پژوهش نشان داد که برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت و همچنین، برهمکنش تاریخ کاشت و رقم اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه پر در خوشه داشته است (جدول ۲). مقایسه تغییرات نسبی میانگین تعداد دانه پر در بوته با تاریخ کاشت (شکل ۵) نشان داد که در هر دو رژیم دیم و فاریاب، تاخیر در کشت گیاهان از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، باعث کاهش میانگین تعداد دانه پر در بوته شده و روند کاهشی داشته و از مقدار آن به ترتیب در شرایط فاریاب و دیم ۹۰/۱۵ و ۹۰/۷۹ درصد کاسته شده است. نتایج مقایسه میانگین داده های برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت (جدول ۳) نشان داد که واکنش ارزن ها در سه تاریخ کاشت ۱۴ خرداد (به ترتیب در کشت فاریاب و دیم ۱۷۶۷/۹۱ و ۱۷۱۴/۹۵ عدد در بوته)، ۱۴ مرداد (به ترتیب در کشت فاریاب و دیم ۱۰۳۷/۵۵ و ۹۴۶/۵۵ عدد در بوته) و ۱۵ شهریور (به ترتیب در کشت فاریاب و دیم ۱۷۴/۱۲ و ۱۵۷/۷۹ عدد در بوته) نسبت به کشت فاریاب و دیم مشابه به دست آمد. با این حال، در تاریخ کاشت ۱۶ تیر نتیجه متفاوت بود. بدین صورت که در این تاریخ کاشت و در شرایط دیم، میانگین تعداد دانه پر در بوته ۱۳۳۸/۶۶ عدد به ثبت رسید که مقدار آن در مقایسه با شرایط فاریاب ۲۷/۶۸ درصد کمتر بود (جدول ۳). پاسخ مناسب ارزن ها به کشت دیم (در تاریخ های کاشت ۱۴ خرداد، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور) می تواند ناشی از توزیع مناسب بارندگی در دوره ظهور خوشه تا گل دهی باشد.

با توجه به یافته های این آزمایش (جدول ۳)، در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد، میانگین وزن ماده خشک خوشه ها به ترتیب در کشت آبی و دیم ۱۳/۸۶ و ۱۲/۹۴ گرم در بوته به دست آمد که تفاوت معنی داری با هم نداشتند. چنین واکنشی در دو تاریخ کاشت ۱۴ مرداد (به ترتیب در کشت آبی و دیم ۹/۶۲ و ۹/۹۴ گرم در بوته) و ۱۵ شهریور (به ترتیب در کشت آبی و دیم ۰/۹۶ و ۱/۴ گرم در بوته) نیز مشاهده شد (جدول ۳). با این حال در تاریخ کاشت ۱۶ تیر واکنش ارزن ها نسبت به دو رژیم آبی مورد مطالعه متفاوت بود. در این تاریخ و در کشت آبی، میانگین وزن ماده خشک خوشه بوته ۱۳/۹۳ گرم در بوته به دست آمد که مقدار آن در مقایسه با شرایط دیم ۱۹/۸۸ درصد بیشتر بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و رقم (جدول ۴) نشان داد که ارزن مهران در مقایسه با ارزن پیشاهنگ از توانایی بیشتری در تولید ماده خشک خوشه برخوردار است. به عبارت دیگر، بیشترین وزن ماده خشک خوشه با میانگین ۱۵/۴۱ گرم در بوته با کاشت ارزن مهران در تاریخ ۴ خرداد به دست آمد که از نظر آماری با تاریخ کاشت ۱۶ تیر (۱۵/۱۴ گرم در بوته) تفاوت معنی داری نداشت و مقدار آن در مقایسه با بیشینه ماده خشک خوشه ارزن پیشاهنگ (۱۱/۴ گرم در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد) حدود ۲۶ درصد بیشتر بود.

با توجه به نقش برگ ها در تامین مواد فتوسنتزی منتقل شده به بخش های زایشی (۵۱ و ۵۵) و بر مبنای همبستگی مثبت و معنی دار وزن ماده خشک خوشه با سطح برگ ($r=0.86^{**}$ $n=16$) و تعداد برگ (۱۶ $r=0.58^{**}$ $n=$) می توان افزایش ماده خشک خوشه ارزن مهران را به این دو ویژگی رشدی نسبت داد. این موضوع، یعنی تاثیر مثبت تعداد و سطح برگ بر وزن



شکل ۵- تغییر تعداد دانه بر نسبی در دو شرایط کشت فاریاب و دیم در تاریخ های کاشت مختلف.

Figure 5. Variation in relative grain number under irrigated and rainfed conditions in response to different sowing dates.

برخوردار است. از طرفی، واکنش هر دو رقم نسبت به تاخیر در کاشت به ۱۵ شهریور منفی و کاهش بود به طوری که از میانگین تعداد دانه پر در بوته آنها با تاخیر در کاشت به طور قابل توجهی کاسته (به ترتیب در ارزن مهران و پیشاهنگ ۹۵/۹ و ۸۱/۵۹ درصد) و تعداد آن به ترتیب در ارزن مهران و پیشاهنگ به ۹۲/۰۸ و ۲۳۹/۸۳ عدد در بوته رسید (جدول ۴).

از آنجا که در گیاه ارزن تعداد دانه در دوره کوتاهی پیرامون مرحله گرده افشانی تعیین می شود (۵۷)، بنابراین شرایط محیطی حاکم بر این دوره نقش موثری بر تعداد دانه تشکیل شده خواهد داشت. بر این اساس و با توجه به Error! Reference source not found. یکی از دلایل کاهش تعداد دانه پر در کشت های تاخیری را می توان به وقوع بارندگی در دوره گل شکفتگی نسبت داد که موجب شستن دانه گرده و دانه بندی ضعیف آنها (۵۸) شده است. بایدینگر و هاش (۲۰۰۴) و اوپال و همکاران (۲۰۱۵) هم در آزمایش های خود گزارش کرده اند که در صورت تقارن مرحله گل شکفتگی ارزن مرواریدی با بارش های سنگین، خسارت وارد شده به کلاله افزایش

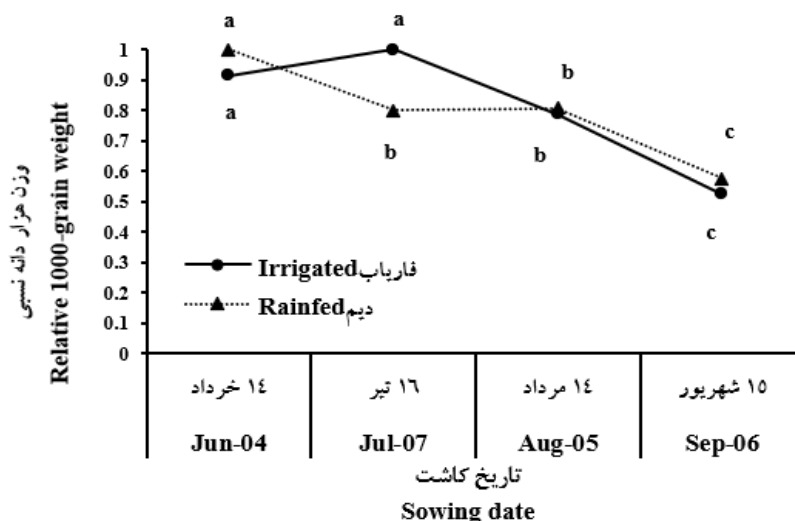
از دلایل کاهش تعداد دانه پر در شرایط دیم می توان به تاثیر منفی کمبود آب بر گسترش سایه انداز اشاره کرد (۲۲) که پیامد آن تولید کمتر مواد پرورده و انتقال آن به دانه ها است. در کنار این موضوع می توان به تاثیر منفی کم آبی بر مرحله گرده افشانی و سقط تعدادی از گل ها نیز اشاره کرد (۲۴). تاثیر منفی تنش خشکی بر تعداد دانه از راه کاهش تعداد سلول های آندوسپرم دانه گندم در مطالعه شاه و پائوسن (۲۰۰۳) دیده شده است (۵۶).

نتایج مقایسه میانگین اثر برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر تعداد دانه پر در بوته (جدول ۴) نشان داد که در رقم مهران، بیشترین تعداد دانه پر در بوته با میانگین ۲۲۵۰/۸۷ عدد در تاریخ کاشت ۱۶ تیر به دست آمده که تفاوت معنی دار با تعداد دانه ثبت شده در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد نداشته است. در ارزن پیشاهنگ، بیشترین تعداد دانه پر در بوته با میانگین ۱۳۰۳/۰۸ عدد در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد به دست آمد که مقدار آن در مقایسه با تعداد دانه رقم مهران ۴۲/۱ درصد کمتر بود. این موضوع نشان می دهد که ارزن مرواریدی از توانایی بالاتری در تولید دانه

احتمال یک درصد تاثیر معنی داری بر وزن هزار دانه داشته است. مقایسه تغییرات نسبی میانگین وزن هزار دانه (شکل ۶) نشان داد که در هر دو کشت آبی و دیم، تاخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور، باعث کاهش میانگین وزن هزار دانه شده و از مقدار آن به ترتیب در کشت آبی و دیم $42/43$ و $42/36$ درصد کاسته شده است. کاهش وزن هزار دانه در کشت های تاخیری می تواند به کاهش دما و تاثیر منفی آن بر سرعت تولید مواد پرورده مربوط باشد.

یافته و کاهش تعداد دانه را به دنبال می آورد (۴۴) و (۱۷). در کنار این موارد، کاهش سرعت رشد گیاه و نیز کاهش تابش خورشیدی (در مرحله گل دهی) هم از دلایل کاهش تعداد دانه پر به شمار می آید (۴۴). این موضوع در یافته های تسیمبا و همکاران (۲۰۱۳) روی گیاه ذرت نیز دیده شده است (۲۹).

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) نشان داد که برهمکنش رژیم آبی و تاریخ کاشت و همچنین، برهمکنش تاریخ کاشت و رقم در سطح



شکل ۶- تغییر وزن هزار دانه نسبی در دو شرایط کشت فاریاب و دیم در تاریخ های کاشت مختلف.

Figure 6. Variation in relative 1000-grain weight under irrigated and rainfed conditions in response to different sowing dates.

کشت آبی $5/32$ گرم بود که در مقایسه با شرایط دیم $24/77$ درصد بیشتر بود (جدول ۳). این تفاوت را می توان به خشکی شدیدتر در مرحله رویشی و زایشی کشت دیم مرتبط دانست. گویه و همکاران (۲۰۱۵) هم در گزارشی اعلام کردند که تقارن مرحله پرشدن دانه با وقوع تنش خشکی، سبب کاهش وزن هزار دانه ارزن فانیو شده است (۲۲).

مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و رقم بر وزن هزار دانه (جدول ۴) نشان داد که رقم مهران در مقایسه با رقم پیشاهنگ وزن هزار دانه بیشتری دارد

مقایسه میانگین داده های اثر برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم آبی بر وزن هزار دانه (جدول ۳) نشان داد که در تاریخ کاشت ۱۴ خرداد، میانگین وزن هزار دانه به دست آمده در کشت آبی ($5/09$ گرم) و دیم ($5/24$ گرم) مشابه بوده است. چنین شباهتی در وزن خشک هزار دانه به دست آمده از تاریخ کاشت های ۱۴ مرداد ($4/39$ و $4/23$ گرم به ترتیب در کشت آبی و دیم) و ۱۵ شهریور ($2/93$ و $3/02$ گرم به ترتیب در کشت آبی و دیم) هم دیده شد. با این حال، در تاریخ کاشت ۱۶ تیر، میانگین وزن هزار دانه در

(بیشینه وزن هزار دانه به ترتیب در رقم مهران و پیشاهنگ ۵/۵ و ۴/۸۳ گرم بوده است). از آنجا که رشد دانه از ظرفیت منابع فتوسنتزی و انتقال مواد پرورده به آن تاثیر می‌پذیرد (۴۴ و ۵۷)، بنابراین، با افزایش ظرفیت منابع فتوسنتزی، مواد غذایی بیشتری به دانه‌ها منتقل خواهد شد (۵۱) که پیامد آن افزایش وزن هزار دانه خواهد بود (۵۹). با توجه به این موضوع، برتری رقم مهران از نظر وزن هزار دانه بیشتر را می‌توان به ویژگی‌های رشدی برتر این رقم مانند شاخص سطح برگ بیشتر مرتبط دانست (۱۶) $n=0.74^{**}$ (۲۰۱۵). یافته‌های گویه و همکاران (۲۰۱۵) نیز با نتایج این پژوهش همراستا است (۲۲).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش واکنش دو رقم ارزن مهران و پیشاهنگ در دو کشت آبی و دیم و در چهار تاریخ کاشت بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که با تاخیر در کاشت از ۱۴ خرداد به ۱۵ شهریور از میانگین عملکرد دانه و زیست‌توده ارزن‌ها کاسته شده‌است. هر چند که شدت واکنش دو رقم در تاریخ‌های کشت متفاوت بود.

در هر چهار تاریخ کاشت مورد مطالعه، میانگین عملکرد زیست توده ارزن مهران در مقایسه با ارزن پیشاهنگ بیشتر به دست آمد (به ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد، ۱۶ تیر، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور ۱۲/۵۴، ۵۲/۰۶، ۵۰/۶۱ و ۶۲/۶۸ درصد) که نشان می‌دهد این گیاه از توانایی بالاتری در تولید زیست‌توده برخوردار است. همچنین یافته‌ها نشان داد که در تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد و ۱۶ تیر میانگین عملکرد دانه ارزن مهران به صورت چشمگیری بیشتر

از ارزن پیشاهنگ بود (به ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد و ۱۶ تیر ۱۴/۶۵ و ۲۸/۸۶ درصد). با این حال عملکرد دانه هر دو رقم در تاریخ‌های کاشت ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور مشابه به دست آمد.

در این پژوهش واکنش ارزن‌های مهران و پیشاهنگ نسبت به کشت آبی و دیم مشابه بود. با این حال، نتایج به دست آمده از کشت آبی و دیم در تاریخ‌های کاشت مختلف متفاوت بود. به این معنی که، در تاریخ‌های کاشت ۱۴ خرداد، ۱۴ مرداد و ۱۵ شهریور به دلیل وقوع بارش‌های مناسب، میانگین عملکرد دانه و زیست توده در کشت آبی و دیم مشابه بود. اما بر خلاف سه تاریخ اشاره شده، در تاریخ کاشت ۱۶ تیر، به دلیل بالا بودن و نیز کاهش چشمگیر بارش‌ها در طول فصل رشد از میانگین عملکرد دانه و زیست‌توده‌ی ارزن‌های دیم در مقایسه با ارزن‌های آبی به صورت معنی‌داری کاسته شد.

به طور کلی، یافته‌های این پژوهش نشان داد که شهر رشت به دلیل برخورداری از بارش‌های مناسب، پتانسیل زیادی برای تولید ارزن دیم دارد و در صورت کاشت ارزن‌ها در تاریخ ۱۴ خرداد می‌توان همانند کشت آبی به بیشترین عملکرد دانه و علوفه در کشت دیم نیز دست یافت. از میان دو رقم مورد بررسی، ارزن مهران پتانسیل تولید بیشتری داشته و از منابع محیطی بهینه‌تر استفاده کرد. به بیان دیگر، با کاشت دیم این گیاه در تاریخ ۱۴ خرداد، در کنار صرفه‌جویی در مصرف آب می‌توان بیش از ۷۰۰۰ کیلوگرم در هکتار علوفه خشک و ۱۳۰۰ کیلوگرم دانه در هکتار برداشت کرد.

References

1. Wang, X., Du, R., Cai, H., Lin, B., Dietrich, JP., Stevanović, M., Lotze-Campen, H., & Popp, A. (2024). Assessing the impacts of technological change on food security and climate

- change mitigation in China's agriculture and land-use sectors. *Environmental Impact Assessment Review*, 107, 1-9.
2. Singh, MK., Kumar, V., & Prasad, S. (2017). Evaluation of finger millet varieties under rainfed region of Eastern India. *Journal of AgriSearch*, 4(3),179-83.
3. Ragab, R., & Prudhomme, C. (2002). SW—soil and water :Climate change and water resources management in arid and semi-arid regions: prospective and challenges for the 21st century. *Biosystems Engineering*, 81(1), 3-34
4. Kouchaki, A.R., & Nasiri, M.M. (2008). Impacts of climate change and CO2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6(1),139-53. [in Persian].
5. Sobhani, B., & Safarianzengir, V. (2024). Obviousization and estimation of climate change in the coming years of Iran. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(4),7243-63. [in Persian].
6. Habiyaemye, C., Barth, V., Highet, K., Coffey, T., & Murphy, K.M. (2017). Phenotypic responses of twenty diverse proso millet (*Panicum miliaceum* L.) accessions to irrigation. *Sustainability*, 9(3),1-14.
7. Omoregie, A.U., Nwajei, S.E., & Iredia, B.E. (2020). Effects of planting density on the growth and forage yield of two varieties of millet (*Pennisetum typhoides* Burm. F.) grown in Ekpoma, Nigeria. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 8(2),118-28.
8. Wilson, J. (1983). Effects of water stress on in vitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34, 377-90
9. Habiyaemye, C., Matanguihan, J.B., D'Alpoim Guedes, J., Ganjyal, G.M., Whiteman, M.R., Kidwell, K.K., & Murphy, K.M. (2017). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and its potential for cultivation in the Pacific Northwest, US: A review. *Frontiers in Plant Science*, 7,1-17
10. Serba, D.D., Perumal, R., Tesso, T.T., & Min, D. (2017). Status of global pearl millet breeding programs and the way forward. *Crop Science*, 57(6), 2891-905.
11. Shantz, H.L., & Piemeisel, L.N. (1927). The water requirement of plants at Akron, Colo. *Journal of Agricultural Research*, 34,1093-190.
12. Farooq, M., & Siddique, K.H. (2023). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.). In: Rajasekaran R., Francis N., Mani V & Ganesan J. *Neglected and Underutilized Crops: Future Smart Food*. 1 ed: Elsevier; 247-78.
13. Ventura, F., Poggi, G.M., Vignudelli, M., Bosi, S., Negri, L., Fakaros, A., & Dinelli, G. (2022). An assessment of proso millet as an alternative summer cereal crop in the mediterranean basin. *Agronomy*, 12(3),1-18.
14. Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F., & Kholova, J. (2012). Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Frontiers in Physiology*, 3, 1-11.
15. Ullah, A., Ahmad, A., Khaliq, T., & Akhtar, J. (2017). Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(4), 762-773.
16. Prasad, P., Djanaguiraman, M., Stewart, Z., & Ciampitti, I. (2020). Agroclimatology of maize, sorghum, and pearl millet. In: Hatfield JL, Sivakumar MVK & Prueger JH. *Agroclimatology: Linking Agriculture toClimate*, 60, 201-41.
17. Uppal, RK., Wani, S.P., Garg, K.K., & Alagaraswamy, G. (2015). Balanced nutrition increases yield of pearl millet under drought. *Field Crops Research*, 177, 86-97
18. Joshi, N. (1988). Millet yield under natural drought conditions on arid loamy sand soil: Cultivar differences. Effect of planting dates, and relative energy yield equivalencies. *Arid Land Research and Management*, 2(3), 203-16.
19. Reddy, B.S., Reddy, B.R., Kumari, C.R., Sankar, G.M., Reddy, Y.A., & Reddy, A.M. (2019). Effect of date of sowing and rainfall on sustainability of yield and rainwater use efficiency in cereal crops under arid alfisols. *Journal of Agrometeorology*, 21(2), 203-9.

20. Lu, H-d., Xue, J-q., & Guo, D-w. (2017). Efficacy of planting date adjustment as a cultivation strategy to cope with drought stress and increase rainfed maize yield and water-use efficiency. *Agricultural Water Management*, 179, 227-35.
21. Srikanya, B., Revathi, P., Reddy, M.M., & Chandrashaker, K. (2020). Effect of sowing dates on growth and yield of foxtail millet (*Setaria italica* L.) varieties. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(4), 3243-51.
22. Gueye, M., Kanfany, G., Fofana, A., Noba, K., & Grove, J. (2015). Effect of planting date on growth and grain yield of fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) in the Southeast of Senegal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 581-92 .
23. Jadhav, J., Mokashi, D., Shewale, M., Gaikwad, C., & Patil, J. (1994). Thermal requirement for pearl millet crop. *Annals of Arid Zone*, 33, 299-302 .
24. Dera, J., & Mativavarira, M. (2018). Effect of sowing date and variety on sorghum yield in different regions of Zimbabwe. *Journal of Advanced Plant Sciences*, 1(2), 1-6.
25. Nielsen, D.C., & Vigil, M.F. (2017). Water use and environmental parameters influence proso millet yield. *Field Crops Research*, 212, 34-44.
26. Maas, A., Hanna, W., & Mullinix, B. (2007). Planting date and row spacing affects grain yield and height of pearl millet Tifgrain 102 in the Southeastern coastal plain of the United States. *Journal of SAT Agricultural Research*, 5, 1-4.
27. Nielsen, D.C., Vigil, M.F., & Benjamin, J.G. (2009). The variable response of dryland corn yield to soil water content at planting. *Agricultural water management*, 96(2), 330-6.
28. Nelson, L., & Fenster, C. (1983). Seedbed preparation and planter comparisons for proso Millet following wheat *Agronomy Journal*, 75(1), 9-13.
29. Tsimba, R., Edmeades, G.O., Millner, J.P., & Kemp, P.D. (2013). The effect of planting date on maize grain yields and yield components. *Field Crops Research*, 150, 135-44
30. Agricultural Statistics. (2022). Ministry of agriculture, Center for information and communication technology, 60 p. [in Persian].
31. Mehrani, A., Mosavat, A., Shooshi, A.A., Abasi, M.R., Najafinezhad, H., Tabatabaei, A., & Ghasemi, A. (2013). Pishahang, A new common millet cultivar for short growing period areas of Iran. *Seed and Plant*, 4(1-29), 861-3 [in Persian].
32. Ataei, R., Mahrokh, A., & Razmi-Charmkhoran, M. (2021). Evaluation of pearl millet mini core collection for forage yield related traits. *Cereal Research*, 11(2), 163-74 [in Persian].
33. Ataei, R., Golzardi, F., & Razmi-Charmkhoran, M. (2021). Genetic analysis of forage yield and related traits in pearl millet. *Cereal Research*, 10(4), 351-62 [in Persian].
34. Rezaei, E.E., Gaiser, T., Siebert, S., & Ewert, F. (2015). Adaptation of crop production to climate change by crop substitution. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(7), 1155-74 [in Persian].
35. Lu, H., Qiao, Y., Gong, X., Li, H., Zhang, Q., Zhao, Z., & Meng, L. (2015). Influence of drought stress on the photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of hybrid millet. *Photosynthetica*, 53(2), 306-11.
36. Assefa, Y., Staggenborg, S.A., & Prasad, V.P. (2010). Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. *Crop Management*, 9(1), 1-11
37. Twidwell, E., Boe, A., & Kephart, K. (1992). Planting date effects on yield and quality of foxtail millet and three annual legumes. *Canadian Journal of Plant Science*, 72(3), 819-27
38. Uzoma, A., Eze, P., Alabi, M., Mgbonu, K., Aboje, J., & Osunde, A. (2010). The effect of variety and planting date on the growth and yield of pearl millet in the southern guinea savanna zone of Nigeria. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 2, 122-9
39. Zhang, W., Wang, B., Liu, B., Chen, Z., Lu, G., Bai, C., & Ge, Y. (2023). The effects of meteorological factors on grain yield of Foxtail Millet (*Setaria italica* Beauv.) under different water supply conditions. *Crops*, 3(1), 53-62 .
40. Pale, S., Mason, S.C., & Galusha, T.D. (2003). Planting time for early-season pearl millet and grain sorghum in Nebraska. *Agronomy Journal*, 95(4), 1047-53 .
41. Muchow, R.C., Sinclair, T.R., & Bennett, J.M. (1990). Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal*, 82(2), 338-43.

42. Monteith, J.L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences*, 281(980), 277-94
43. Zegada-Lizarazu, W., & Iijima, M. (2005). Deep root water uptake ability and water use efficiency of pearl millet in comparison to other millet species. *Plant Production Science*, 8(4), 454-60
44. Bidinger, F.R., & Hash, C.T. (2004). Physiology and biotechnology integration for plant breeding. In: Nguyen HT & Blum A. Pearl millet. 1 ed. New York: CRC Press; 700.
45. Patil, J.V. (2016). Millets and Sorghum: biology and genetic improvement. In: Reddy PS. Pearl Millet, *Pennisetum glaucum* (L) R Br: John Wiley & Sons; 49-86.
46. Krishna, S.S., Reddy, Y.N., & Kumar, R.R. (2021). Assessment of traits for grain yield under drought in finger millet. *Plant Physiology Reports*, 26, 84-94.
47. Maman, N., Lyon, D.J., Mason, S.C., Galusha, T.D., & Higgins, R. (2003). Pearl millet and grain sorghum yield response to water supply in Nebraska. *Agronomy Journal*, 95(6), 1618-24 .
48. Yadav, O., & Rai, K. (2013). Genetic improvement of pearl millet in India. *Agricultural Research*, 2, 275-92.
49. Abreha, KB., Enyew, M., Carlsson, A.S., Vetukuri, R.R., Feyissa, T., Motlhaodi, T., Ng'uni, D., & Geleta, M. (2022). Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress. *Planta*, 255, 1-23.
50. Maman, N., Mason, S.C., Lyon, D.J., & Dhungana, P. (2004). Yield components of pearl millet and grain sorghum across environments in the Central Great Plains. *Crop Science*, 44(6), 2138-45.
51. Gavitt, H., Rajemahadik, V., Bahure, G., Jadhav, M., Thorat, T., & Kasture, M., (2017). Effect of establishment techniques and sowing time on yield and yield attributes of proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1523-8 .
52. Nandini, K., & Sridhara, S. (2019). Performance of foxtail millet (*Setaria italica* L.) genotypes to sowing dates in Southern transition zone of Karnataka. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 2109-12.
53. Radhouane, L. (2008). Autochthonous pearl millet ecotype (*Pennisetum glaucum* LR BR.) response to different sowing dates in Tunisia. *Sjemenarstvo*, 25(2), 123-38 .
54. Zhang, W., Wang, B., Liu, B., Chen, Z., Lu, G., Ge, Y., & Bai, C. (2022). Trait selection for yield improvement in foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.) under climate change in the North China Plain. *Agronomy*, 12(7), 1-15 .
55. Nurmulliana, N., & Akib, M.A. (2019). Plant growth analysis of jack bean (*Canavalia ensiformis* L.) at different spacing to determine the application time of cutback technology. *Agrotech Journal*, 4(1), 1-7 .
56. Shah, N., & Paulsen, G. (2003). Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant and Soil*, 257, 219-26 .
57. Van Oosterom, E., Weltzien, E., Yadav, O., & Bidinger, F. (2006). Grain yield components of pearl millet under optimum conditions can be used to identify germplasm with adaptation to arid zones. *Field Crops Research*, 96(2-3), 407-21
58. Prasad, P., Djanaguiraman, M., Stewart, Z., & Ciampitti, I. (2020). Agroclimatology of maize, sorghum, and pearl millet. *Agroclimatology: Linking Agriculture to Climate*, 60, 201-41 .
59. Borrás, L., Slafer, G.A., & Otegui, M.E. (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research*, 86(2-3), 131-46 .

