نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۸، بهمن - اسفند ۱۴۰۳، ص. ۹۱۰-۸۹۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 18, Feb.-Mar. 2025, p. 895-910

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی عملکرد محصول و بهره‌وری آب، عملکرد روغن و میزان اسیدهای چرب گیاه دارویی خارمریم در پاسخ به تیمارهای آبیاری و کودهای زیستی

جعفر غفارزاده[۱]، رضا امیرنیا[۲]، امیر رحیمی[۳*] و افشین خورسند[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر رژیم آبیاری و کودهای زیستی در عملکرد محصول و شاخص بهره‌وری آب (WP)، میزان اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع و عملکرد روغن خارمریم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان میاندوآب واقع در جنوب استان آذربایجان‌غربی انجام شد. عامل اصلی رژیم آبیاری (آبیاری کامل و عدم آبیاری) و عامل فرعی پنج سطح کود زیستی (شاهد، نیتروژنه (N)، فسفاته (P)، پتاسه (K) و کامل (NPK)) بودند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که حداکثر عملکرد دانه و حداکثر عملکرد بیولوژیک گیاه خارمریم به‌ترتیب برای تیمارهای P و NPK در شرایط آبیاری کامل مشاهده گردید. در میان تیمارهای کود زیستی نیز تیمار P حداکثر ۲۷/۴ درصد و تیمار عدم مصرف کود زیستی حداقل مقدار روغن ۲۵/۵ درصد را به‌خود اختصاص دادند. طبق نتایج، عملکرد روغن خارمریم تحت تأثیر شرایط محیطی و رشدی می‌باشد؛ به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل عملکرد روغن (۵/۲ گرم در بوته و ۲۵۵/۷ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از شرایط عدم آبیاری (۳/۵ گرم در بوته و ۱۷۱/۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، حداکثر شاخص WP در تیمار آبیاری کامل مربوط به P و NPK می‌باشد. همچنین در تیمار بدون آبیاری، حداکثر شاخص WP مربوط به NPK با مقدار ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش آبیاری، درصد روغن، عملکرد دانه، گیاهان دارویی، ماریتیغال

مقدمه

گیاهان دارویی از گیاهان مهم اقتصادی به شمار می‌روند که به صورت خام یا فرآوری شده در طب سنتی و نوین صنعتی مورد استفاده و بهره‌وری قرار می‌گیرند. رویکرد جدید علم به سمت گیاهان دارویی و مواد طبیعی به‌جای استفاده از مواد شیمیایی مصنوعی، اهمیت کشت و فرآوری این گیاهان را روشن می‌سازد؛ به‌طوری‌که بازگشت به سوی طب سنتی سبب شده که بیش از ۸۰ درصد تحقیقات دارویی جهان با استفاده از مواد گیاهی و طبیعی معطوف شود. اثرات جانبی داروهای شیمیایی، الزامات زیست‌محیطی و روند تدریجی گرایش به سوی فرآورده‌های طبیعی، باعث شده که به ویژه در دهه اخیر، استفاده از گیاهان دارویی در کشورهای پیشرفته شتابی بیشتر یابد. ایران با داشتن اقلیم‌های متنوع در نتیجه وجود آشیان‌های اکولوژیکی گوناگون دربردارنده بیش از ۸۰۰۰ گونه گیاهی می‌باشد که در این بین حداقل ۲۳۰۰ گونه موجود، دارویی می‌باشد؛ به‌طوری‌که به اندازه چهار برابر قاره اروپا دارای پتانسیل تولید گیاهان دارویی است (امیدبیگی، ۱۳۹۴).

خارمریم یا ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) یکی از مهم ترین گیاهان دارویی است که از ۲۰۰۰ سال پیش برای درمان بیماری‌های کبدی مورد استفاده قرار گرفته است (Afshar et al., 2014). ماریتیغال گیاهی علفی و یکساله می‌باشد (Ciocarlan et al., 2018). در میوه ماریتیغال فلاونوئیدهای مختلفی ساخته و ذخیره

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳- دانشیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- محقق، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: e.rahimi@urmia.ac.ir)

می‌شود که در صنایع داروسازی اهمیت زیادی دارد (Diukendjieva et al., 2019). گیاه ماریتیغال در درمان بیماری‌های طحال، درمان سنگ‌های صفراوی، رفع سردردهای میگرنی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد (Akkaya and Yilmaz, 2012). دانه این گیاه دارای ۲۵-۲۰ درصد روغن می‌باشد که ۶۰-۵۰ درصد آن را اسید اولئیک تشکیل داده است. روغن ماریتیغال منبع غنی از اسیدهای چرب غیراشباع و ویتامین E است؛ لذا از نقطه نظر تغذیه‌ای دارای ارزش زیادی می‌باشد (قوامی و همکاران، ۱۳۹۱).

مطالعات متعدد در این گونه دارویی نشان می‌دهد که ماریتیغال های موجود در مناطق مختلف جهان دارای ترکیبات چربی خاصی هستند (Ciocarlan et al., 2018)؛ به‌عبارت دیگر محتوای روغن ماریتیغال متأثر از نوع واریته، شرایط آب و هوایی و نوع خاک منطقه می‌باشد. محتوای روغن ماریتیغال در مقایسه با روغن تجاری سویا ۲۰ درصد بیشتر است. ضریب شکست روغن ماریتیغال در محدوده ۱/۴۵ می‌باشد که کمتر از نمونه زیتون است و نشان‌دهنده پایین‌تر بودن عدد یدی روغن ماریتیغال می‌باشد. همچنین از نظر ضریب شکست، روغن ماریتیغال مشابه روغن بادام زمینی است. ضریب شکست اغلب به‌عنوان ملاکی از خلوص و ماهیت روغن استفاده می‌شود (علیرضالو و همکاران، ۱۳۹۰). خصوصیات کیفی هر نوع روغن بستگی به ترکیب اسیدهای چرب آن دارد و تاکنون چندین مطالعه بر روی ترکیبات اسیدهای چرب ماریتیغال صورت گرفته است (Fadavi et al., 2006; Kuhnlein et al., 2006). سیوکارلان و همکاران با هدف آشکارسازی ترکیبات بیوشیمیایی روغن ماریتیغال، محتوای اسیدهای چرب این گیاه دارویی را با استفاده از کروماتوگرافی گازی و مایع مورد بررسی قرار دادند (Ciocarlan et al., 2018). محتوای روغن دانه‌های ماریتیغال در تحقیق علیرضالو و همکاران (۱۳۹۰)، ۲۸ درصد به‌دست آمد و بر اساس نتایج حاصل از اندازه‌گیری اسیدهای چرب توسط کروماتوگرافی گازی سه اسید چرب عمده (اسیدهای چرب اولئیک اسید، لینولئیک اسید و پالمیتیک اسید) در روغن ماریتیغال به میزان ۸۵ درصد بود و ترکیب اصلی اسیدهای چرب روغن ماریتیغال را تشکیل دادند.

گیاه ماریتیغال به‌دلیل سازگاری با شرایط آب و هوایی ایران و مقاومت به تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه استفاده از کودهای زیستی، مسئله مهمی در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد که تحت شرایط بدون آبیاری می‌تواند از اهمیت مضاعفی برخوردار باشد (Gorgini et al., 2017). با توجه به تحقیقات اندکی که در رابطه با مطالعه همزمان شرایط بدون آبیاری با کودهای زیستی در گیاهان دارویی صورت پذیرفته است؛ در تحقیق حاضر تاثیر کودهای زیستی بر کیفیت و کمیت گیاه دارویی ماریتیغال در شرایط بدون آبیاری نیز مورد مطالعه قرار گرفت. براساس تحقیقات انجام شده، کاربرد کودهای زیستی به تنهایی و یا در ترکیب با یکدیگر، در بهبود ویژگی‌های رشدی و عملکرد گیاهان دارویی مؤثر هستند و استفاده تلفیقی کودهای رایج و زیستی و تنظیم‌کننده‌های رشد، سبب افزایش مقدار سیلی‌مارین از طریق افزایش عملکرد بذر ماریتیغال در هکتار می‌گردد (Geneva et al., 2008). کود زیستی فسفره حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده فسفات است که با استفاده از دو ساز و کار ترشح اسیدهای آلی و آنزیم فسفاتاز باعث تجزیه ترکیبات فسفره نامحلول در خاک شده و در نتیجه، امکان جذب شدن این عنصر را برای گیاهان فراهم می‌کند. بنا به میزان فسفات قابل جذب خاک، هر بسته از این کود زیستی می‌تواند جایگزین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفاته مورد نیاز گیاه شود. کود زیستی پتابارور - ۲ حاوی دو باکتری حل‌کننده پتاسیم است که ترکیبات نامحلول پتاسیم موجود در خاک اطراف ریشه را تجزیه کرده و با رهاسازی این یون باعث جذب بهینه پتاسیم می‌شوند. به این ترتیب به‌عنوان جایگزین سالم حداقل ۵۰ درصد کودهای شیمیایی پتاسه کاربرد داشته و توصیه می‌شود.

ولایی و همکاران (۱۳۹۴)، در آزمایشی جهت بررسی اثر کودهای آلی و زیستی بر صفات رشد و عملکرد کمی گیاه دارویی ماریتیغال عنوان داشتند که کود زیستی فسفات بارور ۲ اثر معنی‌داری بر تعداد کاپیتول، وزن تر برگ، وزن تر ساقه، وزن تر گل، وزن تر کل بوته، وزن خشک گل، وزن خشک کل بوته و عملکرد دانه دارد. سعیدی و همکاران (۱۳۹۱)، با هدف مطالعه تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی ماریتیغال نتیجه گرفتند که تغذیه با کودهای زیستی نیتروکسین و بیوفسفر تأثیر معنی‌داری در ارتفاع گیاه و تعداد بذر در کاپیتول دارد. بنابراین مدیریت کود به‌عنوان یک عامل مهم در موفقیت کشت گیاهان دارویی مطرح می‌باشد و در راستای نیل به این هدف، شناسایی کودهای سازگار با طبیعت و مناسب برای گیاه می‌تواند اثرات مطلوبی بر شاخص‌های کمی و کیفی ماریتیغال داشته باشد. همچنین نتایج تحقیقات دیگری نشان داد که استفاده از کودهای زیستی از طریق فراهمی عناصر غذایی موجب تحریک رشد گیاه و افزایش اجزای عملکرد و به تبع آن افزایش عملکرد گیاه ماریتیغال می‌گردد (Mahfouz and Sharaf-Eldin, 2007).

شناسایی و کشت دانه‌های روغنی جدید، گامی مهم در جهت تأمین روغن مورد نیاز در کشور است. یکی از جنبه‌های تحقیق حاضر مطالعه درصد ترکیبات اسید چرب روغن ماریتیغال بود؛ چرا که روغن و چربی از اجزاء اصلی غذا می‌باشد که یک گرم از آن حدود ۹/۲ کیلو کالری انرژی در بدن تولید می‌کند. علاوه بر این، اخیراً و با رشد دانش عمومی، تقاضای مردم برای مصرف روغن‌هایی که علاوه بر تأمین انرژی و ایجاد طعم در سلامت‌شان هم مفید باشد، افزایش یافته است. از طرف دیگر خصوصیات کیفی هر نوع روغن بستگی به ترکیب اسیدهای چرب آن دارد و یکی از اهداف اصلاحی مهم در ماریتیغال علاوه بر کمیت روغن، افزایش کیفیت روغن می‌باشد. اگرچه تاکنون

تحقیقات متعددی در مورد ارزیابی میزان روغن و کیفیت آن در بین گونه‌های مرتعی انجام شده است، اما گزارشات محدودی در رابطه با کیفیت روغن ماریتیغال در شرایط تنش خشکی و کاربرد کودهای زیستی وجود دارد؛ بنابراین در تحقیق حاضر پتانسیل عملکرد و روغن این گیاه در شرایط اقلیمی متفاوت از نظر آبیاری و نیز سیستم‌های زراعی مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال زراعی ۱۳۹۶- ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان میاندوآب واقع در جنوب استان آذربایجان غربی (طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۶ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و عرض ۳۶ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی از خط استوا) اجرا گردید. ارتفاع محل انجام آزمایش ۱۳۱۴ متر از سطح دریای آزاد بود. آب و هوای منطقه متغیر بوده، دارای تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد می‌باشد. میزان بارش متوسط در منطقه ۲۸۹ میلی‌متر ثبت شده است. جدول ۱ حاوی اطلاعات هواشناسی مربوط به ماه‌های اجرای آزمایش می‌باشد. قبل از کاشت گیاه به‌منظور اندازه‌گیری برخی صفات فیزیکی و شیمیایی خاک زراعی مزرعه تحقیقاتی مورد نظر و همچنین برآورد نیاز کودی به‌طور تصادفی از ۵ نقطه نمونه خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه و بعد از مخلوط کردن همه نمونه‌ها به آزمایشگاه فرستاده شد. نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی مربوط به ماه‌های انجام آزمایش در سال زراعی

ماه میلادی	ماه شمسی	تعداد روزهای ثبت شده	دمای هوا (سانتی‌گراد)		بارش ماهانه (mm)	بارش مؤثر (mm)
			حداقل	حداکثر		
March	۱۰ اسفند (۱۳۹۵) تا ۱۱ فروردین	۳۱	-۴/۴	۱۸/۶	۳۸/۸	۳۱/۰۴
April	۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت	۳۰	-۲	۲۷	۳۴/۶	۲۷/۶۸
May	۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد	۳۱	۵/۴	۳۱/۶	۱۲/۲	۹/۷۶
June	۱۱ خرداد تا ۹ تیر	۳۰	۷/۴	۳۹/۸	۱/۰	۰/۸۰
July	۱۰ تیر تا ۹ مرداد	۳۱	۱۳/۶	۳۸/۲	۱/۱	۰/۸۸
August	۱۰ مرداد تا ۹ شهریور	۳۱	۱۱	۳۸/۶	۰	۰
September	۱۰ شهریور تا ۸ مهر	۳۰	۵/۲	۳۷/۴	۰	۰
October	۹ مهر تا ۹ آبان	۳۱	-۰/۶	۲۸/۶	۱/۱	۰/۸۸

جدول ۲- اطلاعات فیزیکو شیمیایی مربوط به خاک زراعی مزرعه تحقیقاتی

نیتروژن کل (درصد)	فسفر	پتاسیم	آهن	روی	منگنز	کربن آلی (درصد)	SP (درصد)	TNV (درصد)	pH (-)	EC (دسی-زیمنس بر متر)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)													
۰/۰۱۵	۲۱/۴۸	۵۵۰/۴	۸/۷	۰/۹	۱۲/۳	۱/۵۳	۴۶	۱۴/۸	۷/۸۲	۳/۳۷	۱۹	۵۷	۲۴	لوم سیلتی

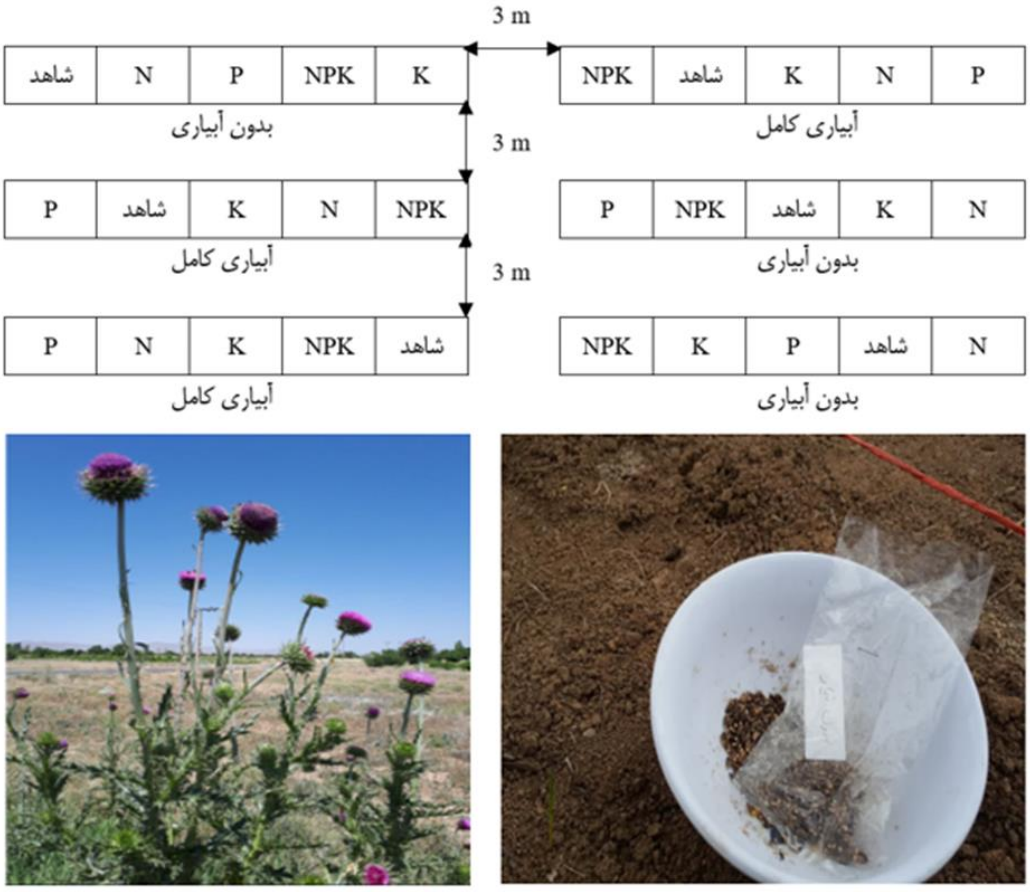
آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار پیاده شد (شکل ۱). عامل اصلی آبیاری در دو سطح (شرایط آبیاری کامل و شرایط بدون آبیاری) و عامل فرعی در پنج سطح کودهای زیستی (شامل شاهد (بدون مصرف کود)، کود زیستی نیتروژنه، کود زیستی فسفاته، کود زیستی پتاسه و کود زیستی کامل (NPK)) بودند؛ شایان ذکر است در همه کرت‌ها ۵۰ درصد کودهای شیمیایی ماکرو استفاده شد. در تحقیق حاضر روش آبیاری از نوع آبیاری سطحی (روش جوی و پشته‌ای) بود. سه آبیاری با عمق آب ۱۰۰ میلی‌متر در نقاط حساس گیاه خارمریم از جمله دوره رویشی، دوره قبل گلدهی و دوره پر شدن دانه صورت گرفت؛ لذا نیاز آبی این گیاه ۳۰۰ میلی‌متر یا ۳ هزار مترمکعب بر هکتار می‌باشد. آبیاری در تاریخ‌های ۱۵ اردیبهشت، ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خرداد با فاصله ۱۵ روزه، صورت گرفت. همچنین طول دوره رشد گیاه خارمریم چهار ماه (اواخر اسفند تا اواسط تیر) بود.

ازتوبارور -۱ حاوی باکتری‌های گونه ازتوباکتر وینلندی سویه O4 می‌باشد که فعالانه تثبیت نیتروژن هوا را به‌صورت قابل جذب برای گیاهان انجام می‌دهند. هر بسته ۱۰۰ گرمی ازتوبارور -۱ می‌تواند جایگزین سالم و مؤثر ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم کود شیمیایی نیتروژنه در هر بار مصرف می‌شود. کودهای زیستی مورد نظر به‌صورت بذرمال، هنگام کاشت مورد استفاده قرار گرفت. محلول کود زیستی را در آب

مورد نیاز برای مرطوب کردن بذور یک هکتار مزرعه رقیق کرده، بذرها را در سایه روی نایلون و یا سطح تمیز ریخته شد و محلول رقیق شده را با وسیله‌ای مانند آبپاش و یا پس از صاف کردن محلول کودهای زیستی، به‌وسیله دستگاه سمپاش روی بذرها پاشیده شد و خوب مخلوط گردید. در صورت کاشت بذر به‌وسیله دستگاه ردیف‌کار، می‌توان با افزودن تدریجی بذر به مخزن ردیف‌کار، مقدار مورد نیاز محلول کود زیستی را روی بذرها پاشیده و کاملاً مخلوط کرد. با توجه به توصیه‌های شرکت تولیدکننده، مرطوب نمودن بذور کفایت می‌کرد، به این خاطر از خیس شدن آن‌ها خودداری شد.

بذر مورد استفاده در این آزمایش از توده‌های بومی شرق اروپا که اهلی‌سازی شده و در مزارع وسیعی در منطقه مذکور مورد کشت و کار قرار می‌گیرد، بود. بعد از عملیات خاکورزی در پاییز، تسطیح و آماده سازی زمین در اسفند ماه ۱۳۹۵ کرت‌هایی به مساحت ۶ مترمربع و در مجموع ۲۰ کرت جهت کشت آماده شد. کشت به‌صورت ردیفی بود و فاصله بین ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر لحاظ گردید. بذرها در اوایل فروردین ماه ۱۳۹۶ بعد از تلقیح با کودهای زیستی مورد نظر در عمق ۵-۳ سانتی‌متر کشت شدند.

پس از جوانه‌زنی بذور و رشد بوته‌ها، در مرحله ۴-۲ برگی در تاریخ ۲۱ فروردین ۱۳۹۶ با انجام تنک کردن بوته‌های اضافی حذف شدند و در نقاط مورد نیاز عمل واکاری در کرت‌ها انجام گرفت؛ همزمان با واکاری مبارزه با علف‌های هرز داخل کرت‌ها هم به روش دستی و در صورت نیاز انجام شد. هر کرت دارای ۵ ردیف کشت به طول ۲ متر بود. لازم به توضیح است که در تیمار آبیاری کامل یک ماه بعد از کشت گیاه، آبیاری هر ۱۵ روز یک‌بار انجام شد. همچنین زمان برداشت گیاهان چهار ماه بعد از کاشت موقع رسیدگی فیزیولوژیک بود. به‌دلیل عدم همزمان رسی بوته‌ها و قسمت‌های تشکیل‌دهنده بوته برداشت در چند مرحله پس از خشک و زرد شدن کامل بوته‌ها انجام گرفت. بوته‌های برداشت شده به مدت چند روز به‌وسیله آفتاب خشک شدند تا کاملاً رطوبت خود را از دست بدهند. سپس بوته‌های چیده شده برای هر کرت جداگانه پس از توزین نسبت به کوبیدن و جداکردن دانه‌ها اقدام شد. پس از آن باقی‌مانده شاخ و برگ به‌وسیله غربال و باددهی از بذرها جدا شده و محصول هر کرت به‌طور جداگانه داخل کیسه شماره‌گذاری شده ریخته و وزن گردید.



شکل ۱- نقشه طرح آزمایش مزرعه‌ای و تصویر بذر و گیاه خارمریم

برای تعیین عملکرد دانه در هکتار تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت پس از حذف دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از ابتدای کرت و ۰/۵ متر از انتهای کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای برداشت شدند. برای تعیین درصد روغن بذور آسیاب شده به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل دستگاه آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا رطوبت خود را کامل از دست بدهند. سپس از هر نمونه مقدار ۲/۵ گرم را در پارچه نازک توسط یک رشته سیم پیچیده و آن‌ها را وزن کرده و سپس در دستگاه روغن‌گیری قرار دادند. نمونه‌ها به مدت ۶ ساعت با محلول ۳۰۰ سی‌سی ان‌هگزان جوشیدند. بعد از زمان گفته شده، پارچه و بذرها دوباره به‌مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس وزن شدند. عددی به‌دست آمد که با قرار دادن آن در فرمول محاسبه روغن، درصد روغن محاسبه گردید. سپس نمونه روغن‌ها در میکروتیوپ ریخته شدند و برای تجزیه به آزمایشگاه فرستاده شد. عملکرد روغن در هکتار نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

(۱) عملکرد دانه × درصد روغن = عملکرد روغن

جهت تعیین پروفیل اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، استخراج روغن با استفاده از دستگاه سوکسله و حلال هگزان انجام شد. برای تعیین اسیدهای چرب از دستگاه کروماتوگرافی گازی[1] (GC) استفاده شد. نمونه‌های روغن را ابتدا با ورتکس کاملاً همگن نموده و ۱۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه به دقت وزن گردید. سپس چربی با افزودن ۳ میلی‌لیتر هیدروکسید پتاسیم متانولی (۲ مولار) صابونی و بعد با افزودن ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک متانولی (۱۲ درصد حجمی/حجمی) به متیل استر تبدیل گردید. متیل استر اسیدهای چربی در یک میلی‌لیتر هپتان نرمال استخراج و جهت آنالیز پروفیل اسیدهای چرب، یک میکرولیتر از فاز هپتان نرمال به دستگاه کروماتوگرافی گازی تزریق شد. جهت شناسایی تک تک اسیدهای چرب از مخلوط استاندارد اسیدهای چرب ساخت شرکت سیگما با مقایسه زمان‌های بازداری استفاده گردید. دستگاه کروماتوگراف گازی مدل Agilent–6890 ساخت کمپانی Agilent آمریکا، مجهز به دریچه تزریق کاپیلاری، ستون کاپیلاری ویژه تجزیه اسیدهای چرب (DB-wax) به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر با فاز ساکن پلی‌اتیلن گلیکول به ضخامت ۰/۲۵ میکرومتر، دتکتور یونش شعله‌ای (FID) می‌باشد. دمای اولیه آون در ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت یک دقیقه نگهداشته شده و بعد با سرعت ۲۵ درجه‌سانتی‌گراد بر دقیقه تا ۲۴۰ درجه‌سانتی‌گراد افزایش می‌یابد و ۸ دقیقه در همان دما می‌ماند. از گاز نیتروژن به‌عنوان گاز حامل و آراینده به‌ترتیب با سرعت جریان ۱ و ۴۵ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده گردید. دمای درچه تزریق در ۲۵۰ درجه‌سانتی‌گراد و دمای آشکارساز در ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده بودند. پردازش داده‌های دستگاه با استفاده از نرم‌افزار Chemstation در محیط ویندوز انجام شد.

برای تهیه آب دو بار تقطر از دستگاه GFL-2104 ساخت کمپانی GFL آلمان استفاده گردید. سانتریفوژ نمونه‌ها با دستگاه سانتریفوژ با دور (۵۰۰۰ دور بر دقیقه) ساخت کمپانی Hettich آلمان انجام شد. گازهای نیتروژن و هیدروژن مورد استفاده برای آنالیز با دستگاه کروماتوگراف گازی با خلوص تجزیه‌ای ۹۹/۹۹۹ درصد از شرکت اکسیژن سبلان نمایندگی شرکت Air Product انگلستان تهیه شدند. هوای فشرده از شرکت اکسیژن ارومیه گاز فراهم گردید. حلال‌های کلرفرم، هپتان نرمال و متانول با خلوص بالا از شرکت کالدون کانادا تهیه شده و بدون تخلیص مجدد مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اسید سولفوریک و هیدروکسید پتاسیم از شرکت مرک آلمان تهیه شدند. آزمون نرمال بودن توزیع اشتباهات آزمایشی و تجزیه واریانس برای تمام صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 انجام گرفت. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. در نهایت کلیه نمودارها نیز با برنامه Excel رسم شدند.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک گیاه خارمریم، برداشت محصول با حذف اثرات حاشیه‌ای از واحد سطح هر کرت صورت گرفت. عملکرد دانه خارمریم جهت خشک کردن به آزمایشگاه گروه زراعت انتقال داده شد. نمونه‌ها در آون تهویه‌دار با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و سپس توزین نمونه‌ها برای به‌دست آوردن عملکرد دانه گیاه توسط ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۱) صورت گرفت. در نهایت، اعداد حاصل از عملکرد گیاه برای یک هکتار تعمیم داده شدند (Khorsand et al., 2020). در شرایطی که کمبود آب آبیاری مانع گسترش سطح زیر کشت باشد، با استفاده بهینه و اقتصادی از آب، می‌توان سود حاصل را در واحد سطح افزایش داد و با انجام کم‌آبیاری، از محل آب صرفه‌جویی شده، اراضی بیشتری را به آبی تبدیل کرد (احمدی، ۱۳۹۶). بهره‌وری آب در واقع بیان‌کننده مقدار محصول یا سود به‌دست آمده از مصرف آب می‌باشد و شامل جنبه‌های مختلف مدیریتی آب می‌باشد (احسانی و خالدی، ۱۳۸۲). شاخص بهره‌وری آب[2] (WP) یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی و مدیریت بهینه مصرف آب در پروژه‌های تحقیقاتی است. با توجه به اندازه‌گیری عملکرد دانه گیاه خارمریم و مقدار آب مصرفی و بارش مؤثر در تیمارهای آبیاری کامل و بدون آبیاری، شاخص WP از روابط زیر محاسبه گردید (Molden et al., 2001):

1- Gas-Chromatography

2- Water productivity

$$WP = \frac{GY}{I + P_e} \quad (۲)$$

$$WP = \frac{GY}{P_e} \quad (۳)$$

که در این روابط، WP شاخص بهره‌وری آب ($kg\ m^{-3}$)، GY عملکرد دانه گیاه ($kg\ ha^{-1}$)، I و P_e به‌ترتیب حجم آب آبیاری و بارش مؤثر ($m^3\ ha^{-1}$) می‌باشد. همچنین لازم به‌ذکر هست که رابطه (۲) مربوط به تیمار آبیاری کامل و رابطه (۳) مربوط به تیمار بدون آبیاری می‌باشد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه در هکتار

نتایج حاصل از تجزیه واریانس برای عملکرد دانه در هکتار نشان داد که اثر رژیم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر کود زیستی و برهم‌کنش کود زیستی × آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در هکتار (۹۸۱/۶ کیلوگرم) در شرایط آبیاری کامل و تیمار کود زیستی فسفره مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه در هکتار (۵۴۸/۷ کیلوگرم) نیز به تیمار عدم مصرف کود زیستی در شرایط بدون آبیاری اختصاص داشت. تحت شرایط آبیاری کامل علاوه بر تیمار کود زیستی فسفره، تیمار کود زیستی کامل نیز مقدار قابل توجهی از عملکرد (۹۷۷/۱ کیلوگرم) را دارا بود. کمترین عملکرد دانه در هکتار (۸۸۰ کیلوگرم) تحت شرایط آبیاری کامل، در تیمار شاهد مشاهده گردید و با تیمارهای کود زیستی نیتروژنه و پتاسه در یک گروه آماری قرار گرفت. از طرف دیگر تحت شرایط عدم آبیاری تیمار کود زیستی کامل بیشترین عملکرد دانه در هکتار (۸۳۱/۷ کیلوگرم) را داشت و با سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری نشان داد (شکل ۲). در چندین تحقیق عملکرد بذر ماریتیغال ۱ الی ۱/۵ تن در هکتار برآورد شده است (Haban et al., 2009; Andrzejewska et al., 2011; Karkanis et al., 2011). از نتایج تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که کاهش فتوسنتز خالص و کاهش مواد غذایی انتقال یافته از برگ به دانه از پیامدهای تنش کمبود آب است که باعث کاهش عملکرد دانه در هکتار می‌شود. رِددی و همکاران در تشریح مهم‌ترین اثرات تنش خشکی به کاهش میزان فتوسنتز در نتیجه‌ی بسته شدن روزنه‌ها (کاهش رشد گیاه)، کمبود مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه‌ها و کاهش دوره پر شدن دانه‌ها اشاره داشتند (Reddy et al., 2004). تنش خشکی منجر به تولید گونه‌های فعال اکسیژن[1] (ROS) از جمله رادیکال سوپر اکسید (O_2)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، رادیکال هیدروکسیل (OH) و ... می‌گردد (Cruz de Carvalho, 2008; Takahashi et al., 2018). فعالیت این گونه‌ها باعث بروز صدماتی مثل اکسید شدن چربی‌ها، تغییر ساختار غشاء و از هم پاشیدگی یکپارچگی آن، تغییر ساختار پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن یا از بین رفتن رنگدانه‌هایی مثل کلروفیل، حمله به مولکول‌های آبی مثل DNA و اختلال در این رشته‌های پروتئینی می‌گردد. این صدمات فیزیولوژیک موجب کاهش رشد و توسعه سلول‌ها به‌ویژه در ساقه و برگ‌ها و از بین رفتن کلروفیل می‌گردد. کاهش رشد و توسعه سلول‌ها و از بین رفتن کلروفیل موجب کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز، اجزای رشد ریشی و اجزای عملکرد می‌گردد. به‌عبارت دیگر کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به‌علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسیمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در اثر تنش کمبود آب سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (محمدپور وشوایی و همکاران، ۱۳۹۶).

عملکرد بیولوژیک در هکتار

از نظر آماری عملکرد بیولوژیک ماریتیغال در هکتار، در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای آبیاری، کود زیستی و برهم‌کنش میان این دو قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل در شکل ۳ نشان داد که تیمار کود زیستی کامل در شرایط آبیاری کامل بیشترین (۶۵۷۸ کیلوگرم در هکتار) و تیمار عدم مصرف کود زیستی در شرایط بدون آبیاری کمترین مقدار (۴۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) را داشتند. در شرایط آبیاری کامل علاوه بر تیمار کود زیستی کامل، تیمار کود زیستی نیتروژنه نیز مقدار قابل توجهی عملکرد بیولوژیک (۶۳۶۷ کیلوگرم در هکتار) را دارا بود. همانطور که انتظار می‌رفت کمترین عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری کامل به تیمار شاهد (۵۸۲۴ کیلوگرم در هکتار) اختصاص یافت که با تیمارهای کود زیستی فسفره و پتاسه در یک گروه آماری قرار گرفت. همچنین در شرایط عدم آبیاری تیمار کود زیستی کامل بیشترین عملکرد بیولوژیک (۵۹۰۵ کیلوگرم در هکتار) را از خود نشان داد؛ پس از آن تیمار کود زیستی نیتروژنه (۵۰۹۲ کیلوگرم در هکتار) قرار داشت و سایر تیمارها نیز اختلاف آماری معنی‌داری با شاهد نداشتند.

سانچز و همکاران در گونه‌های *Plantago major* L. و *Plantago lanceolota* L. گیاه بارهنگ گزارش کردند که مصرف کودهای زیستی سبب افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Sanchez et al., 2008). رودریگز و همکاران کاهش عملکرد بیولوژیک در گیاهان تنش دیده را در نتیجه وزن خشک ریشه و ساقه و برگ گیاه عنوان نمودند (Rodriguez et al., 2005). در توافق با این نتایج، انوار و همکاران مشاهده نمودند که مصرف کود NPK به همراه ورمی‌کمپوست موجب افزایش عملکرد بیولوژیک در گیاه دارویی

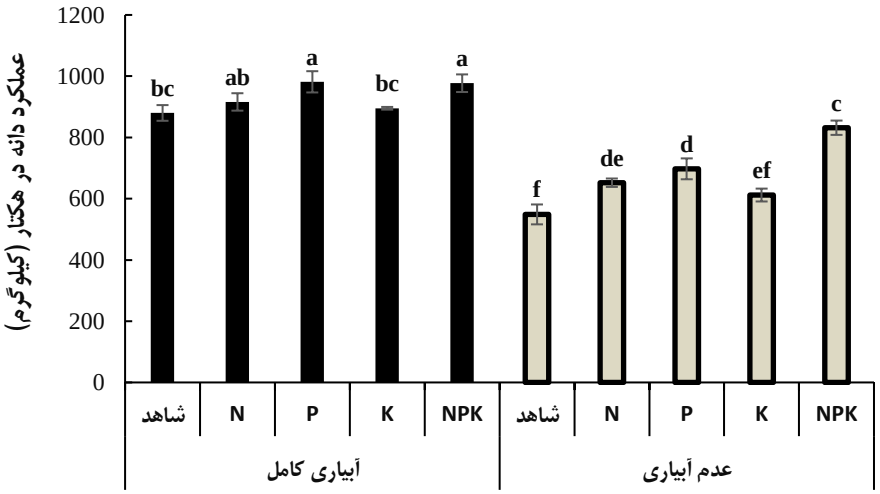
1- Reactive Oxygen Species

ریحان نسبت به تیمار شاهد می‌شود (Anwar et al., 2005) اما در تضاد با این یافته‌ها، اسکندری نصرآبادی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که اثر تیمارهای کودی ساده و تلفیقی بر عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه دارویی ماریتیغال معنی‌دار نمی‌باشد. گزارشات مشابه توسط یزدانی بیوکی و همکاران (۱۳۸۹)، نیز حاکی از آن است که تغییرات عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه دارویی ماریتیغال در پاسخ به کود شیمیایی، کود زیستی و آلی در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنی‌دار نیست. با این حال، گزارش شده است که اعمال کودهای زیستی نیتروژنه موجب بهبود و تسریع در مرحله رشد و عملکرد گیاهانی همچون شنبلیله می‌گردد (Nagananda et al., 2010) و موجب افزایش مقاومت گیاهان نسبت به تنش نیز می‌شود (Saravanakumar et al., 2011). چنانچه در تحقیق حاضر عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمار کود زیستی کامل در شرایط عدم آبیاری با تیمار شاهد در شرایط آبیاری کامل، مورد مذکور را تأیید می‌نماید.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی بر مبنای طرح اسپلیت پلات

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	درصد روغن	عملکرد روغن در بوته	عملکرد روغن در هکتار
بلوک	۲	۲۴۶۰^{ns}	۲۳۵۷^{ns}	۱/۵۲^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۹۸/۲^{ns}
آبیاری (A)	۱	۵۱۳۱۱۷*	۱۳۱۸۶۸۳۱**	۲۸/۹*	۲۲/۲*	۵۳۲۶۷/۸**
خطای a	۲	۸۶۸۲	۱۲۹۱۹۶/۷	۱/۷۵	۰/۳۳	۳۸۱/۸
کود زیستی (B)	۴	۳۳۳۱۳**	۱۲۵۴۳۲۱**	۵/۳۲*	۱/۷۲**	۳۶۷۱/۹**
A × B	۴	۷۲۵۹**	۲۲۴۰۹۶**	۰/۲۸^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۲۸۷/۷^{ns}
خطای b	۱۶	۱۲۰۰	۴۲۶۹۳/۱	۱/۶۶	۰/۱۴	۱۷۷/۸
ضریب تغییرات (٪)		۴/۳۳	۳/۷۳	۴/۸۵	۸/۶۱	۶/۲۴

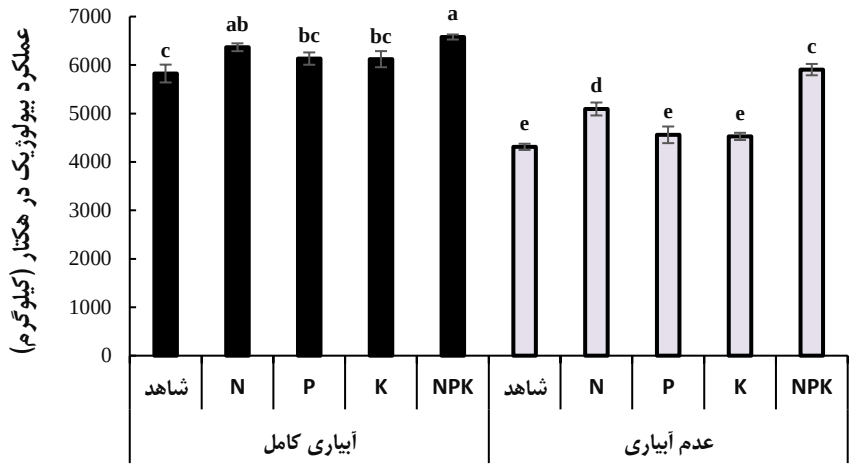
ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.



شکل ۲- نتایج مقایسه اثر متقابل آبیاری × کود زیستی برای عملکرد دانه در هکتار

درصد روغن

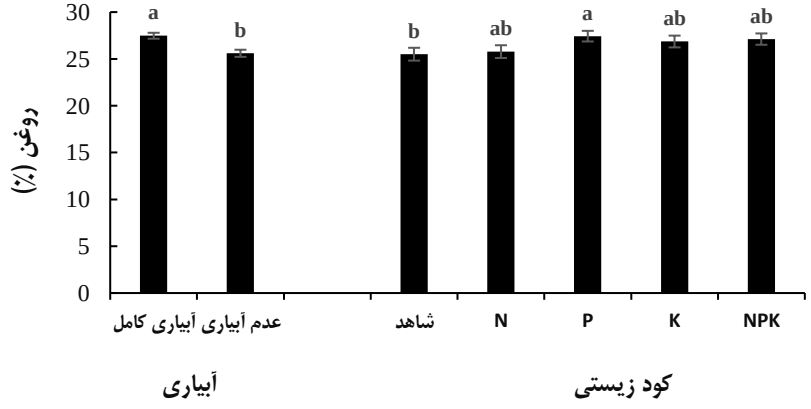
نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد برای درصد روغن ماریتیغال معنی‌دار می‌باشد؛ در حالی‌که اثر متقابل آبیاری × کود زیستی غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳). عدم معنی‌داری برای اثر متقابل منجر گردید تا مقایسه میانگین برای اثرات ساده آبیاری و کود زیستی صورت گیرد. مطابق با شکل ۴ شرایط عدم آبیاری (۲۵/۶ درصد) با اختلافی ناچیز، اما معنی‌دار دارای درصد روغن کمتری نسبت به شرایط آبیاری کامل (۲۷/۵ درصد) بود. در میان تیمارهای کود زیستی نیز تیمار کود زیستی فسفاته حداکثر (۲۷/۴ درصد) و تیمار عدم مصرف کود زیستی حداقل مقدار روغن (۲۵/۵ درصد) را به‌خود اختصاص دادند. سایر تیمارهای کود زیستی درصد روغن متوسطی داشتند. میانگین کل این صفت برابر با ۲۶/۵ درصد به‌دست آمد.



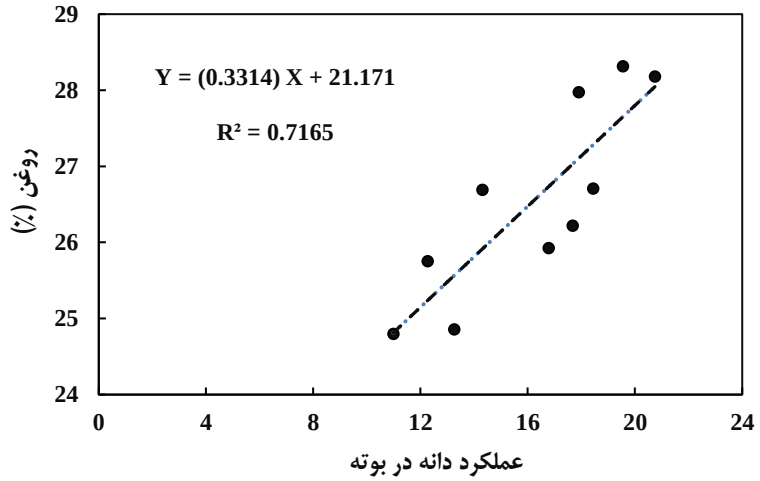
شکل ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری × کود زیستی برای عملکرد بیولوژیک در هکتار

در تحقیقی توسط سیوکارلان و همکاران محتوای روغن دانه ماریتیغال تقریباً ۲۵ درصد گزارش گردید (Ciocarlan et al., 2018). سادووسکا و همکاران محتوای روغن را ۲۵ درصد و عملکرد روغن ماریتیغال در هکتار را ۳۷۵-۲۵۰ کیلوگرم به‌دست آوردند (Sadowska et al., 2011). در مطالعه‌ای دیگر، فتحی-آچاچلویی و همکاران میزان روغن در بذور ماریتیغال را ۲۹/۴ درصد گزارش کردند. در این آزمایش نتایج نشان داد که درصد روغن ماریتیغال به میزان ناچیز اما مثبت تحت تأثیر کودهای زیستی قرار می‌گیرد (Fathi-Achachlouei et al., 2019). در توافق با این نتایج، کوتروباس و همکاران بیان کردند که میزان روغن کرچک همانند عملکرد بذر به رقم، محیط و برهم‌کنش محیط و رقم بستگی دارد (Koutroubas et al., 1999). وجود اختلاف معنی‌دار در درصد روغن ماریتیغال در گیاهان تیمار شده با کودهای مختلف قبلاً گزارش گردیده است (یزدانی بیوکی و همکاران، ۱۳۸۹). محققین نتیجه گرفته‌اند که رابطه منفی بین میزان دسترسی به نیتروژن و درصد روغن آفتابگردان وجود داشت (Steer and Seiler, 1990). همچنین اومر و همکاران نشان دادند که سطوح بالای نیتروژن هیچ تأثیری بر درصد روغن میوه‌های ماریتیغال نداشت (Omer et al., 1998).

نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون خطی در شکل ۵ نشان داد که رابطه خطی مثبت و معنی‌داری بین عملکرد دانه و درصد روغن وجود دارد، یعنی با توجه به همبستگی مثبت بین این دو صفت می‌توان اظهار داشت که با افزایش عملکرد دانه در بوته، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان میزان هر دو صفت را با استفاده از تکنیک‌های زراعی افزایش داد. از خط رگرسیون در مطالعات مشابه برای بررسی روابط صفات گیاهان استفاده شده است. به‌عنوان مثال، مرادی و همکاران با استفاده از خط رگرسیون گزارش نمودند که بین عملکرد دانه رازیانه و درصد اسانس تحت تیمارهای کودی زیستی و ارگانیک، رابطه منفی وجود دارد (Moradi et al., 2011).



شکل ٤- نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده محیط و کودهای زیستی برای درصد روغن



شکل ۵- رابطه خطی بین درصد روغن و عملکرد در ماریتیغال

عملکرد روغن در بوته و هکتار

برای صفت عملکرد روغن در بوته اثر آبیاری در سطح احتمال پنج درصد و اثر کود زیستی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین برای صفت عملکرد روغن در هکتار این دو اثر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند؛ حال آن‌که اثر متقابل آبیاری × کود زیستی برای دو صفت مذکور غیرمعنی‌دار بود (جدول ۳)؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت عملکرد روغن ماریتیغال تحت تأثیر شرایط محیطی و رشدی می‌باشد؛ به طوری‌که در شرایط آبیاری کامل عملکرد روغن (۵/۲ گرم در بوته و ۲۵۵/۷ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از شرایط عدم آبیاری (۳/۵ گرم در بوته و ۱۷۱/۴ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. بین تیمارهای کود زیستی نیز تیمار کود زیستی کامل (۴/۹۴ گرم در بوته و ۲۴۶ کیلوگرم در هکتار) و کود زیستی فسفاته (۴/۸۳ گرم در بوته و ۲۳۱ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب حداکثر مقدار و تیمار عدم مصرف کود زیستی (۳/۶۸ گرم در بوته و ۱۸۴ گرم در هکتار) حداقل مقدار روغن را به‌خود اختصاص دادند (شکل ۶).

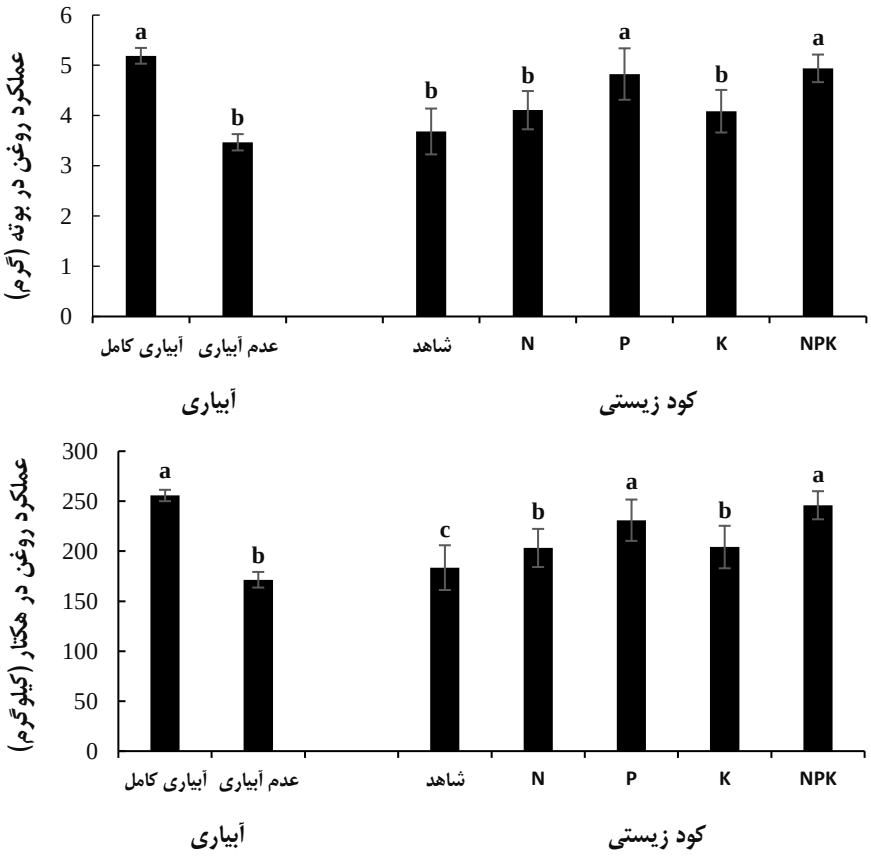
در مطالعه‌ای مصرف انواع مختلف کودهای آلی و شیمیایی در خاک بر اجزای عملکرد و خصوصیات مورفولوژیک ماریتیغال بی‌تأثیر بود، ولی بر روی درصد روغن، سیلیمارین و سیلیبین بذر این گیاه مؤثر واقع شد؛ به‌طوری‌که گیاهان تیمار شده با کود کمپوست، ازتوباکتر و مخلوط این دو کود بیشترین درصد روغن دانه را داشتند. همچنین گیاهان تیمار شده با کود شیمیایی کمترین درصد سیلیبین را نشان دادند (یزدانی بیوکی و همکاران، ۱۳۸۹). در نهایت درصد قابل قبول روغن در ماریتیغال نشان از اهمیت دارویی و تغذیه‌ای این گیاه می باشد و با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک منبع برای تولید روغن‌های گیاهی مورد توجه قرار گیرد.

اسیدهای چرب اشباع

در حالت کلی میانگین اسیدهای چرب اشباع در این تحقیق برابر با ۱۷/۰۹ درصد بود که این مقدار کمتر از میزان اسیدهای چرب غیراشباع (۸۱/۴۱ درصد) می‌باشد. با توجه به عدم وجود تکرار برای صفات اسیدهای چرب امکان آزمون آن‌ها به وسیله تجزیه واریانس و گروه‌بندی توسط آزمون دانکن وجود نداشت. فتحی-آچاچلویی و همکاران میزان اسیدهای چرب اشباع نشده در ماریتیغال را ۴۹/۹۵ درصد و میزان اسیدهای چرب اشباع شده را ۱۹/۴۱ درصد گزارش کردند (Fathi-Achachlouei et al., 2019) که در توافق با یافته‌های پژوهش حاضر است. بر طبق جدول ۴ میزان اسیدهای چرب اشباع در هر دو شرایط آبیاری و عدم آبیاری و نیز در کودهای زیستی مختلف اختلاف زیادی با یکدیگر نداشتند. با این حال کود زیستی کامل در شرایط عدم آبیاری نسبت به سایرین درصد بالاتری از اسیدهای چرب اشباع را از خود نشان داد. گرچه بین تیمارهای مختلف میزان اسیدهای چرب اشباع تقریباً یکسان بود، اما چنان‌چه در ادامه نیز خواهیم دید ممکن است در بین ترکیبات مختلف اسیدهای چرب اشباع اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود داشته باشد. متفاوت بودن ترکیب اسیدهای چرب ماریتیغال در اقلیم‌های مختلف قبلاً گزارش گردیده است (Azadmard-Damirchi and Dutta, 2008).

مطالعات متعددی بر روی ترکیبات اسیدهای چرب ماریتیغال انجام گرفته است (Fadavi *et al*., 2006; Kuhnlein *et al*., 2006). Ciocarlan و همکاران (۲۰۱۸) با هدف آشکارسازی ترکیبات بیوشیمیایی روغن ماریتیغال، محتوای اسیدهای چرب را با استفاده از کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی مایع با فشار بالا[1] (HPLS) مورد مطالعه قرار دادند.

1- High-Pressure Liquid Chromatography



شکل ٦- نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده آبیاری و کود زیستی برای عملکرد روغن در بوته و هکتار

با توجه به نوع و مقدار اسیدهای چرب، گلی و همکاران (۱۳۸۶)، روغن ماریتیغال را در گروه روغن‌های لینولئیک- اولئیک قرار دادند که در این گروه روغن‌هایی همچون سویا، آفتابگردان و گلرنگ نیز طبقه‌بندی می‌شوند. براساس جدول ۴ در حالت کلی میزان مریستیک اسید در شرایط آبیاری کامل (۰/۱۴ درصد) بیشتر از میزان آن در شرایط عدم آبیاری (۰/۱۰ درصد) بود. بیشترین مقدار آن در تیمار کود زیستی نیتروژنه در شرایط آبیاری کامل (۰/۱۸ درصد) و کمترین مقدار نیز در همان تیمار ولی در شرایط عدم آبیاری (۰/۰۸ درصد) حاصل شد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان آبیاری در افزایش مریستیک اسید تأثیر بسزایی دارد. با توجه به این‌که میزان اسید مریستیک بسیار ناچیز می‌باشد؛ لذا در تحقیقات مشابه گزارشی مشاهده نشده است. میزان پالمتیک اسید در شرایط آبیاری کامل (۱۰/۱۹ درصد) بیشتر از شرایط عدم آبیاری (۹/۱۸ درصد) بود، اما تفاوت آنچنان محسوسی نداشتند. همچنین پالمتیک اسید در تیمار کود زیستی فسفره شرایط آبیاری کامل (۱۱/۸ درصد) و عدم مصرف کود در شرایط آبیاری کامل (۱۱/۴۳ درصد) و کود زیستی کامل در شرایط عدم آبیاری (۱۱/۱۹ درصد) بیشترین مقدار و در سایر تیمارها کمترین میزان را داشت (جدول ۴). پالمتیک اسید با میانگین کل ۹/۹۰ درصد به‌عنوان اسید چرب اشباع غالب در روغن ماریتیغال شناسایی شد. در تأیید این نتایج گلی و همکاران (۱۳۸۶) میزان اسید پالمتیک را ۸/۷۷ درصد گزارش کردند و عنوان داشتند که این میزان تقریباً مشابه با روغن سویا می‌باشد.

میزان استئاریک اسید در تیمار کود زیستی فسفره تحت شرایط آبیاری کامل (۲/۰۱ درصد) و پس از آن در سطح عدم مصرف کود زیستی در همان شرایط (۴/۵۲ درصد) کمترین و در تیمار کود زیستی کامل (۶/۸۴ درصد) در شرایط عدم آبیاری بیشترین مقدار را نشان داد. همچنین تفاوت بین آبیاری کامل (۴/۸۰ درصد) با عدم آبیاری (۶/۰۳ درصد) محسوس بود (جدول ۴). بنابراین استئاریک اسید با میانگین کل ۵/۴۲ درصد در کنار پالمتیک اسید جزء اسیدهای چرب اشباع غالب در روغن ماریتیغال هستند. با این تفاوت که استئاریک اسید متأثر از نوع کشت آبی و دیم و نیز کودهای زیستی قرار می گیرد؛ درحالی‌که پالمتیک اسید به میزان کمی تحت تأثیر این عوامل قرار گرفت. در پژوهش کهن‌مو و همکاران (۱۳۹۴) میزان اسید استئاریک در دو اکوتیپ بومی بوشهر به‌ترتیب ۷/۶۴ و ۵/۶۷ درصد

گزارش شد. شواهد زیادی در رابطه با افزایش چند برابری مواد موثره گیاهان دارویی تحت شرایط تنش محیطی وجود دارد، اما دلایل زیادی نیز موجود است که نشان می‌دهد این تأثیر همیشگی نیست و در بسیاری موارد نیز کاهش میزان آن‌ها تحت شرایط تنش‌های محیطی دیده می‌شود. قابل ذکر است که اثرات کمبود آب در تغییرات مواد مؤثره گیاهان دارویی و اجزای ترکیبات اسیدهای چرب گیاهان روغنی دارای ویژگی‌های خاصی است که باید به‌طور کامل مورد ارزیابی قرار گیرد (اعلم و همکاران، ۱۳۹۲). بیشترین میزان آراشیدیک اسید در کود زیستی کامل در شرایط آبیاری (۲/۴۲ درصد) و کمترین میزان نیز در نمونه شاهد (۰/۳۳ درصد) در همان شرایط مشاهده گردید (جدول ۴). در مجموع بین آبیاری کامل (۱/۶۸ درصد) و عدم آبیاری (۱/۶۳ درصد) اختلاف چندانی وجود نداشت. آندرژیوسکا و همکاران متوسط میزان آراشیدیک اسید در ماریتغیال را ۳/۵ درصد گزارش کردند (Andrzejewska et al., 2015). در تحقیقی دیگر روزیکووا و همکاران این میزان را ۳/۵–۲/۰ درصد به‌دست آوردند (Ruzickova et al., 2011). در حالت کلی آراشیدیک اسید (با میانگین ۰/۴۵ درصد) جز اسیدهای چرب اشباع جزئی می‌باشد که تنها در روغن ماریتیغال و زیتون مشاهده می‌شود (علیرضالو و همکاران، ۱۳۹۰).

جدول ٤- درصد اسیدهای چرب اشباع در تیمارهای مورد مطالعه

آبیاری	کود زیستی	اسیدهای چرب اشباع				
		مریستیک اسید	پالمتیک اسید	استئاریک اسید	آراشیدیک اسید	مجموع
آبیاری کامل	شاهد	۰/۱۳	۱۱/۴۳	۴/۵۲	۰/۳۳	۱۶/۴۱
	نیتروژنه (N)	۰/۱۸	۹/۳۴	۶/۰۷	۲/۱۶	۱۷/۷۵
	فسفره (P)	۰/۱۳	۱۱/۸۰	۲/۰۱	۱/۸۴	۱۵/۷۸
	پتاسه (K)	۰/۱۴	۹/۳۶	۵/۰۷	۱/۶۳	۱۶/۲۰
	کامل (NPK)	۰/۱۰	۹/۰۳	۶/۳۵	۲/۴۲	۱۷/۹۰
عدم آبیاری	شاهد	۰/۰۹	۹/۳۵	۶/۰۱	۲/۰۸	۱۷/۵۳
	نیتروژنه (N)	۰/۰۸	۹/۳۹	۵/۸۹	۱/۸۵	۱۷/۲۱
	فسفره (P)	۰/۱۱	۹/۲۱	۴/۹۱	۱/۳۱	۱۵/۵۴
	پتاسه (K)	۰/۱۰	۸/۹۳	۶/۴۸	۱/۳۱	۱۶/۸۲
	کامل (NPK)	۰/۱۳	۱۱/۱۹	۶/۸۴	۱/۶۱	۱۹/۷۷

اسیدهای چرب غیراشباع

همانند اسیدهای چرب اشباع، میزان اسیدهای چرب غیراشباع نیز در تیمارهای مختلف تفاوت زیادی نداشتند (جدول ۵). در حالت کلی لینولئیک اسید (۴۵/۱۰ درصد)، اولئیک اسید (۳۳/۲۹ درصد) و لینولنیک اسید (۳/۰۲ درصد) ترکیبات اسیدهای چرب غیراشباع را تشکیل دادند. این نتایج در راستای یافته‌هایی است که قبلاً منتشر شده است (Fathi and Azadmard, 2009; Parry et al., 2006). همچنین بر طبق نتایج سیوکارلان و همکاران لینولئیک اسید به‌عنوان یک اسید چرب ضروری غیراشباع فراوان‌ترین اسید چرب غیراشباع در روغن ماریتیغال بود و پس از آن اولئیک اسید و پالمیتیک اسید قرار داشتند و سایر اسیدهای چرب دیگر همچون استارئیک اسید، مریستیک اسید، آراشیدیک اسید، بنهین اسید، مارگاریتیک اسید، ایزونوزیک اسید، پالمیتولئیک اسید و اروکیک اسید نیز شناسایی گردید (Ciocarlan et al., 2018).

اولئیک اسید از جمله مهم‌ترین ترکیبات اسیدهای چرب در روغن ماریتیغال است و با میانگین ۳۳/۲۹ درصد جزء اسیدهای چرب غالب در این گیاه به شمار می‌رود. میزان اولئیک اسید در شرایط آبیاری کامل (۳۴/۲۰ درصد) بیشتر از شرایط عدم آبیاری (۳۲/۳۷ درصد) بود؛ بنابراین اختلاف زیادی بین این دو وجود نداشت، اما مقدار اولئیک اسید تحت کودهای زیستی بسیار متغیر بود به طوری که بیشترین میزان آن در تیمار کود زیستی فسفره در شرایط آبیاری کامل (۳۶/۶۰ درصد) و کمترین مقدار آن در تیمار کود زیستی کامل تحت شرایط عدم آبیاری (۳۰/۷۷ درصد) مشاهده شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد تحت شرایط آبیاری، اثر کودهای زیستی بیشتر نمایان می‌شود و روند تغییرات میزان اولئیک اسید تحت کودهای مختلف زیستی در دو شرایط آبیاری و دیم یکسان نیست. در تحقیقی میزان اسید اولئیک در روغن ماریتیغال ۲۸/۸۴ درصد و میزان اسید لینولئیک ۵۱/۲۷ درصد گزارش شدند (گلی و همکاران، ۱۳۸۶). این یافته‌ها با نتایج گزارش شده توسط کهن‌مو و همکاران (۱۳۹۴) نیز هماهنگ می‌باشد. لینولئیک اسید به‌عنوان اولین اسید چرب روغن ماریتیغال مطرح می باشد. نظر به اینکه میزان لینولئیک اسید می‌تواند در پایداری اکسیداتیوی روغن‌های خوراکی مؤثر باشد، پس می‌توان محتمل دانست که روغن ماریتیغال به‌دلیل دارا بودن مقادیر بالایی از لینولئیک اسید (در حالت کلی ۴۵/۱۰ درصد) دارای پایداری بالایی

باشد (علیرضالو و همکاران، ۱۳۹۰). در بین اسیدهای چرب غیراشباع، اسید لینولنیک با میانگین ۳/۰۲ درصد کمترین مقدار را داشت. تیمار عدم مصرف کود زیستی در شرایط عدم آبیاری (۱/۲۲ درصد) حداقل مقدار و کود زیستی کامل در هر دو شرایط آبیاری به‌ویژه در شرایط آبیاری کامل (۳/۹۶ درصد) حداکثر مقدار را به‌خود اختصاص داد (جدول ۵).

جدول ۵- درصد اسیدهای چرب غیراشباع در تیمارهای مورد مطالعه

آبیاری	کود زیستی	اسیدهای چرب غیراشباع			
		اولئیک اسید	لینولئیک اسید	لینولنیک اسید	مجموع
آبیاری کامل	شاهد	۳۱/۴۴	۵۰/۱۵	۳/۲۵	۸۲/۸۱
	نیتروژنه (N)	۳۳/۸۰	۴۳/۲۸	۳/۰۸	۸۰/۵۰
	فسفره (P)	۳۶/۶۰	۴۳/۰۶	۲/۳۲	۸۲/۷۲
	پتاسه (K)	۳۳/۴۰	۴۶/۷۱	۳/۵۷	۸۲/۷۴
	کامل (NPK)	۳۵/۷۸	۴۰/۸۸	۳/۹۶	۸۰/۳۵
عدم آبیاری	شاهد	۳۱/۷۹	۴۶/۱۶	۱/۲۲	۸۱/۲۰
	نیتروژنه (N)	۳۲/۸۴	۴۵/۷۲	۳/۴۲	۸۱/۶۴
	فسفره (P)	۳۱/۸۵	۴۹/۱۲	۳/۰۶	۸۳/۲۹
	پتاسه (K)	۳۴/۶۲	۴۲/۳۰	۲/۶۳	۸۰/۴۹
	کامل (NPK)	۳۰/۷۷	۴۳/۶۵	۳/۶۹	۷۸/۳۸

شاخص بهره‌وری آب (WP)

حجم آب آبیاری گیاه خارمریم برای تیمار آبیاری کامل، ۳۰۰۰ مترمکعب بر هکتار و همچنین مجموع بارش مؤثر طی فصل زراعی برای این گیاه (چهار ماه)، ۷۰/۱۶ میلی‌متر (۷۰۱/۶ مترمکعب بر هکتار) به‌دست آمد. با توجه به جدول ۶، حداکثر شاخص WP در تیمار آبیاری کامل مربوط به کود زیستی P و NPK می‌باشد. همچنین در تیمار بدون آبیاری، حداکثر شاخص WP مربوط به کود زیستی NPK با مقدار ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید.

جدول ٦- مقادیر عملکرد دانه (GY) و شاخص بهره‌وری آب (WP) برای تیمارهای آبی و کود زیستی

تیمار	کود زیستی	GY (kg ha^{-1})	I + P$_e$ (m^3 ha^{-1})	WP (kg m^{-3})
آبیاری کامل	شاهد	۸۷۹/۹۸	۳۷۰۱/۶	۰/۲۴
	نیتروژنه (N)	۹۱۵/۹۳		۰/۲۵
	فسفره (P)	۹۸۱/۶۰		۰/۲۷
	پتاسه (K)	۸۹۵/۲۳		۰/۲۴
	کامل (NPK)	۹۷۷/۰۷		۰/۲۶
بدون آبیاری	شاهد	۵۴۸/۶۹	۷۰۱/۶	۰/۷۸
	نیتروژنه (N)	۶۵۲/۱۷		۰/۹۳
	فسفره (P)	۶۹۷/۴۷		۰/۹۹
	پتاسه (K)	۶۱۱/۹۲		۰/۸۷
	کامل (NPK)	۸۳۱/۷۴		۱/۱۹

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که حداکثر عملکرد دانه در هکتار (۹۸۱/۶ کیلوگرم) در شرایط آبیاری کامل و تیمار کود زیستی فسفاته (P) مشاهده شد و کمترین عملکرد دانه در هکتار (۵۴۸/۷ کیلوگرم) نیز به تیمار عدم مصرف کود زیستی در شرایط بدون آبیاری اختصاص داشت. همچنین نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل برای عملکرد بیولوژیک گیاه خارمریم نشان داد که تیمار کود زیستی کامل (NPK) در شرایط آبیاری کامل بیشترین (۶۵۷۸ کیلوگرم در هکتار) و تیمار عدم مصرف کود زیستی در شرایط بدون آبیاری کمترین مقدار (۴۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) را داشتند. در شرایط آبیاری کامل علاوه بر تیمار کود زیستی NPK، تیمار کود زیستی نیتروژنه (N) نیز مقدار قابل توجهی عملکرد بیولوژیک (۶۳۶۷ کیلوگرم در هکتار) را دارا بود. در میان تیمارهای

کود زیستی نیز تیمار کود زیستی P حداکثر ۲۷/۴ درصد و تیمار عدم مصرف کود زیستی حداقل مقدار روغن ۲۵/۵ درصد را به‌خود اختصاص دادند. سایر تیمارهای کود زیستی درصد روغن متوسطی داشتند و میانگین کل این صفت برابر با ۲۶/۵ درصد به‌دست آمد. طبق نتایج، عملکرد روغن خارمریم تحت تأثیر شرایط محیطی و رشدی می‌باشد؛ به‌طوری‌که در شرایط آبیاری کامل عملکرد روغن (۵/۲ گرم در بوته و ۲۵۵/۷ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از شرایط عدم آبیاری (۳/۵ گرم در بوته و ۱۷۱/۴ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد.

اگرچه شرایط عدم آبیاری منجر به کاهش عملکرد خارمریم می شود، اما بهره‌گیری از کودهای زیستی به‌خصوص کود زیستی NPK و P توانست تقریباً به‌طور موفقیت‌آمیزی کاهش عملکرد از طریق بهبود شرایط تغذیه‌ای را جبران نمایید. از مهم‌ترین پارامترها در مورد ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های خوراکی، نسبت اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع می‌باشد که از جنبه‌های کیفیت تغذیه‌ای و ماندگاری حائز اهمیت است. میزان این پارامتر در میان شرایط آبیاری مختلف اختلاف چندانی نداشت، اما با این حال، تیمار کودی زیستی P تحت شرایط عدم آبیاری (۵/۳۶ درصد) بیشترین نسبت و تیمار کود زیستی NPK در همان شرایط (۳/۹۶ درصد) کمترین نسبت را داشتند. طبق نتایج تحقیق حاضر، اگرچه تیمار کود زیستی NPK توانست درصد روغن را افزایش دهد، اما از میزان کیفیت آن می‌کاهد؛ لذا در صورتی‌که روغن گیاه خارمریم برای مصارف صنعتی استفاده شود توصیه می‌گردد از تیمار کود زیستی NPK استفاده شود، ولی برای مصارف خوراکی این تیمار مناسب نمی‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، حداکثر شاخص بهره‌وری آب (WP) در تیمار آبیاری کامل مربوط به کود زیستی P و کود زیستی NPK می‌باشد. همچنین در تیمار بدون آبیاری، حداکثر شاخص WP مربوط به کود زیستی NPK با مقدار ۱/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل گردید.

در نهایت با توجه به موارد ذکر شده و همچنین نظر به درصد قابل توجه روغن در دانه گیاه خارمریم و بالا بودن ارزش تغذیه‌ای آن، نتیجه‌گیری می‌شود که کشت و توسعه این دانه روغنی جدید می‌تواند امری سودمند و ضروری باشد. شایان ذکر است که چنان‌چه خارمریم نتواند تولید روغنی قابل رقابت با گیاهان روغنی مرسوم داشته باشد، اما سازگاری بالای این گیاه به مناطق خشک، آسانی و مکانیزه بودن کاشت و برداشت آن همگی از یک طرف و نیاز به روغن و ماده‌ی مؤثره این گیاه دارویی برای مصارف تغذیه‌ای و بهداشتی و درمانی از سوی دیگر، ایجاب می‌نماید که خارمریم به‌عنوان یک گیاه روغنی مطرح باشد. همچنین با توجه به جدید بودن این منبع روغنی، توصیه می‌شود در تحقیقات آتی روغن گیاه دارویی خارمریم از نظر احتمال وجود ترکیبات سمی و مضر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

احسانی، م و خالدی، ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی.

احمدی، ح. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه در شرایط اقلیمی خرم‌آباد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان.

اسکندری نصرآبادی، س.، قربانی، ر.، رضوانی مقدم، پ. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۹۳. اثر کاربرد منفرد و تلفیقی کودهای زیستی، شیمیایی و آلی بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی. ۶ (۳): ۴۷۶-۴۶۷.

اعلم، ف.، رامین، ع.ا. و امینی، ف. ۱۳۹۲. تغییرات میزان ماده موثره گیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*) در تنش خشکی. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۲ (۶): ۸۷-۷۷.

امیدبیگی، ر. ۱۳۹۴. تولید و فرآوری گیاهان دارویی با بازنگری کامل. آستان قدس رضوی. چاپ هشتم. ۳۴۸ صفحه.

سعیدی، ف.، قاضی هرسینی، م. و رضایی، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر برخی خصوصیات گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum*). سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی. ۴-۱.

علیرضالو، ک.، حصاری، ج.، علیرضالو، ا.، محمدی، م. و فتحی آچاچلویی، ب. ۱۳۹۰. بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ترکیب اسید چربی روغن دانه ماریتیغال. پژوهش‌های صنایع غذایی. ۲۱ (۱): ۳۳-۲۵.

قوامی، ن.، لبافی، م.ر.، دهقانی‌مشکانی، م.ر. و مهرآفرین، ع. ۱۳۹۱. تعیین مهم‌ترین اجزای عملکرد روغن و دانه در دو ژنوتیپ گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* Gaetrn.) بر مبنای تجزیه علیت و رگرسیون. گیاهان دارویی. ۱۱ (۴۴): ۸۶-۷۸.

کهن‌مو، م.ا.، مدرسی، م. و باقری کاهکش، ز. ۱۳۹۴. کشت اکوتیپ-های گیاه دارویی ماریتیغال جهت مقایسه ارزش دارویی و غذایی. طب جنوب. ۱۸ (۵): ۱۰۱۵-۱۰۰۷.

گلی، س.ا.ح.، کدیور، م.، بهرامی، ب. و سبزعلیان، م.ر. ۱۳۸۶. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی روغن دانه ماریتیغال. علوم و صنایع غذایی. ۴ (۴): ۲۷-۳۲.

محمدپور وشوایی، ر.، رمرودی، م. و فاخری، ب. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی و تلقیح کودهای زیستی بر ویژگی‌های کمی و کیفی

165.

Diukendjieva, A., Alov, P., Tsakovska, I., Pencheva, T., Richarz, A., Kren, V. and Pajeva, I. 2019. In vitro and in silico studies of the membrane permeability of natural flavonoids from *Silybum marianum* (L.) Gaertn. and their derivatives. Phytomedicine. 53: 79-85.

Fadavi, A., Barzegar, M. and Azizi, M. H. 2006. Determination of fatty acids and total lipid content in oilseed of 25 pomegranates varieties grown in Iran. Journal of Food Composition and Analysis. 19 (6-7): 676-680.

FAO (Food and Agricultural Organization). 2016. http://faostat.Fao.Org

Fathi, B., and Azadmard. S. 2009. Milk thistle seed oil constituents from different varieties grown in Iran. Journal of the American Oil Chemists' Society. 86: 643-648.

Fathi-Achachlouei, B., Azadmard-Damirchi, S., Zahedi, Y. and Shaddel, R. 2019. Microwave pretreatment as a promising strategy for increment of nutraceutical content and extraction yield of oil from milk thistle seed. Industrial Crops and Products. 128: 527-533.

Geneva, M., Zehirov, G., Stancheva, I., Iliev, L. and Georgiev, G. 2008. Effect of soil fertilizer, foliar fertilizer, and growth regulator application on milk thistle development, seed yield, and silymarin content. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 39: 17–24.

Gorgini, H., Fakheri, B.A. and Mohammadpour Vashvaei, R. 2017. Effect of bio-fertilizers on growth, grain and essential oil yield of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. Journal of Agroecology. 9 (1): 50-62.

Haban, M., Otepka, P., and Habánová, M. 2009. Production and quality of milk thistle (*Silybum marianum* [L.] Gaertn.) Cultivated in cultural conditions of warm agri-climatic macroregion. Horticultural Science. 36 (2): 69-74.

Hasanloo, T., Bahmanei, M., Sepehrifar, R. and Kalantari, F. 2008. Determination of tocopherols and fatty acids in seeds of *Silybum marianum* (L.) gaertn. Journal of Medicinal Plants. 7 (4): 69-76.

Karkanis, A., Bilalis, D., and Efthimiadou, A. 2011. Cultivation of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.), a medicinal weed. Industrial Crops and Products. 34 (1): 825-830.

Khorsand, A., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Majnooni Heris, A., Rahimi, A. and Besharat, S. 2020. Response of maize and black gram yield and water productivity to variation in canopy temperature and crop water stress index. International Agrophysics. 34 (3): 381-390. https://doi.org/10.31545/ intagr/126439

ماریتیغال (*Silybum marianum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی. ۹ (۱): ۴۹-۳۱.

ولایی، ل.، نورمحمدی، ق. حسنلو، ط. و حاج سید هادی، م.ر. ۱۳۹۴. اثر کودهای آلی و زیستی بر صفات رشد و عملکرد کمی گیاه دارویی ماریتیغال. مجله پژوهش‌های به زراعی. ۷ (۳): ۲۳۷-۲۵۱.

یزدانی بیوکی، ر.، رضوانی مقدم، پ. خزاعی، ح.ر. و آستارایی، ع.ر. ۱۳۸۹. بررسی برخی صفات کمی و کیفی گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) در پاسخ به کودهای آلی، بیولوژیک و شیمیایی. بوم‌شناسی کشاورزی. ۲ (۴): ۵۵۵-۵۴۸.

Afshar, R.K., Chaichi, M.R., Assareh, M. H., Hashemi, M. and 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.

Akkaya, H. and Yilmaz, O. 2012. Antioxidant Capacity and Radical Scavenging Activity of *Silybum marianum* and Ceratonia siliqua. Ekoloji Dergisi. 21 (82).

Andrzejewska, J., Sadowska, K. and Mielcarek, S. 2011. Effect of sowing date and rate on the yield and flavonolignan content of the fruits of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) grown on light soil in a moderate climate. Industrial Crops and Products. 33 (2): 462-468.

Andrzejewska, J., Martinelli, T., and Sadowska, K. 2015. *Silybum marianum*: non-medical exploitation of the species. Annals of applied biology. 167 (3): 285-297.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A. and Khanuja, S.P.S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 36: 1737-1746.

Azadmard-Damirchi, S. and Dutta, P.C. 2008. Stability of minor lipid components with emphasis on phytosterols during chemical interesterification of a blend of refined olive oil and palm stearin. Journal of the American Oil Chemists' Society. 85 (1): 13-21.

Ciocarlan, A., Dragalin, I., Aricu, A., Ciocarlan, N., Stavarache, C. and Deleanu, M. 2018. Chromatographic Analysis of *Silybum Marianum* (L.) Gaertn. Fatty Oil. Chemistry Journal of Moldova: General. 13 (1): 63-68.

Cruz de Carvalho, M.H. 2008. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. Plant Signaling and Behavior. 3 (3): 156-

2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of plant physiology. 161 (11): 1189-1202.

Rodriguez, P., Torrecillas, A., Morales, M.A., Ortuno, M. F. and Sánchez-Blanco, M. J. 2005. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of Asteriscus maritimus plants. Environmental and Experimental Botany. 53 (2): 113-123.

Ruzickova, G., Fojtová, J. and Součková, M. 2011. The yield and quality of milk thistle [*Silybum marianum* (L). Gaertn.] Seed oil from the perspective of environment and genotype-a pilot study. Acta Fytotechnica et Zootechnica. 14 (1): 9-12.

Sadowska, K., Andrzejewska, J. and Woropaj-Janczak, M. 2011. Effect of weather and agrotechnical conditions on the content of nutrients in the fruits of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). Acta Scientiarum Polonorum: Hortorum Cultus. 10 (3): 197-207.

Sanchez, G.E., Carballo, G.C. and Ramos, G.S.R. 2008. Influence of organic manures and biofertilizers on the quality of two Plantaginaceae: *Plantago major* L. and *Plantago lanceolata*. L. Revista Cubana de Plantas Medicinales. 13 (1): 12-15.

Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P. and Samiyappan, R. 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta physiologiae plantarum. 33 (1): 203-209.

Steer, B.T. and Seiler, G.I. 1990. Changes in fatty acid composition of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds in response to time of nitrogen application, supply rates and defoliation. Journal of the Science of Food Agriculture. 51: 11-26.

Takahashi, F., Kuromori, T., Sato, H. and Shinozaki, K. 2018. Regulatory gene networks in drought stress responses and resistance in plants. Survival strategies in extreme cold and desiccation: adaptation mechanisms and their applications. 189-214.

Koutroubas, S.D., Papakosta, D.K. and Doitsinis, A. 1999. Adaptation and yielding ability of castor plant (Ricinuscommunis L.) genotypes in a Mediterranean climate. European Journal of Agronomy. 11 (3-4): 227-237.

Kuhnlein, H.V., Barthet, V., Farren, A., Falahi, E., Leggee, D., Receveur, O. and Berti, P. 2006. Vitamins A, D, and E in Canadian Arctic traditional food and adult diets. Journal of Food Composition and Analysis. 19 (6-7): 495-506.

Mahfouz, S.A., and Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. bio fertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics. 21 (4): 361.

Molden, D., Murray-Rust, H., Sakthivadivel, R. and Makin, I. 2001. A water productivity framework for understanding and action. Workshop on water productivity, Wadduwa, sriLanka, November 12-13.

Moradi, R., Moghaddam, P.R., Mahallati, M.N. and Nezhadali, A. 2011. Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. dulce). Spanish Journal of Agricultural Research. 9 (2): 546-553.

Nagananda, G.S., Das, A., Bhattacharya, S. and Kalpana, T. 2010. In vitro Studies on the Effects of Biofertilizers (Azotobacter and Rhizobium) on Seed Germination and Development of Trigonella foenum-graecum L. using a Novel Glass Marble containing Liquid Medium. International Journal of Botany. 6 (4): 394-403.

Omer, E.A., Ahmed, S.S., Ezz-El-Din, A.A. and Fayed, T.B. 1998. Seed yield of *Silybum marianum* L. as affected by row spacing and fertilization in new reclaimed lands of Egypt. Egyptian Journal of Horticulture. 25: 281-293.

Parry, J., Hao, Z., Luther, M., Su, L., Zhou, K. and Yu, L. 2006. Characterization of cold-pressed onion, parsley, cardamom, mullein, roasted pumpkin, and milk thistle seed oils. Journal of the American Oil Chemists' Society. 83 (10): 847-854.

Reddy, A. R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 18, Feb.-Mar. 2025, p. 895-910

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۸، بهمن - اسفند ۱۴۰۳، ص. ۹۱۰-۸۹۵

Investigating the Crop Yield and Water Productivity, Oil Yield and the Amount of Fatty Acids of the Medicinal Plant Milk Thistle in Response to Irrigation Treatments and Bio-fertilizers

J. Ghaffarzadeh[1], R. Amirnia[2], A. Rahimi[3]*, A. Khorsand[4]

Recived: Jan.05, 2024 Accepted: Aug. 10, 2024

Abstract

In order to investigate the effect of irrigation regime and bio-fertilizers on crop yield and water productivity index (WP), the amount of saturated and unsaturated fatty acids and the yield of milk thistle oil, a split-plot experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with 10 treatments and three replications. It was conducted in Miandoab city located in the south of West Azerbaijan province in 2017-2018. The main factor was the irrigation regime (full irrigation and no irrigation) and the secondary factor was five levels of biological fertilizer (control, nitrogen (N), phosphate (P), potash (K) and complete (NPK)). According to the obtained results, the comparison of the average of the interaction effect showed that the maximum seed yield and the maximum biological yield of Milk thistle plant were observed for P and NPK treatments, respectively, under full irrigation conditions. Among the bio-fertilizer treatments, the P treatment accounted for the maximum amount of 27.4% and the treatment for not using bio-fertilizers for the minimum oil amount of 25.5%. According to the results, the yield of milk thistle oil is influenced by environmental and growth conditions; So, in the condition of full irrigation, the yield of oil (5.2 grams per plant and 255.7 kg ha^{-1}) was obtained more than the condition of no irrigation (3.5 grams per plant and 171.4 kg ha^{-1}). According to the obtained results, the maximum WP index in the full irrigation treatment is related to P and NPK. Also, in the treatment without irrigation, the maximum WP index related to NPK was obtained with a value of 1.19 kg m^{-3}.

Keywords: Grin yield, Irrigation stress, Medicinal plants, Milk thistle, Oil content, Water productivity

1- Graduated from Master's degree, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
4- Researcher, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.rahimi@urmia.ac.ir)