University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

The Interaction of Planting Date and Irrigation Regime Effects on the Yield and Water Use Efficiency of Milk Thistle (*Silybum marianum*) Ecotypes

Shiba Samieadel [1]| Hamid Reza Eshghizadeh[2]✉ | Morteza Zahedi [3]|Mohammad Mahdi Majidi[4]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: shiba.samieadel@ag.iut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: hr.eshghizadeh@iut.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: mzahedi@iut.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. Email: majidi@iut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: July 3, 2023
Received in revised form: August 10, 2023
Accepted: August 23, 2023
Published online: March 20, 2024

Keywords:
Drought,
growth degree day,
medicinal plant,
milk thistle,
planting date.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the response of four ecotypes of milk thistle from Isfahan, Kohgiluyeh va Boyer Ahmad, Khuzestan-Omidiyeh, and Hungary to three irrigation regimes (irrigation after 40%, 60%, and 80% maximum allowable depletion of available soil water) evaluated in 2020-2021 under five different planting dates (September 27th, October 17th, November 6th, November 26th, and March 10th) at the research farm of Isfahan University of Technology in Iran. The experiment was conducted as a combined analysis of a split-plot based on randomized complete block design with three replications. The results showed that the highest and the lowest grain yield and shoot dry weight of milk thistle plants were obtained under the October 17th and March 10th planting dates, respectively. Water deficit at both levels decreased grain yield, shoot dry weight, number of flowers per plant, plant height, flowering degree-days, and physiological maturity degree-days, but increased grain and shoot water use efficiencies. The "Kohgiluyeh and Boyer Ahmad" ecotype exhibited the highest seed yield, shoot dry weight, seed/shoot water use efficiency, and harvest index, making it a promising candidate for breeding programs aimed at creating adaptive cultivars of the milk thistle plant. Based on the study's findings, it can be concluded that milk thistle should be planted in the fall season from late September to mid-November under similar climate conditions.

Cite this article: Samieadel, S., Eshghizadeh, H.R., Zahedi, M., & Majidi, M.M. (2024). The interaction of planting date and irrigation regime effects on the yield and water use efficiency of milk thistle (*Silybum marianum*) ecotypes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *55*(1), 105-121. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.361558.655015.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.361558.655015

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

برهمکنش پیامدهای تاریخ کاشت و شیوه آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در اکوتیپ‌های خارمریم (*Silybum marianum*)

شیبا سمیع‌عادل[۱]| حمیدرضا عشقی‌زاده✉[۲]| مرتضی زاهدی[۳]| محمدمهدی مجیدی[۴]

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: shiba.samieadel@ag.iut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: hr.eshghizadeh@iut.ac.ir
۳. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: mzahedi@iut.ac.ir
۴. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: majidi@iut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تاریخ کاشت،
خارمریم،
خشکی،
درجه روز رشد،
گیاه دارویی.

چکیده

در این مطالعه پاسخ چهار اکوتیپ گیاه خارمریم (اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان– امیدیه و مجارستان) به سه سطح ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک در پنج تاریخ کاشت شامل شش مهر، ۲۶ مهر، ۱۶ آبان، شش آذر و ۲۰ اسفند سال ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد؛ به‌طوری‌که ترکیب تاریخ کاشت و آبیاری به عنوان تیمارهای اصلی و رقم به عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی گیاه خارمریم به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۶ مهر و ۲۰ اسفند حاصل شد. تنش کم‌آبی در هر دو سطح خود باعث کاهش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، تعداد طبق در بوته، ارتفاع بوته، درجه‌روز رشد تا مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک ولی موجب افزایش کارآیی مصرف آب دانه و اندام هوایی شد. اکوتیپ "کهگیلویه و بویراحمد" بیشترین عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، کارآیی مصرف آب دانه، کارآیی مصرف آب اندام هوایی و شاخص برداشت را به خود اختصاص داد که می‌توان از این اکوتیپ، جهت برنامه‌های اصلاحی گیاه خارمریم و ایجاد ارقام سازگار این گیاه استفاده کرد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، گیاه خارمریم در شرایط آب‌وهوایی مشابه منطقه اصفهان باید در پاییز و در اواخر مهرماه تا اواسط آبان‌ماه کشت شود.

استناد: سمیع‌عادل، ش.، عشقی‌زاده، ح.ر.، زاهدی، م.، و مجیدی، م.م. (۱۴۰۳). برهمکنش پیامدهای تاریخ کاشت و شیوه آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در اکوتیپ‌های خارمریم (*Silybum marianum*). *علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۵*(۱)، ۱۰۵-۱۲۱. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.361558.655015

CC BY NC

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران. © نویسندگان

۱. مقدمه

تنش کمبود آب به عنوان اصلی‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان و ایران شناخته می‌شود (Nooripoor & Ehsanzadeh, 2012). بنابراین، کشورهایی نظیر ایران که در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار دارند و از کمبود آب رنج می‌برند می‌بایست راهبردهای خاصی را در جهت استفاده مطلوب از منابع آب به عمل آورند (Leakey *et al*., 2006). تنش کمبود آب بر رشد، متابولیسم و عملکرد گیاه تاثیر می‌گذارد و از طریق کاهش چشمگیر عملکرد می‌تواند خسارات جدی به تولید محصولات زراعی وارد کند (Wang *et al*., 2003). در این میان بهره‌گیری از رژیم آبیاری متناسب با شرایط کمبود آب و ویژگی‌های گیاه می‌تواند در افزایش عملکرد و بهره‌وری تولید موثر باشد. برای مثال Sarani *et al*. (2022) با بررسی تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر رشد گیاه دارویی خارمریم گزارش کردند که گیاه خارمریم سازگاری خوبی به تنش خشکی داشته که احتمالاً به دلیل کاهش صدمات اکسیداتیو با القای سیستم آنتی‌اکسیدانی و تجمع اسمولیت‌هایی نظیر پرولین می‌باشد.

با توجه به اینکه تنش خشکی در ایران رو به گسترش است، استفاده از تکنیک‌های مدیریتی که بتواند پیامدهای مضر تنش خشکی را بر رشد گیاه کاهش دهد، ضروری به نظر می‌رسد (Estaji & Niknam, 2020). یکی از این تکنیک‌های زراعی تغییر تاریخ کاشت است. کاشت گیاه در زمان‌های مختلف سبب برخورد مراحل رشد گیاه با عوامل محیطی متفاوتی می‌شود و از این راه بر رشد و نمو و عملکرد نهایی گیاه تاثیر می‌گذارد. به نظر می‌رسد که با تاخیر در کاشت گیاه، سرعت نمو آن افزایش می‌یابد تا تاخیر ایجادشده در کاشت تا حدی جبران شود. در واقع سازوکارهای تنظیمی گیاه طوری عمل می‌کنند که با تاخیر در کاشت پاییزه، گیاه به گونه‌ای سازگار شود که برای مواجه‌شدن با سرمای زمستان به حد کافی رشد کرده و تعداد کافی برگ تولید کند، اما از آنجایی که در این حالت دوره رویشی کوتاه‌تری را سپری می‌کند و بهره کمتری از منابع تولید می‌برد، عملکرد نهایی آن نیز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت (Mozhdehi *et al*., 2013).

انتخاب ژنوتیپ متحمل به خشکی برای کاشت، یکی دیگر از راهکارهای مدیریتی در شرایط کم‌آبی است. بسیاری از گیاهان دارویی دارای این ویژگی می‌باشند. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، حدود ۸۰ درصد از جمعیت جهان از روش‌های طبیعی و سنتی درمان با استفاده از گیاهان دارویی در کنار طب مدرن استفاده می‌کنند (Parveen *et al.,* 2015). گیاهان دارویی منابع غنی از مواد مؤثره اساسی مورد نیاز جهت تولید بسیاری از داروها می‌باشند و به همین جهت در کشاورزی و پزشکی جایگاه ویژه خود را دارند. خارمریم (ماریتیغال) با نام علمی *Silybum marianum* (L.) و نام انگلیسی milk thistle یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در درمان بیماری‌های کبدی می‌باشد. این گیاه یک‌ساله یا دو ساله از خانواده آستراسه و بومی منطقه مدیترانه است که در بسیاری از مناطق دنیا به ویژه مناطق گرم و خشک به صورت خودرو رشد می‌کند (Hetz *et al*., 1995; Omidbaigi, 1998; Ozkan &. Akcaoz, 2002; Abenavoli *et al*., 2010) و به علت اهمیت آن از سال‌ها پیش، ارقام اصلاح‌شده آن در کشورهایی نظیر مجارستان، لهستان و بلغارستان در سطح وسیع کشت شده است (Omidbaigi, 1998). ترکیبات مؤثره گیاه خارمریم شامل گروهی از فلاونولیگنان‌ها از جمله سیلیبین، ایزوسیلیبین، سیلیکریستین، سیلیدیانین و تاکسیفولین می‌باشد که در مجموع به عنوان سیلی‌مارین شناخته می‌شوند (Nasrabadi *et al*., 2014; Majidi *et al*., 2021b). خارمریم علاوه بر سیلی‌مارین، دارای ترکیبات دیگری مانند اسیدهای چرب، هیدروکربن‌ها و استرها نیز می‌باشد (Ozkan & Akcaoz, 2002). Vaknin *et al*. (2008) گزارش دادند که ساقه‌های گوشتی جوان و جوانه‌های گیاه خارمریم سرشار از آنتی‌اکسیدان است و می‌تواند به عنوان یک داروی سنتی برای درمان بیماری‌های کبدی و مجاری صفراوی استفاده شود (Vaknin *et al*., 2008). به‌تازگی کشت خارمریم در ایران به دلیل وجود اسیدهای چرب غیر اشباع و سیلی‌مارین که برای صنایع غذایی و دارویی ضروری هستند، افزایش یافته است. با این حال، با وجود سازگاری خارمریم با شرایط آب و هوایی ایران، به‌ویژه مقاومت این گیاه به خشکی، اطلاع چندانی در مورد اکوتیپ‌های آن در ایران در دسترس نمی‌باشد (Goli *et al*., 2008; Estaji & Niknam, 2020).

برهمکنش تنش خشکی و تاریخ کاشت، می‌تواند عملکرد نهایی گیاه را تحت تاثیر قرار دهد. در کشت پاییزه، در تاریخ کاشت‌های زودتر، دمای خاک بالاتر است و به همین علت سرعت جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه افزایش می‌یابد. تاخیر در کاشت به علت افزایش تعداد روزهای ابری و نیز سردتر شدن هوا، میزان فتوسنتز را کاهش داده که سبب کاهش سرعت رشد و نمو و تجمع ماده خشک

می‌شود. همراه‌شدن تنش خشکی با این شرایط، سبب پیری زودرس اندام‌های فتوسنتزکننده و در نتیجه کاهش فتوسنتز جاری گیاه و زیست‌توده تولیدی می‌شود. در پژوهش Khalatbari *et al.* (2020) روی شش هیبرید کلزا، عملکرد این گیاه تحت تاثیر برهمکنش تنش خشکی و تاریخ کاشت قرار گرفت و تاریخ کاشت ۱۰ مهرماه نسبت به ۱۰ آبان، و آبیاری نرمال نسبت به تنش رطوبتی سبب تولید عملکرد بالاتر دانه شد (Khalatbari *et al*., 2020). نتایج پژوهش Amiri *et al.* (2022) نشان داد که تنش خشکی در گیاه دارویی گل‌گاوزبان (*Echium amoenum* L.) منجر به کاهش عملکرد دانه، افزایش ارتفاع بوته، کاهش تعداد گل در بوته و نیز کاهش کارآیی مصرف آب آبیاری می‌شود (Amiri *et al*., 2022). آب مورد نیاز گیاه خارمریم به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق و امکان دسترسی به آب و مواد غذایی در لایه‌های عمیق خاک نسبت به بسیاری از گیاهان کم‌تر می‌باشد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های مناسب آبیاری می‌تواند عملکرد و کیفیت محصول خارمریم را بهبود بخشد و کارآیی مصرف آب این گیاه را افزایش دهد. با این حال، تنش کم‌آبی ضمن کاهش عملکرد این گیاه، بر میزان و نوع ترکیبات شیمیایی موجود در گیاه نیز تاثیر می‌گذارد (Estaji & Niknam, 2020). در پژوهش Majidi *et al.* (2021)، تیمار کم‌آبیاری کاهش معنی‌داری در میانگین عملکرد چهار اکوتیپ خارمریم ایجاد کرد و تاثیر مثبتی بر محتوای سیلی‌مارین و برخی از اجزای آن بر جای گذاشت (Majidi *et al*., 2021a).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که عملکرد و اجزای عملکرد خارمریم می‌تواند تحت تاثیر تاریخ کاشت قرار گیرد و تاریخ کاشت زودهنگام یا دیرهنگام سبب تحمیل رژیم‌های دمایی نامطلوب بر گیاه در طول دوره رشد و نمو آن شود (Bashir *et al*., 2010). به‌علاوه، کاهش دوره رشد در اثر تاخیر در کاشت، باعث کاهش عملکرد گل می‌شود. در پژوهش Azizi *et al.* (2017) اختلاف معنی‌داری بین چهار جمعیت بومی خارمریم از نظر عملکرد دانه در هر دو کشت پاییزه و بهاره مشاهده شد (Azizi *et al*., 2017). در مطالعه Dorri (2015) مشاهده شد که کوتاه‌شدن طول دوره رشد، منجر به کاهش شاخه‌های فرعی در بوته، تعداد دانه در بوته و عملکرد نهایی گیاه خارمریم می‌شود (Dorri, 2015). با وجود برخی مطالعات صورت‌گرفته روی گیاه خارمریم، برهمکنش پیامدهای تاریخ کاشت و شیوه آبیاری بر ویژگی‌های زراعی این گیاه مثل درجه‌روز رشد، کارایی آب آبیاری و شاخص برداشت کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین مطالعه حاضر به منظور (الف) شناسایی تاریخ مناسب کاشت و (ب) شیوه متناسب آبیاری و (پ) انتخاب اکوتیپ سازگار گیاه دارویی خارمریم از نظر عملکرد و برخی ویژگی‌های زراعی در شرایط آب و هوایی مشابه منطقه نجف‌آباد اصفهان انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲-۱. ویژگی‌های محل آزمایش

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غرب اصفهان (مزرعه لورک) با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی، ۱۶۳۰ متر ارتفاع از سطح دریاهای آزاد انجام شد.

۲-۱-۱. ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک محل آزمایش.

Depth	Physical Tests				N	P	K	OC	PH	EC
(cm)	Text	%S	%Si	%C	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)		(ds/m)
0-30	Loam	25	35	40	0.1	38	491	0.78	7.7	2.2
30-60	Loam	26	35	40	0.03	6.5	300	0.25	7.9	1.5

۲-۱-۲. ویژگی‌های آب آبیاری

آب مورد استفاده جهت آبیاری گیاهان در طول دوره رشد دارای پی‌اچ ۷/۵ و قابلیت هدایت الکتریکی ۱/۳ دسی‌زیمنس بر متر مربع بود و به شرح ذکرشده در جدول ۲ مورد استفاده قرار گرفت. سه سطح تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از ظرفیت نگهداری رطوبت زراعی خاک) جهت اعمال تیمارهای رطوبتی در نظر گرفته شد.

جدول ۲. میزان آب آبیاری مورد استفاده در گیاه خارمریم در سه سطح شیوه آبیاری و پنج تاریخ کاشت.

Volume of irrigation water (m^3/ha)			
Planting date (Solar Hijri)	**Normal (Irrigation after 40% depletion of soil available water)**	**Mild water stress (Irrigation after 60% depletion of soil available water)**	**Severe water stress (Irrigation after 80% depletion of soil available water)**
September 27th (Mehr 6th)	6967	5203	3721
October 17th (Mehr 26th)	6702	4850	3510
November 6th (Aban 16th)	6702	4850	3439
November 26th (Azar 6th)	6614	4321	3263
March 10th (Esfand 20th)	6261	3880	3087

۲-۱-۳. شرایط آب و هوایی

میانگین دمای سالانه منطقه ۱۴/۵ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی سالانه آن ۱۴۰ میلی‌متر گزارش شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز به صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی نجف‌آباد و نیز ایستگاه هواشناسی مزرعه لورک دریافت شده و مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین ماهانه دمای کمینه، بیشینه، طول روز و میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه خارمریم (از ۱۱ شهریور ۱۳۹۹ تا ۹ شهریور ۱۴۰۰).

Time	**Month**	**Mean**			**Sum Precipitation (mm)**
		Tmax (°C)	**Tmin (°C)**	**Day Length (h)**	
۱۱ شهریور تا ۹ مهر ۱۳۹۹	September	30.95	15.38	12.08	0.00
۱۰ مهر تا ۱۰ آبان ۱۳۹۹	October	24.32	7.41	11.19	0.00
۱۱ آبان تا ۱۰ آذر ۱۳۹۹	November	16.43	4.59	10.36	10.91
۱۱ آذر تا ۱۱ دی ۱۳۹۹	December	9.72	-0.329	9.94	24.90
۱۲ دی تا ۱۲ بهمن ۱۳۹۹	January	10.88	-4.89	10.16	9.10
۱۳ بهمن تا ۱۰ اسفند ۱۳۹۹	February	15.51	-0.179	10.88	19.00
۱۱ اسفند ۱۳۹۹ تا ۱۱ فروردین ۱۴۰۰	March	20.00	5.85	11.80	15.20
۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۰	April	26.41	10.36	12.78	5.95
۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد ۱۴۰۰	May	29.95	13.42	13.62	9.81
۱۱ خرداد تا ۹ تیر ۱۴۰۰	June	37.18	17.89	14.06	0.00
۱۰ تیر تا ۹ مرداد ۱۴۰۰	July	38.27	21.31	13.86	0.20
۱۰ مرداد تا ۹ شهریور ۱۴۰۰	August	35.35	18.10	13.12	0.00

۲-۲. مواد گیاهی و روش کاشت

در این پژوهش اکوتیپ‌های خارمریم اصفهان و مجارستان از مرکز ملی ذخایر ژنتیکی و زیستی ایران تهیه شدند و اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان- امیدیه از محل مورد نظر جمع‌آوری شدند. هر واحد آزمایشی در این مطالعه به ابعاد ۹۰ در ۱۴۰ سانتی‌متر بود؛ به‌طوری‌که تعداد سه ردیف با فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر کشت شد. عمق کاشت دو تا سه سانتی‌متر بود. ابتدا در هر نقطه سه تا چهار بذر کشت شد و بعد از دو برگی تنک شده و به یک بوته تقلیل یافت. بنابراین در هر واحد آزمایشی ۱۲ بوته استقرار یافت. با دو آبیاری اول قارچ کش رورال‌تی‌اس (اپیرودیون + کاربندازیم) به مقدار یک کیلوگرم در هکتار مصرف شد. پنج تاریخ کاشت شامل شش مهر (تاریخ کاشت اول/ پاییزه)، ۲۶ مهر (تاریخ کاشت دوم/ پاییزه)، ۱۶ آبان (تاریخ کاشت سوم/ پاییزه)، شش آذر (تاریخ کاشت چهارم/ پاییزه) و ۲۰ اسفند (تاریخ کاشت پنجم/ بهاره) در سال ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است تاکنون در مطالعات قبلی تاریخ کاشت ۲۰ اسفند به عنوان کاشت بهاره مورد استفاده قرار می‌گرفته است (Majidi *et al*., 2021a,b).

۲-۳. رژیم رطوبتی خاک

سه سطح تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه در خاک (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از ظرفیت نگهداری رطوبت زراعی خاک) جهت اعمال تیمارهای رطوبتی در نظر گرفته شد. سه شیوه آبیاری بر اساس درصد حداکثر تخلیه رطوبتی مجاز (Maximum allowable depletion (MAD)) ایجاد شد؛ به‌طوری‌که آبیاری پس از تخلیه ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (Available soil water (ASW)) به‌ترتیب به عنوان آبیاری نرمال، تنش رطوبتی خفیف و تنش رطوبتی شدید انجام گرفت. مقدار تخلیه رطوبتی خاک بر اساس مقدار تبخیر-تعرق جو طی دوره رشد بر اساس داده‌های روزانه هواشناسی ایستگاه نجف‌آباد و رابطه فائو-پنمن-مانتیث تعیین شد و ضریب گیاهی (K_c) خارمریم برای دوره‌های مختلف رشدی از مقالات قبلی استخراج و در محاسبه میزان تبخیر و تعرق این گیاه مورد استفاده قرار گرفت (Noorollahi *et al*., 2016). برای حصول اطمینان از اعمال صحیح رژیم‌های رطوبتی، از سه عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری خاک نمونه برداشت و رطوبت وزنی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. در ابتدای آزمایش تا زمان استقرار کامل گیاه (مرحله شش‌برگی)، هر سه محیط رطوبتی همزمان و به یک میزان بسته به نیاز گیاه آبیاری شد و سپس شیوه‌های آبیاری مورد نظر اعمال شده‌اند. همچنین میزان آب هر نوبت آبیاری و میزان آب آبیاری کل دوره رشدی با استفاده از کنتور آب نصب‌شده در ابتدای هر تیمار آبیاری به‌طور دقیق اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

۲-۴. صفات و نحوه اندازه‌گیری آنها

در این آزمایش صفات ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته و درجه روز رشد به‌گل‌رفتن در مرحله گلدهی، عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، کارآیی مصرف آب دانه، کارآیی مصرف آب اندام هوایی، شاخص برداشت و درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک اندازه‌گیری شد. شاخص درجه‌روز رشد، شاخص برداشت و کارایی آب آبیاری مصرفی بر اساس داده‌های موجود محاسبه شد. نمونه‌گیری جهت بررسی صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک در زمان گلدهی و نمونه‌گیری نهایی مرتبط با عملکرد بذر در زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد.

۲-۴-۱. ثبت مراحل فنولوژیک

برحسب تعداد روز از کاشت تا زمانی که ۵۰ درصد بوته‌های هر واحد آزمایشی به مرحله فنولوژیک مورد نظر رسیده بودند، به‌طور مشاهده‌ای ثبت شد. مراحل مورد نظر شامل روز تا به‌گل‌رفتن و روز تا رسیدگی فیزیولوژیک بود که با استفاده از داده‌های هواشناسی به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی مزرعه لورک جهت تعیین میزان درجه‌روز رشد (GDD) گیاه در هر مرحله رشدی مورد استفاده قرار گرفتند: GDD= (Tmax+Tmin)/2-Tbase

در این فرمول، T_{max} بیشینه دمای هر روز، T_{min} کمینه دمای هر روز و T_{base} دمای پایه گیاه خارمریم است. دمای پایه گیاه خارمریم با بررسی پژوهش‌های قبلی برابر ۲/۷ و دمای بیشینه آن برابر ۴۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Dorri *et al*., 2014). همچنین، با در دست داشتن میزان آب آبیاری، کارآیی مصرف آب آبیاری گیاه خارمریم از تقسیم عملکرد محصول (دانه، اندام هوایی) بر میزان آب مصرفی در کشت پاییزه و بهاره محاسبه شد.

۲-۵. تجزیه و تحلیل آماری

آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد؛ به‌طوری‌که ترکیب تاریخ کاشت و آبیاری به عنوان تیمارهای اصلی و رقم به عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. تجزیه‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد. رسم نمودارها و محاسبات ساده و داده‌پردازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel و Word انجام شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. تاثیر تاریخ کاشت

نتایج حاصل از متجانس‌بودن واریانس خطا (آزمون بارتلت) نشان داد که بین واریانس‌های خطا یکنواختی قابل قبولی برای انجام آزمایش وجود داشت. عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، تعداد طبق در بوته، ارتفاع بوته، کارآیی مصرف آب دانه، کارآیی مصرف

آب اندام هوایی، شاخص برداشت، درجه‌روز رشد به گل رفتن و درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال یک درصد تحت تاثیر تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی (۰/۲۶۶ و ۱۰/۶ کیلوگرم در متر مربع) و کمترین آن‌ها (۰/۰۷۱ و ۴/۲۸ کیلوگرم در متر مربع) به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و ۲۰ اسفند مشاهده شد (جدول ۵). سایر پژوهشگران نیز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف تاریخ کاشت در گیاه خارمریم مشاهده کردند. به عنوان مثال Abdollahzare *et al.* (2011) پس از بررسی سه تاریخ کاشت پاییزه (۲۳ آبان و ۱۰ و ۲۴ آذر)، تاریخ کاشت‌های ۱۰ آذر و ۲۳ آبان را به‌ترتیب از نظر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیکی بر سایر تاریخ‌های کاشت برتر دانستند (Abdollahzare *et al*., 2011). بیشترین و کمترین تعداد طبق در بوته به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۶ مهر (۱۱۷) و ۲۰ اسفند (۲۴/۹) مشاهده شد (جدول ۵). گزارش‌های منتشرشده از سایر پژوهش‌ها بر تاریخ کشت پاییزه و بهاره نیز موید این مطلب است که تاخیر در کاشت مانند هر عامل دیگری که رشد رویشی را کاهش دهد بر کاهش تعداد کاپیتول در گیاه خارمریم تاثیر می‌گذارد. با تاخیر در کاشت گیاه موفق به تولید انشعابات بیشتر نشده و به تبع آن تعداد کاپیتول در بوته کمتری را سبب می‌شود (Dorri, 2015). بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۱۲۸ سانتی‌متر) و تاریخ کاشت ۶ آذر (۹۰/۴ سانتی‌متر) مشاهده شد. بیشترین کارآیی مصرف آب دانه و کارآیی مصرف آب اندام هوایی ۰/۱۳۲ و ۴/۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین آن‌ها ۰/۰۴۵ و ۲/۴۳ کیلوگرم بر متر معکب بوده که به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۶ آبان و ۲۰ اسفند مشاهده شد (جدول ۵). تاثیر تاریخ کاشت بر شکل‌گیری سیستم ریشه‌ای گیاه می‌تواند بر میزان و کارآیی مصرف آب تاثیر بگذارد. میزان کاهش کارآیی مصرف آب آبیاری با تاخیر در کاشت در سایر گیاهان نیز گزارش شده است (Zand-Silakhoor *et al*., 2022). بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب در تاریخ های کاشت شش آذر (۲/۸۳ درصد) و ۲۰ اسفند (۱/۸۶ درصد) مشاهده شد. در آزمایش حاضر تاریخ شش آذر دیرترین تاریخ کاشت پاییزه بوده و شاخص برداشت در آن بیش از سایر تاریخ‌های کاشت محاسبه شده است؛ با این حال شاخص برداشت وابسته به عملکرد نهایی دانه است. نتایج پژوهشی بر گیاه خارمریم نشان‌دهنده نقش موثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت بود؛ به‌طوری‌که با تغییر تاریخ کاشت شاخص برداشت این گیاه از ۱,۷۴ تا ۱۰ درصد متفاوت بود (Ozkan & Akcaoz, 2002). نکته جالب در این آزمایش این است که تاریخ کاشت شش آذر بیشترین تعداد روز رشد تا گلدهی (۳۳۲۶) و روزهای رشد تا بلوغ فیزیولوژیکی (۳۶۹۶) را به خود اختصاص داد (جدول ۵). این نشان‌دهنده آن است که گیاهان کاشته‌شده در شش آذر، دوره رشد و توسعه بیشتری در مرحله گلدهی و رشد کلی داشته‌اند؛ ولی این دوره رشد طولانی به عملکرد بهتر دانه کمک نکرده است. از سوی دیگر، تاریخ کاشت ۲۰ اسفندماه یا کاشت بهاره کمترین تعداد روز رشد تا گلدهی (۱۴۰۵) و تعداد روز رشد تا بلوغ فیزیولوژیکی (۲۰۸۱) را نشان داد. این نشانگر آن است که گیاهان کاشته‌شده در ۲۰ اسفندماه، دوره رشد رویشی نسبتاً کوتاه‌تری داشته‌اند که ممکن است باعث محدودشدن رشد و توسعه کلی گیاه شده باشد. به‌عبارت دیگر، این مدت زمان کوتاه‌تر ممکن است به کاهش عملکرد و شاخص برداشت نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت منجر شده باشد. این نتایج نشان می‌دهند که انتخاب تاریخ کاشت مناسب در بهینه‌سازی رشد محصول و حداکثرسازی عملکرد بسیار حائز اهمیت است. کاشت در دوره‌هایی که فاز رشد رویشی کافی و شرایط رشد مطلوب را فراهم می‌کنند، می‌تواند به بهبود عملکرد گیاه و در نهایت افزایش شاخص برداشت منجر شود. برای بهبود درک از عوامل خاصی که بر عملکرد دانه تأثیر می‌گذارند و بهینه‌سازی استراتژی‌های کاشت برای حداکثرسازی بهره‌وری محصول، مطالعات و ملاحظات بیشتری در آزمایش‌های آینده لازم است.

جدول ٤. نتایج تجزیه واریانس و سطح معنی‌داری میانگین مربعات صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در چهار اکوتیپ گیاه خارمریم تحت تاثیر پنج تاریخ کاشت و سه شیوه آبیاری.

		Mean Squares (MS)								
S.O.V	**df**	**Seed yield**	**Shoot dry weight**	**Number of head flowers**	**Plant Height**	**Seed water use efficiency**	**Shoot water use efficiency**	**Harvest index**	**The GDD of Flowering**	**The GDD of Physiological maturity**
Irrigation (I)	2	0.0393^{**}	80.18**	5015^{**}	8148^{**}	0.0143^{**}	18.88^{**}	0.000013^{*}	3416^{**}	11655^{**}
Planting date (D)	4	0.2047^{**}	218.3**	46551^{**}	9693^{**}	0.0457^{**}	32.47^{**}	0.000591^{**}	1968^{**}	15751^{**}
I*D	8	0.0021^{**}	2.649**	425.2^{**}	2837^{**}	0.007^{**}	6.603^{**}	0.000022^{**}	$5425^{n.s}$	84705^{**}
Error a	30	0.0000	0.484	86.47	6.944	0.0000	0.1286	0.000004	6540	4611
Ecotype (E)	3	0.0197^{**}	35.14**	741.8^{**}	8409^{**}	0.005^{**}	8.471^{**}	0.00002^{**}	$2647^{n.s}$	12300^{*}
I*E	6	0.0005^{**}	1.156**	$146.5^{n.s}$	231.4^{**}	$0.0000^{n.s}$	0.4299^{**}	0.000011^{**}	$7766^{n.s}$	14386^{**}
D*E	12	0.0009^{**}	1.935**	344^{**}	830^{**}	0.0002^{**}	0.5074^{**}	0.000008^{**}	$8276^{n.s}$	35111^{**}
D*E*I	24	0.0001^{**}	$0.428^{n.s}$	143.9^{*}	227.1^{**}	0.00006^{**}	0.1531^{*}	0.000005^{*}	$9449^{n.s}$	12152^{**}
Error b	89	0.0000	0.338	78.35	5.27	0.0000	0.0000	0.00000	26591	4348
C.V.%		3.79	6.89	14.14	2.22	4.09	6.91	6.91	3.41	2.29

$^{n.s}$، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار، معنی‌داری در سطح پنج درصد و معنی‌داری در سطح یک درصد هستند.

جدول ۵. مقایسه میانگین پیامدهای شیوه آبیاری، تاریخ کاشت و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم.

Experiment factors	**Levels**	**Seed yield (Kg/m^2)**	**Shoot dry weight (Kg/m^2)**	**Number of head flowers**	**Plant height (cm)**	**Seed water use efficiency (Kg/m^3)**	**Shoot water use efficiency (Kg/m^3)**	**Harvest Index (%)**	**The GDD of Flowering**	**The GDD of Physiological maturity**
Irrigation	Normal	0.228 a	9.57 a	74.7 a	116 a	0.090 c	3.42 c	2.58 ab	2403 a	2918 a
	Mild stress	0.199 b	8.45 b	66.8 b	100 b	0.112 b	4.34 b	2.54 b	2376 ab	2872 b
	Severe stress	0.177 c	7.25 c	56.5 c	93.4 c	0.120 a	4.45 a	2.63 a	2356 b	2830 c
Planting date	September 27^{th} (Mehr 6^{th})	0.226 c	9.36 b	53 c	93.0 c	0.120 c	4.38 bc	2.72 b	1982 d	2388 d
	October 17^{th} (Mehr 26^{th})	0.266 a	10.6 a	117 a	128 a	0.119 c	4.26 c	2.79 ab	2371 c	2869 c
	November 6^{th} (Aban 16^{th})	0.233 b	9.61 b	85.2 b	111 b	0.131 a	4.87 a	2.71 b	2808 b	3332 b
	November 26^{th} (Azar 6^{th})	0.210 d	8.28 c	49.5 c	93.0 c	0.125 b	4.44 b	2.84 a	3326 a	3696 a
	March 10^{th} (Esfand 20^{th})	0.071 e	4.28 d	24.8 d	90.3 d	0.045 c	2.42 d	1.86 c	1405 e	2081 e
Ecotype	Isfahan	0.208 b	8.93 a	70.17 a	112 b	0.111 b	4.30 a	2.51 cd	2382 a	2855 b
	Khuzestan-Omidiyeh	0.173 d	7.12 c	60.7 c	85.7 d	0.093 d	3.43 c	2.62 ab	2379 a	2888 a
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.223 a	8.99 a	67.9 ab	115 a	0.119 a	4.38 a	2.66 a	2385 a	2886 a
	Hungary	0.202 c	8.68 b	65.4 b	99.1 c	0.108 c	4.17 b	2.54 bc	2367 a	2863 ab

سطوح آبیاری نرمال، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه.

تاریخ‌های کشت بر اساس تقویم شمسی به‌ترتیب ذکرشده می‌باشند: ۱. ششم مهر، ۲. بیست و ششم مهر، ۳. شانزدهم آبان، ۴. ششم آذر، ۵. بیستم اسفند.

۳-۲. تاثیر رژیم رطوبتی خاک

اثر آبیاری بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد و بر سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). عملکرد دانه (کیلوگرم بر متر مربع) تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۱۹۹) و شدید (۰/۱۷۷) نسبت به آبیاری نرمال (۰/۲۲۸) به‌ترتیب ۱۲/۸ و ۲۲/۰ درصد و وزن خشک اندام هوایی (کیلوگرم بر متر مربع) تحت تنش کم‌آبی خفیف (۸/۴۷) و شدید (۷/۲۵) نسبت به آبیاری نرمال (۹/۵۷) به‌ترتیب ۱۱/۵ و ۲۴/۲ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). نتایج سایر پژوهش‌ها در این زمینه نیز نشان‌دهنده کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های مختلف خارمریم تحت تنش خشکی است (Zangani *et al*., 2017). در مطالعه Majidi *et al*. (2021b) در میانگین کلی اکوتیپ‌ها (۲۶ اکوتیپ) عملکرد دانه از ۲۶/۳۱ گرم در هر بوته در شرایط آبیاری نرمال به ۱۷/۴۵ گرم در هر بوته تحت تنش خشکی کاهش یافت. به‌طور کلی تنش کم‌آبی سبب کاهش تعرق و ایجاد اختلال در جذب آب و مواد غذایی شده و این امر وزن خشک اندام هوایی و عملکرد نهایی دانه را کاهش می‌دهد. تعداد طبق در بوته تحت تنش کم‌آبی خفیف (۶۶/۸) و شدید (۵۶/۵) نسبت به آبیاری نرمال (۷۴/۷) به‌ترتیب ۱۰/۵ و ۲۴/۳ درصد کاهش نشان داد. کاهش تعداد طبق در بوته در شرایط خشکی در سایر پژوهش‌های صورت‌گرفته بر گیاه خارمریم نیز گزارش شده‌است (Afshar *et al.,* 2014). ارتفاع بوته (سانتی‌متر) تحت تنش کم‌آبی خفیف (۱۰۰) و شدید (۹۳/۴) نسبت به آبیاری نرمال (۱۱۶) به‌ترتیب ۱۳/۸ و ۱۹/۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). در بسیاری از موارد در شرایط تنش کم‌آبی، ارتفاع بوته گیاه خارمریم کاهش می‌یابد؛ ولی این تغییر می‌تواند بسته به میزان و مدت زمان اعمال تنش، متفاوت باشد. کارآیی مصرف آب دانه (کیلوگرم بر متر مکعب) تحت تنش کم‌آبی خفیف (۰/۱۱۲) و شدید (۰/۱۲) نسبت به آبیاری نرمال (۰/۰۹) به‌ترتیب ۲۴/۰ و ۳۲/۸ درصد و کارآیی مصرف آب اندام هوایی (کیلوگرم بر متر مکعب) تحت تنش کم‌آبی خفیف (۴/۳۴) و شدید (۴/۴۵) نسبت به آبیاری نرمال (۳/۴۳) به‌ترتیب ۲۶/۵ و ۲۹/۷ درصد افزایش یافت (جدول ۵). مطالعات نشان می‌دهند که گیاه خارمریم از جمله محصولاتی با کارآیی مصرف آب بالا است و در شرایط تنش کم‌آبی قادر به حفظ تراز آبی مناسب در برگ‌های خود می‌باشد. براساس مطالعه Noorollahi *et al.* (2016) در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش آبیاری به میزان ۴۰ درصد، منجر به افزایش کارآیی مصرف آب دانه و کاهش مصرف آب توسط اندام هوایی گیاه شد. در چنین شرایطی گیاه خارمریم از استراتژی‌های کاهش تبخیر و تعرق و مقاومت به خشکی استفاده می‌کند که باعث کاهش نیاز آبی آن می‌شود. شاخص برداشت (درصد) تحت شرایط تنش کم‌آبی خفیف (۲/۵۴) نسبت به آبیاری نرمال (۲/۵۸) به میزان ۱/۶ درصد کاهش و تحت شرایط تنش کم‌آبی شدید (۲/۶۳) نسبت به آبیاری نرمال ۲ درصد افزایش نشان داد؛ ولی هیچ‌یک از این تغییرات از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴ و ۵). از آن‌جایی‌که شاخص برداشت تابعی از عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک است، این شاخص ممکن است به دلیل تغییر در هر یک از این پارامترها، دچار تغییرات افزایشی یا کاهشی شود.

نتایج نشان داد که درجه‌روز رشد (GDD) مورد نیاز برای گلدهی و بلوغ فیزیولوژیکی تحت تأثیر شرایط تنش آبی قرار گرفت (جدول ۴). تحت تنش کم آبی، GDD برای گلدهی، ۲۷ واحد نسبت به آبیاری معمولی کاهش یافت؛ درحالی‌که تحت تنش شدید کم‌آبی، کاهش ۴۷ واحد بود. به‌طور مشابه، برای بلوغ فیزیولوژیکی، GDD در شرایط تنش خفیف آبی ۴۶ واحد و در تنش شدید آبی در مقایسه با آبیاری معمولی ۸۸ واحد کاهش یافت (جدول ۵). این یافته‌ها حاکی از آن است که تنش آبی تأثیری جزئی اما قابل توجه بر زمان گلدهی و بلوغ فیزیولوژیکی دارد. کاهش GDD نشان می‌دهد که گیاهان برای رسیدن به این مراحل در شرایط تنش آبی به واحدهای گرمای انباشته کمی کمتری نیاز داشتند. این را می‌توان به واکنش گیاهان به کمبود آب نسبت داد، جایی که آنها فرآیندهای تولیدمثلی را برای اطمینان از تولید و بقای بذر در اولویت قرار می‌دهند. این مشاهده، بینشی در مورد واکنش گیاه به تنش آبی ارائه می‌کند. حتی تنش خفیف آب منجر به کاهش جزئی در GDD شد که نشان می‌دهد گیاهان در پاسخ به محدودیت در دسترس‌بودن آب، فرآیندهای رشد خود را تنظیم می‌کنند. توجه به این نکته حائز اهمیت است که در حالی که کاهش GDD نسبتاً کم بود، می‌تواند پیامدهایی برای بهره‌وری و عملکرد محصول داشته باشد. زمان گلدهی و بلوغ فیزیولوژیکی برای تولید بهینه بذر بسیار مهم است و هرگونه انحراف از شرایط ایده‌آل ممکن است بر عملکرد کلی تأثیر بگذارد. بنابراین، این نتایج اهمیت استراتژی‌های مدیریت آب را در شیوه‌های کشاورزی برای به‌حداقل‌رساندن تنش آبی و به‌حداکثررساندن عملکرد محصول

برجسته می‌کند. نتایج پژوهشی بر گیاه شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) نشان‌دهنده کاهش تعداد روز تجمعی از زمان کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک تحت تنش کم‌آبی خفیف و شدید بود (Asadi *et al.*, 2021).

۳-۳. مقایسه اکوتیپ‌های مورد بررسی

اثر اکوتیپ بر درجه‌روز رشد به‌گل‌رفتن غیر معنی‌دار ولی بر درجه روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد و بر سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۰/۲۲۳ کیلوگرم بر متر مربع)، وزن خشک اندام هوایی (۸/۹۹ کیلوگرم بر متر مربع)، ارتفاع بوته (۱۱۵ سانتی‌متر)، کارآیی مصرف آب دانه (۰/۱۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب)، کارآیی مصرف آب اندام هوایی (۴/۳۸ کیلوگرم در متر مکعب) در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد و کمترین عملکرد دانه (۰/۱۷۳ کیلوگرم بر متر مربع)، وزن خشک هوایی (۷/۱۲ کیلوگرم بر متر مربع)، ارتفاع بوته (۸۵/۷ سانتی‌متر)، کارآیی مصرف آب دانه (۰/۰۹۳ کیلوگرم بر متر مکعب)، کارآیی مصرف آب اندام هوایی (۳/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب) در اکوتیپ خوزستان–امیدیه مشاهده شد (جدول ۵). نتایج. وجود تنوع در بین اکوتیپ‌های خارمریم از نظر صفاتی از جمله ارتفاع ساقه، عملکرد دانه و روز تا گلدهی در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (Saghalli *et al.*, 2018). نتایج یک بررسی بر گیاه خارمریم نشان می‌دهد که بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه (۲۶ اکوتیپ) اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه، اجزای عملکرد و محتوای سیلی‌مارین وجود دارد (Majidi *et al.*, 2021b). بیشترین و کمترین تعداد طبق در بوته به‌ترتیب متعلق به اکوتیپ اصفهان (۷۰/۱۷) و خوزستان–امیدیه (۶۰/۷۱) بود. اکوتیپ اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد و اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد و مجارستان از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۵). نتایج اختلاف معنی‌دار بین اکوتیپ‌های مختلف در صفات ارتفاع بوته، شاخص رشد، تعداد طبق در بوته و عملکرد دانه در بوته در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Ottai & Abdel-Moniem, 2006). بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد (۲/۶۶ درصد) و اصفهان (۲/۵۱ درصد) مشاهده شد. بیشترین و کمترین درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب در اکوتیپ‌های خوزستان– امیدیه (۲۸۸۸) و اصفهان (۲۸۵۵) مشاهده شد. اکوتیپ‌های خوزستان– امیدیه و کهگیلویه و بویراحمد و مجارستان و نیز اکوتیپ‌های مجارستان و اصفهان از نظر این صفت تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۵). نتایج بر اساس نتایج پژوهش‌های قبلی اختلاف قابل توجه در درجه‌روز رشد اکوتیپ‌های مختلف گیاه خارمریم قابل انتظار است (Nasrabadi *et al.*, 2014).

۳-۴. برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم رطوبتی خاک

اثر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر صفت درجه‌روز رشد به‌گل‌رفتن معنی‌دار نبود، ولی بر سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). تنش کم‌آبی خفیف و شدید در تمام تاریخ‌های کاشت، کاهش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، تعداد طبق در بوته و ارتفاع بوته را سبب شد؛ ولی بر کارآیی مصرف آب دانه، کارآیی مصرف آب اندام هوایی، شاخص برداشت و درجه روز رشد به‌گل‌رفتن و رسیدگی فیزیولوژیک تاثیرات متفاوتی اعم از کاهش و افزایش بر جا گذاشت (جدول ۶).

بیشترین عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و در شرایط آبیاری نرمال به‌ترتیب برابر با ۰/۳۱۶ و ۱۲/۵ کیلوگرم در متر مربع و کمترین آنها در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و در شرایط تنش کم‌آبی شدید به‌ترتیب برابر با ۰/۰۵۲ و ۳/۲۰ کیلوگرم در متر مربع مشاهده شد. بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه در تنش رطوبتی خفیف به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۱۸/۱ درصد) و تاریخ کاشت شش مهر (۶/۹ درصد) و بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه در تنش کم‌آبی شدید به‌ترتیب در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۳۸/۶ درصد) و تاریخ کاشت شش مهر (۱۴/۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۶). اثر معنی‌دار برهمکنش تاریخ کاشت و رژیم رطوبتی بر عملکرد دانه و علوفه خشک ارقام مختلف ارزن نیز مشاهده شده است (Ghasemi & Arfania, 2021). عملکرد، یک صفت پلی‌ژنیک است و توسط چندین ژن کنترل می‌شود و دارای تاثیرپذیری شدید از محیط می‌باشد. بنابراین تغییرات محیطی از جمله تغییر در میزان آب آبیاری و تاریخ کشت می‌تواند تغییرات قابل توجهی در این صفات ایجاد کند (Leakey *et al.*, 2006). بیشترین تعداد طبق در بوته (۱۳۲) در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و در شرایط آبیاری نرمال و کمترین آن (۲۲) در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و در تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. با این حال، بین تیمارهای مختلف آبیاری در این تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین ارتفاع بوته (۱۷۲ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت ۲۶ مهر و در شرایط آبیاری

نرمال و کمترین آن (۸۷ سانتی‌متر) در تاریخ کاشت شش آذر و در شرایط تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. با این حال بین تاریخ کاشت شش مهر، شش آذر و ۲۰ اسفند در شرایط تنش کم‌آبی شدید از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). با افزایش تنش کم‌آبی برخی صفات از جمله ارتفاع بوته با کاهش مواجه می‌شوند، با این حال این تغییرات با تغییر پارامترهایی از جمله تاریخ کاشت قابل مدیریت هستند (Mirzaei *et al.,* 2020). بیشترین کارآیی مصرف آب دانه و اندام هوایی مربوط به تاریخ کاشت ۱۶ آبان در شرایط تنش کم‌آبی شدید و به‌ترتیب برابر با ۰/۱۶۸ و ۶/۱۳ کیلوگرم در متر مکعب و کمترین آنها مربوط به تاریخ کاشت ۲۰ اسفند در شرایط آبیاری نرمال و به‌ترتیب برابر با ۰/۰۳۶ و ۱/۹۳ کیلوگرم در متر مکعب محاسبه شد (جدول ۶). گزارش‌ها حاکی از آن است که با بهبود تاریخ کشت، می‌توان آب مورد نیاز برای بسیاری از محصولات زراعی را تا ۴۰ درصد کاهش داد (Belaqziz *et al.,* 2021). بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب در تاریخ کاشت شش مهر در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۳/۰۱ درصد) و تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۱/۸۴ درصد) محاسبه شد. با این حال، بین تاریخ کاشت شش مهر و شش آذر تحت تنش کم‌آبی شدید و تاریخ کاشت ۲۶ مهر تحت تنش کم‌آبی خفیف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین شیوه‌های مختلف آبیاری در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶). نتایج پژوهش Gharechaei *et al.* (2019) بر گیاه کلزا نشان داد که اثر برهمکنش تاریخ کاشت و آبیاری بر برخی صفات از جمله عملکرد بیولوژیک معنی‌دار؛ ولی بر برخی دیگر از صفات از جمله ارتفاع بوته و شاخص برداشت معنی‌دار نبود (Gharechaei *et al.,* 2019). بیشترین و کمترین درجه روز رشد رسیدگی برداشت به‌ترتیب در تاریخ کاشت شش آذر و شرایط تنش کم‌آبی خفیف (۳۷۰۶) و تاریخ کاشت ۲۰ اسفند و تنش کم‌آبی شدید (۱۸۸۷) مشاهده شد (جدول ۶). به‌طور کلی از آنجایی که دوره‌های خشکی و دماهای بالا به‌طور همزمان در مراحل حساس رشد گیاه رخ می‌دهد می‌توان با بهینه‌سازی تاریخ کاشت آثار سوء این تنش‌ها را کاهش داد (Belaqziz *et al.,* 2021).

جدول ٦. مقایسه میانگین پیامدهای برهمکنش تاریخ کاشت و شیوه آبیاری بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم.

Planting date	Irrigation	Seed yield (Kg/m^2)	Shoot dry weight (Kg/m^2)	Number Of head flowers	Plant Height (cm)	Seed water use efficiency (Kg/m^3)	Shoot water use efficiency (Kg/m^3)	Harvest Index (%)	The GDD of Physiological maturity
September 27th	Normal	0.224 c	10.5 b	60.50 f	98.5 f	0.093 h	3.63 f	2.57 d	2410 e
	Mild stress	0.227 e	9.77 cd	54.91 f	92.4 g	0.116 f	4.50 de	2.59 d	2356 f
	Severe stress	0.209 g	7.76 g	43.66 g	88.4 hi	0.150 b	5.01 c	3.01 a	2397 ef
October 17th	Normal	0.316 a	12.4 a	132.9 a	172 a	0.125 de	4.47 e	2.82 b	2881 c
	Mild stress	0.259 b	10.0 c	113.5 b	114 c	0.142 c	4.96 c	2.78 ab	2881 c
	Severe stress	0.223 e	9.34 de	106.5 bc	98.2 f	0.088 i	3.34 g	2.67 cd	2846 c
November 6th	Normal	0.259 b	10.5 b	99.5 c	117 b	0.103 g	3.76 f	2.76 bc	3342 b
	Mild stress	0.237 e	9.55 de	88.0 d	110 d	0.123 e	4.72 d	2.61 d	3332 b
	Severe stress	0.216 f	8.77 f	68.16 e	105 f	0.168 a	6.12 a	2.76 bc	3321 b
November 26th	Normal	0.237 d	9.26 e	53.5 f	94.1 g	0.095 h	3.36 g	2.85 b	3686 a
	Mild stress	0.208 g	8.40 f	53.0 f	89.9 h	0.128 d	4.66 de	2.77 bc	3706 a
	Severe stress	0.185 h	7.19 h	42.0 g	87.0 i	0.151 b	5.29 b	2.88 ab	3696 a
March 10th	Normal	0.085 i	5.02 i	27.5 h	98.2 f	0.036 l	1.92 j	1.90 e	2270 g
	Mild stress	0.077 j	4.63 i	24.83 h	92.4 g	0.053 j	2.86 h	1.85 e	2086 h
	Severe stress	0.052 k	3.20 j	22.33 h	88.4 hi	0.045 k	2.49 i	1.84 e	1887 i

سطوح آبیاری نرمال، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. تاریخ‌های کشت بر اساس تقویم شمسی به‌ترتیب ذکرشده می‌باشند: ۱. ششم مهر، ۲. بیست و ششم مهر، ۳. شانزدهم آبان، ۴. ششم آذر، ۵. بیستم اسفند.

۳-۵. برهمکنش شیوه آبیاری و اکوتیپ

اثر متقابل اکوتیپ و آبیاری بر کارآیی مصرف آب دانه، درجه‌روز رشد به‌گل‌رفتن و نیز تعداد طبق در بوته معنی‌دار نبود؛ ولی این اثر برای سایر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). این معنی‌دار بودن نشان‌دهنده واکنش متفاوت اکوتیپ‌های

مورد بررسی تحت تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در صفات مورد بررسی است. تنش کم‌آبی خفیف و شدید، موجب کاهش عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، تعداد طبق در بوته و ارتفاع بوته در تمام اکوتیپ‌ها شد؛ ولی تنش آب پیامدهای متفاوتی اعم از کاهش و افزایش بر کارآیی مصرف آب دانه، کارآیی مصرف آب اندام هوایی، شاخص برداشت و درجه‌روز رشد به‌گل‌رفتن و رسیدگی فیزیولوژیک بر جا گذاشت (جدول ۷).

بیشترین و کمترین عملکرد دانه (کیلوگرم در متر مربع) به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط آبیاری نرمال (۰/۲۵۵) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه تحت شرایط تنش کم‌آبی شدید (۰/۱۵۸) مشاهده شد. بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه تحت تنش کم‌آبی خفیف به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد (۱۳/۹ درصد) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه (۱۱ درصد) و بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه تحت تنش کم‌آبی شدید به‌ترتیب در اکوتیپ اصفهان (۲۴/۱ درصد) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه (۱۷ درصد) به دست آمد (جدول ۷). بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب در اکوتیپ اصفهان تحت شرایط آبیاری نرمال (۱۰/۱) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه (۶/۱۶) تحت شرایط تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. با این حال اکوتیپ‌های اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد و مجارستان تحت شرایط آبیاری نرمال از این نظر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند. بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت تنش کم‌آبی خفیف به‌ترتیب در اکوتیپ مجارستان (۱۳ درصد) و اکوتیپ اصفهان (۹/۶۱ درصد) و بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن خشک اندام هوایی تحت تنش کم‌آبی شدید نسبت به آبیاری نرمال به‌ترتیب در اکوتیپ مجارستان (۲۸/۳ درصد) و اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد (۱۹/۹ درصد) مشاهده شد (جدول ۷).

به احتمال زیاد این کاهش ناشی از کاهش برخی از اجزای عملکرد و نیز عملکرد بیولوژیک گیاه می‌باشد. اکوتیپ‌های مختلف بسته به میزان تاثیری که از تنش کم‌آبی می‌گیرند، پاسخ‌های متفاوتی به آن نشان می‌دهند. چنانچه در سایر پژوهش‌ها نیز میزان کاهش عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در اثر تنش کم‌آبی در اکوتیپ های مختلف متفاوت بوده است (Osman, 2009; Bahmani *et al.,* 2016). نتایج پژوهشی بر چهار اکوتیپ خارمریم (ساری، مشهد، اصفهان و خوزستان) نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار برهمکنش اکوتیپ و تنش رطوبتی بوده و بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در اکوتیپ‌های ساری (۲۶/۷۵ گرم در هر بوته) در شرایط آبیاری نرمال و مشهد (۱۰ گرم در هر بوته) تحت تنش کم‌آبی مشاهده شد (Majidi *et al.,* 2021a). بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در اکوتیپ اصفهان تحت شرایط آبیاری نرمال (۱۲۹/۶) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه (۷۹/۱۳) تحت شرایط تنش کم‌آبی شدید مشاهده شد. با این حال اکوتیپ‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط آبیاری نرمال از این نظر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۷). نتایج پژوهش Jiang & Fry (1998) نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش رشد طولی سلول‌ها و در نتیجه کاهش ارتفاع و ماده خشک گیاه شد (Jiang & Fry, 1998). بیشترین و کمترین کارآیی مصرف آب اندام هوایی به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد تحت تنش کم‌آبی شدید (۵/۰۴) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه تحت شیوه آبیاری نرمال (۲/۸۶) مشاهده شد. بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب در اکوتیپ خوزستان- امیدیه تحت تنش کم‌آبی شدید (۲/۷۵) و اکوتیپ اصفهان تحت تنش کم‌آبی خفیف (۲/۴۶) به دست آمد. با این حال بین اکوتیپ‌های خوزستان- امیدیه و مجارستان تحت تنش کم‌آبی شدید و اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خفیف رطوبتی از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین بین اکوتیپ اصفهان، مجارستان و خوزستان- امیدیه تحت شرایط تنش کم‌آبی خفیف، اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط تنش کم‌آبی شدید و مجارستان، اصفهان و خوزستان- امیدیه تحت شرایط آبیاری نرمال اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). بیشترین و کمترین درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد تحت شرایط آبیاری نرمال (۲۹۷۵) و اکوتیپ اصفهان تحت تنش کم‌آبی شدید (۲۸۱۳) مشاهده شد. با این حال بین اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان- امیدیه در شرایط آبیاری نرمال از این نظر اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. همچنین بین اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد و اصفهان تحت تنش کم‌آبی خفیف و اکوتیپ‌های اصفهان، خوزستان- امیدیه، مجارستان و کهگیلویه و بویراحمد تحت تنش کم‌آبی شدید اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۷). بررسی‌ها نشان می‌دهد برهمکنش تنش کم‌آبی و اکوتیپ یا ژنوتیپ بر صفات درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد

دانه، وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در گیاهان مختلف در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بوده است (Golestani, 2020; Zand-Silakhoor *et al.,* 2022; Moslemi *et al.,* 2023; Amin Azarm *et al.,* 2023).

جدول ۷. مقایسه میانگین پیامدهای برهمکنش شیوه آبیاری و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم.

Irrigation	Ecotype	Seed yield (Kg/m^2)	Shoot dry weight (Kg/m^2)	Plant Height (cm)	Shoot water use efficiency (Kg/m^3)	Harvest Index (%)	The GDD of Physiological maturity
Normal	Isfahan	0.237 b	10.1 a	129 a	3.62 d	2.53 cd	2902 bc
	Khuzestan-Omidiyeh	0.191 g	7.99 c	92.6 f	2.86 e	2.58 bcd	2928 ab
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.255 a	10.1 a	129 a	3.62 d	2.73 a	2975 a
	Hungary	0.230 c	10.0 a	112 b	3.61 d	2.49 d	2866 c-f
Mild stress	Isfahan	0.207 e	9.13 b	107 c	4.68 b	2.49 d	2851 efg
	Khuzestan-Omidiyeh	0.169 i	7.22 d	85.4 h	3.70 d	2.52 d	2897 bcd
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.219 d	8.79 b	110 b	4.49 bc	2.68 ab	2857 c-g
	Hungary	0.200 f	8.75 b	96.5 e	4.49 bc	2.49 d	2884 b-e
Severe stress	Isfahan	0.180 h	7.56 d	99.5 d	4.6 d	2.55 cd	2813 g
	Khuzestan-Omidiyeh	0.158 j	6.16 e	79.1 j	3.74 d	2.75 a	2838 efg
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.194 g	8.09 c	106 c	5.04 a	2.58 bcd	2827 fg
	Hungary	0.177 h	7.21 d	88.4 g	4.42 c	2.66 abc	2839 efg

سطوح آبیاری نرمال، تنش خفیف و شدید کمبود آب بر اساس ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد از حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس گیاه. درهر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

۳-۶. برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ

اثر برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ بر تمامی صفات بجز درجه‌روز رشد به‌گل‌رفتن معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۰/۲۸۳) و در اکوتیپ خوزستان- امیدیه در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۰/۰۵۷) و بیشترین و کمترین وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب در اکوتیپ اصفهان در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۱۱/۳۸) و در اکوتیپ خوزستان- امیدیه در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۳/۵۴) مشاهده شد (جدول ۸). بررسی‌ها نشان داده‌اند که در کاشت پاییزه به علت فراهم‌آمدن دوره مناسب‌تر رشد برای برخی ارقام و اکوتیپ‌های متحمل به سرما عملکرد نهایی گیاه افزایش می‌یابد. در گیاهان پاییزه، در تاریخ‌های کشت دیرهنگام، به دلیل وقوع بارندگی بیشتر در مرحله گیاهچه‌ای، احتمال از بین‌رفتن بوته‌ها و کاهش عملکرد افزایش می‌یابد (Basra, 1997). بیشترین (۱۲۷) و کمترین (۲۰/۴۴) تعداد طبق در بوته در اکوتیپ اصفهان به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۲۶ مهر و ۲۰ اسفند و بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به‌ترتیب در اکوتیپ اصفهان در تاریخ کاشت ۲۶ مهر (۱۵۰) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۸۰) مشاهده شد (جدول ۸). سایر پژوهش‌ها نیز بیانگر این مطلب‌اند که برهمکنش تاریخ کاشت و ارقام یا اکوتیپ‌ها بر ارتفاع بوته تاثیرگذار بوده و تاخیر در کاشت سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Rosati & DeJong, 2003). بیشترین کارآیی مصرف آب دانه (۰/۱۴۵) و کارآیی مصرف آب اندام هوایی (۵/۳) در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد در تاریخ کاشت ۱۶ آبان و کمترین کارآیی مصرف آب دانه (۰/۰۳۶) و کارآیی مصرف آب اندام هوایی (۲/۰۱) در اکوتیپ خوزستان- امیدیه در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند مشاهده شد. بیشترین و کمترین شاخص برداشت به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد در تاریخ کاشت شش آذر (۲/۹۴ درصد) و اکوتیپ خوزستان- امیدیه در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۱/۸۱ درصد) به‌دست آمد. با این حال بین اکوتیپ‌های کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان- امیدیه و مجارستان در تاریخ کاشت شش آذر، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان- امیدیه در تاریخ کاشت شش مهر و خوزستان-امیدیه در تاریخ کاشت ۱۶ آبان، از این نظر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین و کمترین درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب در اکوتیپ کهگیلویه و بویراحمد در تاریخ کاشت شش آذر (۳۷۲۲) و اکوتیپ اصفهان در تاریخ کاشت ۲۰ اسفند (۱۹۴۰) مشاهده شد (جدول ۸). پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده‌اند که صفات درجه‌روز رشد رسیدگی، طول دوره رشد و عملکرد نهایی تحت تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ قرار می‌گیرند (Ghanbari *et al.,* 2014; Mirzaei *et al.,* 2020). تاریخ کاشت مناسب سبب ایجاد تعادل بین مراحل رشد رویشی و زایشی می‌شود. با توجه به اینکه رقم‌های مختلف تحت تاثیر تاریخ کاشت پاسخ‌های مختلفی بروز می‌دهند چنین نتیجه‌گیری

می‌شود که بهترین حالت این است که گیاهی برگزیده شود که رشد رویشی کمتر را همزمان با دوام سرعت رشد محصول و پتانسیل بالای عملکرد دارا باشد (Kamali *et al.*, 2017).

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده پیشنهاد می‌شود که گیاه خارمریم در شرایط آب و هوایی مشابه منطقه اصفهان در پاییز و از اواخر مهرماه (۲۶ مهرماه) تا نیمه آبان‌ماه (۱۶ آبان) کشت شود. بیشترین کارآیی مصرف آب دانه و کارآیی مصرف آب اندام هوایی ۰/۱۳۲ و ۴/۸۷ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین آن‌ها ۰/۰۴۵ و ۲/۴۳ کیلوگرم بر متر معکب بوده که به‌ترتیب در تاریخ‌های کاشت ۱۶ آبان و ۲۰ اسفند مشاهده شد. جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آبیاری در شرایط مشابه به‌ترتیب آبیاری بر مبنای ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک پیشنهاد می‌شود. به‌طور میانگین در کشت پاییزه و بهاره بر مبنای دمای پایه ۲/۷ و دمای بیشینه ۴۰ درجه سلسیوس، درجه‌روز رشد رسیدگی فیزیولوژیک گیاه خارمریم به‌ترتیب حدود ۳۰۰۰ و ۲۰۰۰ درجه‌روز محاسبه شد. توجه به حجم آب آبیاری و درجه‌روز رشد گیاه خارمریم جهت ورود این گیاه به الگوی کاشت منطقه و در رقابت با سایر محصولات اهمیت ویژه‌ای دارد. در بین اکوتیپ‌های مورد مطالعه اکوتیپ "کهگیلویه و بویراحمد" بیشترین عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی، کارآیی مصرف آب دانه، کارآیی مصرف آب اندام هوایی و شاخص برداشت را به خود اختصاص داد که می‌توان از آن، جهت برنامه‌های اصلاحی گیاه خارمریم و معرفی ارقام سازگار آن استفاده کرد. گیاه خارمریم دارای مشکلاتی از جمله ریزش بذر شدید، رشد نامحدود، خار و تیغ در ساقه، گل و انتهای برگ‌ها، حساسیت به قارچ مخصوصا در طول دوره روزت و عدم همزمانی رسیدگی بذر بوده و برنامه‌های اصلاحی می‌تواند بر این مشکلات متمرکز شود. همچنین با انجام مطالعات تکمیلی پیرامون غلظت و ترکیبات ماده موثره این گیاه می‌توان در جهت توسعه کاشت و افزایش عملکرد این گیاه در کشور قدم‌های موثری برداشت.

جدول ۸. مقایسه میانگین پیامدهای برهمکنش تاریخ کاشت و اکوتیپ بر صفات مختلف اندازه‌گیری‌شده در گیاه خارمریم.

Planting date	Ecotype	Seed yield (Kg/m^2)	Shoot dry weight (Kg/m^2)	Number Of head flowers	Plant Height (cm)	Seed water use efficiency (Kg/m^3)	Shoot water use efficiency (Kg/m^3)	Harvest Index (%)	The GDD of Physiological maturity
September 27th	Isfahan	0.232 ef	10.2 cd	58.8 f	97.4 g	0.122 de	4.76 cde	2.57 gh	2437 d
	Khuzestan-Omidiyeh	0.191 ij	7.72 hi	48.4 gh	80 l	0.101 i	3.63 i	2.78 a-f	2366 e
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.263 bc	10.1 d	54.6 fg	111 f	0.138 b	4.77 cde	2.89 abc	2395 de
	Hungary	0.220 g	9.4 ef	50.1 gh	83.5 k	0.117 fg	4.36 fg	2.66 e-h	2352 e
October 17th	Isfahan	0.283 a	11.3 a	127 a	150 a	0.127 c	4.57 ef	2.76 b-f	2889 c
	Khuzestan-Omidiyeh	0.231 ef	9.41 ef	106 c	91 ij	0.103 i	3.77 hi	2.74 c-f	2858 c
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.283 a	10.9 ab	114 bc	143 b	0.126 cd	4.37 fg	2.88 abc	2873 c
	Hungary	0.266 b	10.7 bc	123 ab	129 c	0.119 ef	4.32 fg	2.76 c-f	2858 c
November 6th	Isfahan	0.241 d	9.88 de	92.4 d	123 d	0.135 b	4.99 bc	2.72 d-g	3314 b
	Khuzestan-Omidiyeh	0.196 i	7.75 h	71.4 e	92.7 i	0.111 h	3.93 h	2.82 a-e	3228 b
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.258 c	10.3 cd	90.8 d	117 e	0.145 a	5.30 a	2.76 c-f	3314 b
	Hungary	0.237 de	10.4 bcd	86.1 d	110 f	0.134 b	5.24 ab	2.54 h	3370 b
November 26th	Isfahan	0.217 g	9.19 fg	52.1 fgh	92.6 i	0.129 c	4.92 cd	2.63 fgh	3696 a
	Khuzestan-Omidiyeh	0.187 j	7.19 i	48.1 gh	84.8 k	0.113 gh	3.83 hi	2.93 ab	3669 a
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.229 f	8.66 g	53.7 fg	95.1 h	0.136 b	4.69 de	2.94 a	3722 a
	Hungary	0.206 h	8.09 h	44 h	88.8 j	0.122 e	4.30 g	2.84 a-d	3696 a
March 10th	Isfahan	0.681 l	4.01 k	20.4 j	97.4 g	0.042 k	2.25 k	1.89 i	1940 i
	Khuzestan-Omidiyeh	0.578 m	3.54 k	29.5 i	80 l	0.036 l	2.01 k	1.82 i	2218 f
	Kohgiluyeh va Boyer Ahmad	0.796 k	4.84 j	25.7 ij	111 f	0.050 j	2.78 j	1.83 i	2128 g
	Hungary	0.819 k	4.74 j	23.7 ij	83.5 k	0.050 j	2.65 j	1.92 i	2038 h

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

تاریخ‌های کشت بر اساس تقویم شمسی به‌ترتیب ذکرشده می‌باشند: ۱. ششم مهر، ۲. بیست و ششم مهر، ۳. شانزدهم آبان، ۴. ششم آذر، ۵. بیستم اسفند.

۵. منابع

Abdollahzare, S., Fateh, E., & Aeineband, A. (2011). Investigation into different sowing dates and fertilization methods (chemical and organic) on yield and yield components of milk thistle (*Silybum marianum* L.). *Journal of Plant Productions*, *35*(1), 129-143. (In Persian).

Abenavoli, L., Capasso, R., Milic N., & Capasso, F. (2010). Milk thistle in liver diseases: Past, present, future. *Phytotherapy Research*, *24*(10), 1423-1432.

Afshar, R.K., Chaichi, M.R., Assareh, M.H., Hashemi, M., & Liaghat, A. (2014). Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). *Industrial Crops and Products*, *58*, 166-172.

Amin Azarm, D., Jalali, A.H., & Safaei, L. (2023). The role of zinc foliar application on modulating the effects of drought stress in some wheat cultivars. *Crop Science Research in Arid Regions*, *4*(2), 305-320. (In Persian).

Amiri, M.B., Jahan, M., & Moghaddam, P.R. (2022). An exploratory method to determine the plant characteristics affecting the final yield of *Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey. under fertilizers application and plant densities. *Scientific Reports*, *12*, 1881.

Asadi, S., Moghaddam, H., Naghdibadi, H., Naghavi, M., & Salami, A.R. (2021). The effect of deficient irrigation on growth period duration and phenology of some *Cannabis* ecotypes. *Journal of Crops Improvement, 23*(3), 577-563. (In Persian).

Azizi, K., Alam, J.N., Faizian, M., & Heydari, R. (2017). Effects of planting season and population type on quantitative and qualitative performance of milk thistle (*Silybum marianum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *33*(5), 754-768. (In Persian).

Bahmani, K., Izadi, A., Darbandi, A., & Akbari, A. (2016). Effects of drought stress on seed yield and yield components in drought tolerant synthetic cultivars and ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, *24*(2), 249-263. (In Persian).

Bashir, M.U., Akbar, N., Iqbal, A., & Zaman, H. (2010). Effect of different sowing dates on yield and yield components of direct seeded coarse rice (*Oryza sativa* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *47*(4), 361-365.

Basra, A. (1997). *Mechanisms of environmental stress resistance in plants*. CRC Press, Mashhad. (In Persian).

Belaqziz, S., Khabba, S., Kharrou, M.H., Bouras, E.H., Er-Raki, S., & Chehbouni, A. (2021). Optimizing the sowing date to improve water management and wheat yield in a large irrigation scheme, through a remote sensing and an evolution strategy-based approach. *Remote Sensing*, *13*(18), 3789.

Dorri, M.A., Kamkar, B., Aghdasi, M., & Komshikamar, E. (2014). Determination of the best model to evaluate germination cardinal temperature of *Silybum marianum* as a medicinal plant. *Iranian Journal of Seed Science and Technology, 3*(2), 189-200. (In Persian).

Dorri, M. (2015). Effect of planting date on yield and yield components of *Silybum marianum* under Golestan climatic conditions. *Journal of Crop Production*, *8*(4), 67-86. (In Persian).

Estaji, A., & Niknam, F. (2020). Foliar salicylic acid spraying effect on growth, seed oil content, and physiology of drought-stressed *Silybum marianum* (L.) plant. *Agricultural Water Management, 234*, 106-116.

Ghanbari, J., Khajoei-Nejad, G., & Mohammadi-Nejad, G. (2014). AMMI analysis application for explanation of ecotype by sowing date (E×SD) interaction in terms of seed yield in cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes. *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding*, *3*(2), 19-27. (In Persian).

Gharechaei, N., Paknejad, F., Rad, A.H.S., Tohidloo, G., & Jabbari, H. (2019). Change in oil fatty acids composition of winter oilseed rape genotypes under drought stress and different temperature regimes. *Plant, Soil and Environment, 65*(10), 503-507. (In Persian).

Ghasemi, A., & Arfania, H. (2021). The effect of drought stress and planting date on morphophysiological traits and yield in two varieties of millet. *Journal of Soil Management and Sustainable Production, 11*(1), 133-148. (In Persian).

Golestani, M. (2020). Evaluation of yield and some agronomical traits in *Dracocephalum Moldavica* (L.) ecotypes under drought stress condition. *Journal of Crop Breeding*, *12*(36), 193-204. (In Persian).

Goli, S.A.H., Kadivar, M., Bahrami, B., & Sabzalian, M.R. (2008). Physical and chemical characteristics of *Silybum marianum* seed oil. *Journal of Food Science and Technology, 4*, 27-31. (In Persian).

Hetz, E., Liersch, R., & Schieder, O. (1995). Genetic investigations on *Silybum marianum* and *S. eburneum* with respect to leaf colour, outcrossing ratio, and flavonolignan composition. *Planta Medica*, *61*(01), 54-57.

Jiang, H., & Fry, J. (1998). *Drought responses of perennial ryegrass treated with plant growth regulators*. HortScience: A publication of the American Society for Horticultural Science, USA.

Kamali, N., Khajehpour, M.R., & Soleymani, A. (2017). Studying some physiological factors influencing the growth of barley cultivarsas affected by planting date. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(1), 183-197. (In Persian).

Khalatbari, A., Valadabady, S.A.R., Shirani Rad, A.H., Sayfzadeh, S., & Zakerin, H.R. (2020). Response of six winter rapeseed hybrids to drought stress at different planting dates. *Iranian Journal of Field Crop Science, 51*(4), 121-131. (In Persian).

Leakey, A.D., Uribelarrea, M., Ainsworth, E.A., Naidu, S.L., Rogers, A., Ort, D.R., & Long, S.P. (2006). Photosynthesis, productivity, and yield of maize are not affected by open-air elevation of CO_2 concentration in the absence of drought. *Plant Physiology*, *140*(2), 779-790.

Majidi, M.M., Pirnajmedin, F., Vakili, Z., Shahidaval, S., & Hughes, N. (2021a). Pollination system and deficit irrigation affect flavonolignan components of sylimarin, oil, and productivity of milk thistle. *Crop Science, 61*(4), 2651-2657.

Majidi, M.M., Shafiei-Koij, F., Pirnajmedin, F., Jami, M., & Radan, Z. (2021b). Fatty acid profile, silymarin content and production properties of milk thistle (*Silybum marianum*) germplasm under different water environments. *Crop and Pasture Science, 72*(4), 302-310.

Mirzaei, Y., Alavi Siney, S.M., & Yarahmadi, S. (2020). Determination of the most suitable planting date and garlic ecotype (*Allium sativum* L.) in South Kerman. *Applied Field Crops Research, 33*(3), 73-94. (In Persian).

Moslemi, E., Akbarian, M.M., Ravari, S.Z., Yavarzadeh, M.R., & Modafeh-Behzadi, N. (2023). Investigation of the effect of drought stress on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes in climatic conditions of Kerman province. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants, 10*(4), 109-121. (In Persian).

Mozhdehi, S.T., Esfahani, M., Bakhshi, D., & Rabiei, B. (2013). Effects of planting date and plant density on phyllochron and active ingredient content in milk thistle (*Silybum marianum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 29*(4), 828-841. (In Persian).

Nasrabadi, S.E., Ghorbani, R., Moghaddam, P.R., & Mahallati, M.N. (2014). Phenological response of milk thistle (*Silybum marianum* [L.] Gaertn.) to different nutrition systems. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 1*(4), 148-151.

Nooripoor, J., & Ehsanzadeh, P. (2012). Interrelations of some antioxidants, physiological characteristics and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science, 43*(1), 81-91. (In Persian).

Noorollahi, M., Hassanli, A., Ghanbarian, G., & Taghvaei, M. (2016). Determination of crop coefficient (Kc) for *Rosmarinus officinalis* (L.), *Lavandula angustifolia* (Mill.) and *Silybum marianum* (L.) gaertnas medicinal plants using water balance approach. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 10*(1), 117-127. (In Persian).

Omidbaigi, R. (1998). Silymarin and silybin production from wild and cultivated milk thistle seed. *Iranian Journal of Agricultural Sciences, 29,* 414-420. (In Persian).

Osman, Y.A.H. (2009). Comparative study of some agricultural treatment's effects on plant growth, yield and chemical constituents of some fennel varieties under Sinai conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 5*(4), 541-554.

Ottai, M.E.S., & Abdel-Moniem, A.S.H. (2006). Genetic parameter variations among milk thistle, *Silybum marianum* varieties and varietal sensitivity to infestation with seed-head weevil, *Larinus latus* Herbst. *International Journal of Agriculture and Biology, 6*, 862-866.

Ozkan, B., & Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in the Southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 7*, 367-380.

Parveen, A., Parveen, B., Parveen, R., & Ahmad, S. (2015). Challenges and guidelines for clinical trial of herbal drugs. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 7(4), 329-33.*

Rosati, A., & DeJong, T. (2003). Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. *Annals of Botany, 91*(7), 869-877.

Saghalli, A., Farkhari, M., Salavati, A., Alamisaeid, K., & Abdali Mashhadi, A.R. (2018). Evaluation of the genetic diversity of *Silybum marianum* (L.) ecotypes using yield components, morphological and phenological traits. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33*(6), 990-1002. (In Persian).

Sarani, M., Allahdou, M., Mehravaran, L., & Piri, H. (2022). The effect of various irrigation methods on physiology and biochemical traits of milk thistle (*Silybum marianum*). *Crop Science Research in Arid Regions, 4*(1), 113-127. (In Persian).

Vaknin, Y., Hadas, R., Schafferman, D., Murkhovsky, L., & Bashan, N. (2008). The potential of milk thistle (*Silybum marianum* L.), an Israeli native, as a source of edible sprouts rich in antioxidants. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 59*(4), 339-346.

Wang, W., Vinocur, B., & Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta, 218*, 1-14.

Zand-Silakhoor, A., Madani, H., Heidari Sharifabadi, H., Mahmoudi, M., & Nourmohamadi, G. (2022). Evaluation of yield, harvest index, and water use efficiency of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in different treatments of irrigation and sowing date. *Journal of Crop Ecophysiology, 64*(4), 511-526. (In Persian).

Zangani, E., Zehtab Salmasi, S., Andalibi, B., & Zamani, A.A. (2017). Enhancement of drought stress tolerance in two genotypes of milk thistle (*Silybium marianum* (L.) Gaertn.) by exogenous application of sodium nitroprusside. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33*(4), 636-648. (In Persian).