



بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی زعفران و زیره سبز در تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد کمی و کیفی دو گونه

روح اله مرادی^{۱*} و نسیم پورقاسمیان^۱

تاریخ پذیرش: ۱۵ بهمن ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۲۴ آبان ۱۳۹۷

مرادی، ر. و پورقاسمیان، ن. ۱۳۹۹. بررسی اثر کشت مخلوط افزایشی زعفران و زیره سبز در تاریخ‌های مختلف کاشت بر عملکرد کمی و کیفی دو گونه. زراعت و فناوری زعفران، ۸(۱): ۱۹-۳۶.

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) و زعفران (*Crocus sativus* L.) در تاریخ‌های کاشت بر عملکرد دو گیاه، به صورت اسپلیت-پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در یک مزرعه که سال دوم کشت آن بود در دانشکده کشاورزی بردسیر در سال ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل تاریخ کاشت زیره سبز در چهار سطح (۲۰ آبان، ۲۰ آذر، ۱۵ اسفند و ۱۵ فروردین) به عنوان فاکتور کرت اصلی و نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زعفران با زیره سبز در ۶ سطح (کشت خالص زعفران (۵۰ بوتنه در متر مربع)، کشت خالص زیره سبز (۱۲۰ بوتنه در متر مربع)، کشت مخلوط ۱۰۰ درصد زعفران + ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تراکم مطلوب زیره سبز) به عنوان فاکتور فرعی بود. صفات مورد مطالعه شامل تعداد چتر در بوتنه، درصد اسانس، عملکرد بذر، بیولوژیک و اسانس زیره سبز و همچنین تعداد گل، عملکرد گل، عملکرد کلاله، تعداد بنه دختری، وزن بنه دختری و تعداد بنه ناسالم زعفران بود. نتایج نشان داد در کلیه نسبت‌های کاشت، عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز با تأخیر در کاشت کاهش قابل توجهی یافت. میزان کاهش عملکرد زیره سبز در تاریخ کاشت اسفند و فروردین نسبت به تاریخ کاشت آبان به ترتیب حدود ۳۹ و ۶۴ درصد بود. درصد اسانس زیره سبز در تاریخ کاشت‌های آبان (۲/۷۹ درصد)، آذر (۲/۷۸ درصد) و فروردین (۲/۸۳ درصد) بیشتر از اسفند (۲/۴۲ درصد) بود. تعداد بنه دختری زعفران تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی قرار نگرفت ولی درصد بنه ناسالم در کشت اسفند و فروردین بیشتر از پاییز بود. با تأخیر در کاشت و افزایش تراکم زیره سبز در کشت مخلوط، وزن بنه کاهش معنی‌داری نشان داد. میزان عملکرد گل و کلاله زعفران تحت تأثیر کشت پاییزه زیره سبز بطور چشم‌گیری بیشتر از کشت بهاره آن بود. کشت مخلوط تأثیر منفی بر تولید زعفران داشت و بیشترین عملکرد کلاله زعفران (۲/۹۷ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص این گیاه حاصل شد. بطور کلی، بالاترین (۱/۵۱) مقادیر LER در کشت مخلوط پاییزه زعفران و زیره سبز مشاهده شد.

کلمات کلیدی: اسانس، بنه دختری، کلاله، نسبت برابری زمین.

۱- پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان و گروه مهندسی تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان
* نویسنده مسئول: (r.moradi@uk.ac.ir)

مقدمه

کشت مخلوط از روش‌های زراعی و با قدمتی دیرینه بوده که کشاورزان در جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش سازگاری با طبیعت در پیش گرفته‌اند (Abbasi et al., 2006). در زراعت‌های چند کشتی آنچه بیشتر مد نظر است مهار تغییرات زمانی و مکانی یا به عبارت دیگر حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، نور و سایر منابع می‌باشد (Moradi et al., 2017). نظام‌های چند کشتی از ثبات اکولوژیکی بالاتری نسبت به نظام‌های تک کشتی برخوردار می‌باشند (Gonias et al., 2011). کشت مخلوط زعفران با غلات (Koocheki et al., 2009)، حبوبات (Koocheki et al., 2009; Asadi et al., 2016)، گیاهان دارویی (Khosravi, 2005; Koocheki et al., 2009; 2013; 2016; Naderidarbaghshahi et al., 2013; Khorramdel et al., 2016) مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که، زعفران یکی از کارآمدترین گیاهان از نظر مصرف آب در جهان محسوب می‌شود و از نظر نیاز به عناصر غذایی نیز گیاهی کم توقع است (Azizi-Zohan et al., 2008)، بنابراین کشت مخلوط این گیاه با گیاهان دارویی که نیاز آبی و غذایی کمتری نسبت به گیاهان زراعی دارند می‌تواند سودمند باشد.

رویکرد روز افزون به استفاده از گیاهان دارویی و فراورده‌های حاصله از آن نقش این گیاهان را در چرخه اقتصاد جهانی پررنگ تر کرده، به طوری که مصرف رو به رشد آن‌ها تنها به کشورهای در حال توسعه محدود نبوده بلکه در کشورهای پیشرفته نیز توسعه فراوانی یافته‌اند (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012). از طرف دیگر کشت و کار گیاهان دارویی و معطر از نظر ایجاد تنوع و پایداری می‌تواند نقش مهمی در سیستم‌های کشاورزی ایفا کند. صرف نظر از ارزش اقتصادی گیاهان دارویی، این گیاهان قابل تطابق با

روش‌های کشت ارگانیک و نظام‌های کم نهاده هستند (Sujatha et al., 2011). یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی و صادراتی کشور زیره سبز (*Cuminum cyminum*) می‌باشد. این گیاه در حال حاضر در استان‌های خراسان، یزد، اصفهان و کرمان کشت شده و سال به سال سطح زیر کشت آن افزوده می‌شود (Saeed Nejjhad & Rezvani, 2010).

از طرف دیگر، زعفران نیز گیاهی است که به دلیل دارا بودن ویژگی‌های خاص از جمله دلیل دارا بودن آشیانه اکولوژیکی ویژه نسبت به سایر گیاهان، نیاز آبی کم، آبیاری در زمان‌های غیر بحرانی نیاز آبی سایر گیاهان، امکان بهره‌برداری از مزارع به مدت چندین سال پس از یک نوبت کشت، سهولت حمل و نقل و نگهداری محصول، امکان اشتغال‌زایی بالا، امکان کشت در مناطقی که فاقد استعدادهای صنعتی و دارای محدودیت آب کشاورزی می‌باشند، دارا بودن خواص دارویی زیاد و نیز بازار فروش داخلی و خارجی مناسب، این گیاه را از ارزش بالایی برای کشت و کار برخوردار نموده است (Daneshvar Kakhki & Farahmand Gelyan, 2012; Feizi et al., 2019). قدمت کشت زعفران در مقایسه با بسیاری از محصولات زراعی رایج در کشور، این گیاه از فناوری‌های نوین، سهم کمتری داشته و تولید آن بیشتر متکی بر دانش بومی می‌باشد (Koocheki et al., 2013). این گیاه بخشی از دوره رویشی خود (اردیبهشت تا مهر ماه) را در حالت رکود سپری می‌کند، بنابراین مزرعه زعفران در این دوره فاقد اندام‌های رویشی می‌باشد (Khorramdel et al., 2016). عزیزی ژوهان و همکاران (Azizi-Zohan et al., 2008) گزارش کردند با وجودی که زعفران گیاهی دارای نیاز آب نسبتاً کم و نسبتاً مقاوم به تنش خشکی می‌باشد، ولی دستیابی به عملکرد مطلوب، نیازمند آبیاری مناسب و تأمین نیاز آبی گیاه در دوره رشد سبزینه‌ای می‌باشد و در طی فصل رشد آبیاری فراوان را

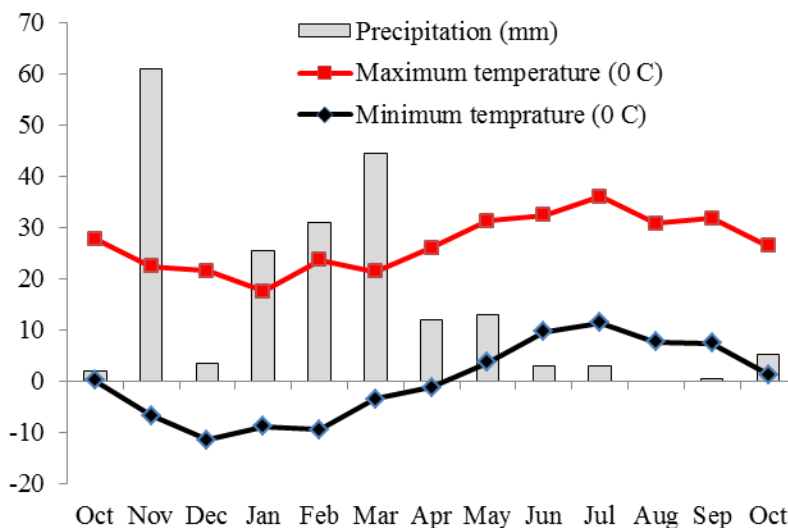
مختلف کاشت به منظور امکان‌سنجی کشت زعفران در منطقه بردسیر کرمان بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در یک مزرعه دو ساله زعفران واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بردسیر واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۸۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۸۰ متری از سطح دریا اجرا شد. روند تغییرات دمای حداقل و حداکثر و بارندگی در طول دوره آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده‌است. آزمایش بصورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. عامل کرت اصلی شامل تاریخ کاشت زیره سبز در چهار سطح (۲۰، آبان، ۲۰ آذر، ۱۵ اسفند و ۱۵ فروردین) و عامل کرت فرعی شامل نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زعفران با زیره سبز و کشت خالص دو گیاه در ۶ سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد تراکم مطلوب زیره سبز، کشت خالص زعفران، کشت خالص زیره سبز) بود.

می‌طلبید. برخی مطالعات نشان داده‌است که یک مرحله آبیاری تابستانه در اوایل مرداد ماه تولید گل را افزایش داده در حالیکه آبیاری در اوایل تیر ماه موجب کاهش عملکرد شده است (Koocheki et al., 2006; 2009). فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2015) نیز گزارش نمودند که به دلیل شکل پوشش گیاهی و گسترش ریشه‌های زعفران، بخش قابل توجهی از منابع مورد بهره‌برداری این گیاه قرار نمی‌گیرد. بنابراین، به دلیل ویژگی‌های خاص زعفران بایستی انتخاب گیاه همراه با دقت انجام شود (Khorramdel et al., 2016). از طرف دیگر گزارش شده‌است که کشت مخلوط زعفران با دیگر گیاهان، به دلیل سایه‌اندازی بر سطح خاک به خصوص در دوره خواب زعفران، می‌تواند باعث خنکتر شدن سطح خاک شده و در نتیجه با بهبود شرایط برای رشد بانه، تولید گل و عملکرد زعفران را افزایش دهد. علاوه بر این، نظام‌های مخلوط با بهبود تنوع و پیچیدگی سیستم، موجب افزایش پایداری نظام‌های زراعی می‌شود (Zhang & Li, 2003).

هدف از این تحقیق، بررسی واکنش زعفران و زیره سبز به نسبت‌های مختلف کشت مخلوط افزایشی در تاریخ کاشت‌های



شکل ۱- روند تغییرات بارندگی (میلی‌متر) و دماهای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد) برای دوره آزمایش در منطقه مورد بررسی
Figure 1- Trend of precipitation (mm), and maximum and minimum temperature (° C) in studied region and duration.

کاشت در اول مهر و در سال‌های دوم و سوم در ۱۵ مهر صورت گرفت. در سال دوم و سوم پس از گاو رو شدن خاک، سطح خاک برای تسهیل در خروج گل تا عمق ۵ سانتی متر توسط چهار شاخ خراش داده شد. آبیاری مرسوم تابستانه در هیچ کدام از کرت‌ها انجام نشد. کنترل علف‌های هرز در مواقع نیاز از طریق وجین دستی انجام شد. در طول اجرای آزمایش هیچ گونه آفت کش یا علف کش شیمیایی مورد استفاده قرار نگرفت.

عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه در خرداد ماه سال ۱۳۹۳ انجام شده بود. عملیات کاشت دستی زعفران در نیمه اول تیر ماه سال ۱۳۹۳ با استفاده از بنه‌های سالم با وزن متوسط ۶-۸ گرم با عمق کاشت ۲۰ سانتی‌متر به صورت کشت دانه تسبیحی با فاصله بین و روی ردیف‌ها ۱۰×۲۰ سانتی‌متر و تراکم ۵۰ بوته در متر مربع انجام شد. بنه‌ها از شهرستان کاشمر واقع در خراسان رضوی تهیه شدند. اولین آبیاری در سال اول

جدول ۱- زمان آخرین آبیاری و رسیدگی زیره سبز در تاریخ‌های مختلف کاشت
Table 1- Last irrigation and harvest time of cumin at different planting dates

تاریخ کاشت Planting date	زمان آخرین آبیاری Last irrigation date	تاریخ برداشت Harvest date
آبان November	۲۰ اردیبهشت May 10	۳ خرداد May 24
آذر December	۱ خرداد May 22	۱۵ خرداد June 5
اسفند March	۲۰ خرداد June 10	۲ تیر June 23
فروردین April	۶ تیر June 27	۱۴ تیر July 5

شدن اندام هوایی زعفران، هماهنگ با کشت مخلوط زیره سبز آبیاری شد.

عملکرد و اجزای عملکرد زیره سبز بر اساس تاریخ‌های برداشت ذکر شده در جدول ۱ انجام شد. جهت تعیین درصد اسانس زیره سبز، مقدار ۵۰ گرم از بذر تولید شده در هر کرت بصورت تصادفی انتخاب و توسط دستگاه کلونجر با استفاده از روش تقطیر با آب، اسانس آن اندازه‌گیری شد. به این منظور هر نمونه ابتدا کاملاً آسیاب شد و سپس درون بالن یک لیتری ریخته شد و ۷۵ میلی‌لیتر آب به آن اضافه گردید، سپس به مدت ۴ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد (Clevenger, 1928) و پس از رطوبت زدایی آب آن توسط سولفات سدیم با استفاده از روش (Guenther, 1961) درصد، مقدار و عملکرد اسانس تعیین شد.

کاشت دستی زیره سبز بر اساس نسبتی از تراکم مطلوب آن برابر با ۱۲۰ بوته در متر مربع (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012) در تاریخ‌های مورد نظر در بین ردیف‌های زعفران انجام شد. پس از رسیدن گیاه به ارتفاع ۵ سانتی‌متری جهت رسیدن به تراکم مورد نظر، بوته‌ها تنک شدند. در کشت اسفند و فروردین بلافاصله پس از کاشت، کرت‌ها آبیاری شدند و آبیاری‌های بعدی هر دو هفته یکبار تا زمان زرد شدن بوته‌ها بصورت نشتی اجرا شد. تاریخ آخرین آبیاری برای هر تیمار در جدول ۱ نشان داده شده‌است. قابل توجه است که برای تمامی تاریخ‌های کاشت زیره سبز، آبیاری زعفران در کشت خالص زعفران همانند نسبت‌های کشت مخلوط با زیره سبز ادامه پیدا کرد. یعنی برای تاریخ کاشت اسفند و فروردین زیره سبز، کرت‌های مربوط به کشت خالص زعفران حتی پس از خشک

زیره سبز
تعداد چتر در بوته
 نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاریخ کاشت، نسبت‌های کشت مخلوط و برهمکنش آن‌ها تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد چتر در بوته زیره سبز داشتند (جدول ۲).
 بررسی برهمکنش تاریخ و نسبت کشت بر تعداد چتر در بوته نشان داد که بطور میانگین با تأخیر در کاشت از میزان این صفت بطور قابل توجهی کاسته شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کشت زیره سبز در پاییز سبب می‌شود بوته‌های گیاه بهتر از کشت اسفند و بهار استقرار یافته و با گسترش ریشه (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012) جذب آب و عناصر غذایی را بهتر انجام دهند.

اندازه‌گیری خصوصیات بنه‌های زعفران شامل تعداد و وزن بنه‌های دختری در ۱۵ شهریور سال ۱۳۹۶ و عملیات برداشت گل زعفران در اوایل آبان ماه ۱۳۹۶ به صورت روزانه و از کل سطح کرت‌ها انجام شد. وزن تر و خشک گل و وزن تر و خشک کلاله به صورت هوا خشک توسط ترازو با دقت اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل از آزمایش بر اساس طرح آماری مورد استفاده، توسط نرم افزار SAS (نسخه ۹/۲) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد جهت مقایسه میانگین استفاده شد. مقایسات میانگین برهمکنش تیمارها به صورت برش‌دهی انجام شد. رسم نمودارها نیز توسط نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در زیره سبز تحت تأثیر تاریخ و نسبت کاشت

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of studied traits of cumin as affected by planting date and intercropped ratio with saffron

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد بذر Seed yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	0.58 ^{ns}	1093 ^{ns}	442.0 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.157 ^{ns}
تاریخ کاشت (A) Planting date	3	541 ^{**}	629182 ^{**}	141173 ^{**}	0.556 ^{**}	121 ^{**}
خطای اصلی Main error	6	2.62	508	1241.2	0.075	0.441
نسبت کاشت (B) Planting ratio	4	263 ^{**}	658047 ^{**}	157132 ^{**}	0.031 ^{ns}	120 ^{**}
A×B	12	43.92 ^{**}	47623 ^{**}	11674 ^{**}	0.004 ^{ns}	9.64 ^{**}
خطای فرعی Sub error	32	2.88	567	992	0.062	0.493
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	8.49	3.91	10.31	9.17	8.44

ns = Non-significant. * = Significant at 5% level. ** = Significant at 1% level.

به‌طور معنی‌داری بیشتر از اسفند بود. قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2009) با بررسی رشد و عملکرد زیره سبز

نتایج تحقیق سهیلی و همکاران (Soheyli et al., 2010) نشان داد که اجزای عملکرد زیره سبز در تاریخ کاشت آبان

افزایش تراکم زیره سبز در کشت مخلوط از تعداد چتر در بوته زیره سبز کاسته شد. در تاریخ کاشت آذر، اختلاف معنی‌داری بین کشت خالص زیره سبز (۳۲/۱۱) و ۲۵ درصد تراکم آن (۳۱/۱۱) وجود نداشت ولی این دو تیمار اختلاف معنی‌داری با دیگر تراکم‌های کاشت زیره سبز از نظر تعداد چتر در بوته نشان دادند (جدول ۳). به نظر می‌رسد در دو تاریخ کاشت اول، قرارگیری زیره سبز همراه با زعفران احتمالاً به دلیل شکل‌گیری رقابت بین گونه‌ای تأثیر منفی بر این جزء عملکردی زیره سبز داشته‌است. چرا که در این دو تاریخ کاشت، رشد زیره سبز در ماه‌های بهمن و اسفند که مرحله اوج رشد رویشی زعفران می‌باشد (Khosravi, 2005)، به شدت تحت تأثیر گیاه زعفران قرار گرفته‌است و زعفران با جذب عناصر غذایی، در تغذیه مناسب زیره سبز اختلال ایجاد کرده‌است.

در تاریخ‌های کاشت آذر، دی و اسفند، گزارش کردند که تأخیر در کاشت سبب کاهش معنی‌دار تعداد چتر در بوته گیاه شد. رضوانی مقدم و مرادی (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012) نیز در بررسی تاریخ کاشت پاییزه و بهاره زیره سبز اظهار داشتند که بطور کلی تأخیر در کاشت سبب شد که زیره سبز فرصت کافی برای تکمیل مراحل رویشی نداشته و قبل از کامل شدن دوره رویشی، مرحله زایشی آغاز شده و ارتفاع گیاه کاهش یابد، که این موضوع سبب کاهش تعداد چتر در گل آذین و دیگر اجزای عملکرد این گیاه شد.

اثر کشت مخلوط در تاریخ کاشت‌های مختلف بر این شاخص روند متفاوتی داشت (جدول ۳). بطوری‌که، در تاریخ کاشت آبان ماه میزان این شاخص در کشت خالص بطور معنی‌داری بیشتر از دیگر تراکم‌های کاشت زیره سبز بود و با

جدول ۳- اثر برهمکنش تاریخ کاشت و نسبت کشت مخلوط بر برخی خصوصیات زیره سبز
Table 3- Interaction effect of planting date and intercropping ratio on some cumin traits

تیمار Treatment		تعداد چتر در بوته Number of umbels per plant	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg. ha ⁻¹)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg. ha ⁻¹)
تاریخ کاشت Planting date	نسبت کشت Planting ratio (%)			
آبان November	کشت خالص Sole	36.22 ^a	1241.3 ^a	16.84 ^a
	25C+100S	31.25 ^b	330.1 ^d	4.78 ^d
	50C+100S	25.44 ^c	592.7 ^c	7.99 ^c
	75C+100S	22.17 ^d	898.2 ^{bc}	12.40 ^b
	100C+100S	16.54 ^e	949.6 ^b	13.72 ^b
آذر December	کشت خالص Sole	32.11 ^a	1131 ^a	15.83 ^a
	25C+100S	31.11 ^a	303.4 ^d	4.30 ^c
	50C+100S	22.39 ^b	561.3 ^c	7.61 ^b
	75C+100S	19.99 ^b	811.58 ^{bc}	11.11 ^a
	100C+100S	13.66 ^c	893.6 ^b	12.45 ^a
اسفند March	کشت خالص Sole	17.54 ^a	749 ^a	8.71 ^a
	25C+100S	17.88 ^a	281.3 ^d	3.20 ^d
	50C+100S	17.36 ^a	478.8 ^{cd}	5.58 ^c
	75C+100S	14.39 ^b	533.9 ^c	6.63 ^b
	100C+100S	12.15 ^b	698.3 ^b	8.92 ^a
فروردین April	کشت خالص Sole	12.17 ^b	418 ^a	6.05 ^a
	25C+100S	17.14 ^a	203.7 ^c	3.20 ^c
	50C+100S	16.13 ^a	311.2 ^b	4.84 ^b
	75C+100S	12.32 ^b	395.3 ^a	5.90 ^a
	100C+100S	12.14 ^b	417.3 ^a	6.19 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون به صورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

Column means with the same letter as slicing are not significantly different by Duncan test ($p \leq 0.05$)

C and S are cumin and saffron, respectively.

C و S: به ترتیب معرف زیره سبز و زعفران می‌باشد.

(جدول ۲).

مقایسات میانگین نشان داد که عملکرد بذر و بیولوژیک زیره سبز تحت تأثیر تیمارهای مورد بررسی روند یکسانی دارا بودند (جدول ۳ و شکل ۲). بطور میانگین، هرچه تاریخ کاشت زیره سبز زودتر انجام شد، عملکرد بذر و بیولوژیک آن بالاتر بود و در کلیه تراکم‌های کاشت کمترین مقدار این صفات در تاریخ کاشت فروردین ماه بدست آمد. همانطور که گزارش شده‌است استفاده بهتر زیره سبز از آب و مواد غذایی و رقابت بهتر با علف‌های هرز در تاریخ کاشت‌های پاییزه، می‌تواند در افزایش عملکرد آن نسبت به کشت بهاره موثر باشد (Rezvani Moghaddam & Zarrinzadeh et al., 2012). زرین زاده و همکاران (Moradi, 2012) طی آزمایشی به بررسی اثر چهار تاریخ کاشت (آذر، دی، اسفند و فروردین) بر عملکرد زیره سبز پرداخت و بیان داشت که بیشترین عملکرد زیره سبز در تاریخ کاشت‌های آذر و دی بدست آمد. همچنین، گزارش شده‌است که عملکرد کشت پاییزه زیره سبز نسبت به کشت بهاره افزایش معنی‌داری داشت (Nezami & Bagheri, 2009). ایشان بیان داشتند که در کشت بهاره بدلیل گرمی هوا و خصوصیات رشدی گیاه بویژه حساسیت بیش از حد زیره سبز به فتوپریود، در نتیجه بلند شدن روزها در اوایل بهار از عملکرد کاسته خواهد شد، زیرا در این حالت زیره سبز وارد مرحله زایشی شده و این موضوع در اجزاء عملکرد گیاه موثر بوده و باعث کاهش عملکرد می‌شود.

در تاریخ کاشت‌های پاییزه، میزان عملکرد بذر زیره سبز در کشت خالص گیاه بطور معنی‌داری بیشتر از کلیه نسبت‌های کشت مخلوط بود (جدول ۳ و شکل ۲). اما در تاریخ کاشت اسفند اختلاف معنی‌داری از نظر این صفت بین کشت خالص و تراکم ۱۰۰ درصد زیره سبز در کشت مخلوط مشاهده نشد. در تاریخ کاشت فروردین، میزان عملکرد گیاه در کشت خالص و تراکم‌های ۱۰۰ و ۷۵ درصد زیره سبز اختلاف معنی‌داری را

این موضوع سبب شده‌است که هرچه تراکم زیره سبز در کشت مخلوط افزایش یافته، احتمالاً به دلیل رقابت بیشتر بین و درون گونه‌ای عناصر غذایی کمتری در دسترس زیره سبز قرار گرفته‌است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016b) نیز با بررسی کشت مخلوط زعفران و زیره سبز گزارش کردند با افزایش تراکم زیره سبز در کشت مخلوط از تعداد چتر در بوته گیاه کاسته شد. نتایج مشابهی توسط خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2016) نیز گزارش شده‌است.

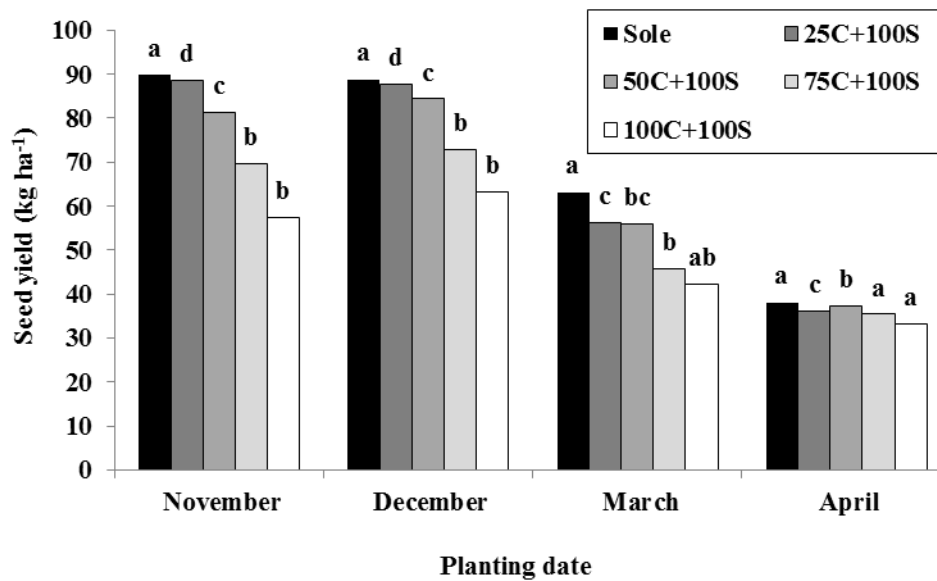
در تاریخ کاشت اسفند و فروردین روند متفاوت با کشت پاییزه بود و کشت مخلوط ۲۵ و ۵۰ درصد زیره سبز بخصوص در تاریخ کاشت فروردین تعداد چتر در بوته بیشتری از کشت خالص زیره سبز و تراکم‌های بالاتر آن داشتند. از آنجایی‌که، بطور کلی تعداد چتر در بوته زیره سبز در تاریخ کاشت‌های اسفند و فروردین بطور معنی‌داری کمتر از کاشت پاییزه بود که این نشان می‌دهد گیاه به پتانسیل رشد خود نرسیده‌است. از طرف دیگر، در تاریخ کاشت اسفند و بخصوص فروردین چون رشد زیره سبز در بخش زیادی از فصل رشد با دوره زرد شدن بوته‌های زعفران در بهار همراه بوده‌است (جدول ۱). این باعث شده‌است که از رقابت بین گونه‌ای زعفران و زیره سبز کاسته شود و رشد زیره سبز بیشتر تحت تأثیر رقابت درون گونه‌ای باشد. در نتیجه بیشترین تعداد چتر در بوته زیره سبز در کمترین تراکم کاشت این گیاه حاصل شده‌است. در کل، بیشترین (۳۶/۲۲) تعداد چتر در بوته زیره سبز در تاریخ کاشت آبان ماه برای کشت خالص زیره سبز بدست آمد و کمترین مقدار آن (۱۲/۱۴) در تاریخ کاشت فروردین و کشت مخلوط ۱۰۰ درصد تراکم زیره سبز حاصل شد.

عملکرد بذر و بیولوژیک

این دو شاخص بطور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تحت تأثیر تاریخ کاشت، نسبت کاشت و اثر متقابل این دو تیمار قرار گرفتند

موضوع باعث شده است که اختلاف معنی داری بین کشت خالص زیره سبز با تراکم‌های ۱۰۰ و ۷۵ درصد آن وجود نداشته باشد. بررسی کشت مخلوط زعفران و بابونه نیز نشان داد که عملکرد گل بابونه (*Matricaria chamomilla*) در تاریخ کاشت اسفند (۸۹۳ کیلوگرم در هکتار) نسبت به تاریخ کاشت پاییزه (۱۶۰۲ کیلوگرم در هکتار) کاهش معنی داری یافت (Naderidarbaghshahi et al., 2013).

نشان نداد. به نظر می‌رسد در تاریخ کاشت پاییزه، زیره سبز بیشتر تحت تأثیر رقابت بین گونه‌ای با زعفران بوده و به میزان قابل توجهی از تراکم کاشت به دلیل رقابت بر سر جذب عناصر غذایی تأثیر پذیرفته است. اما از آنجاییکه زعفران در فصل بهار رشد سبزینه‌ای خود را متوقف کرده و همچنین ریشه خود را از دست می‌دهد (Khorramdel et al., 2016)، به نظر می‌رسد در کشت بهاره رقابت بین گونه‌ای ناچیز بوده و احتمالاً این



شکل ۲- تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و نسبت‌های کشت مخلوط بر عملکرد بذر زیره سبز

Figure 2- Interaction effect of planting date and intercropping ratio on cumin seed yield.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون به صورت برش دهی دارای اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

Column means with the same letter as slicing are not significantly different by Duncan test ($p \leq 0.05$).

Sole, C and S: are cumin and saffron, respectively. به ترتیب معرف کشت خالص، زیره سبز و زعفران می‌باشد.

کیلوگرم در هکتار) زیره سبز در تاریخ کاشت فروردین و تراکم ۲۵ درصد زیره سبز و بیشترین میزان این صفات (به ترتیب ۱۲۴۱/۳ و ۶۰۳/۷ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت آبان ماه و کشت خالص زیره سبز حاصل شد. بررسی نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی زیره سبز با زعفران نیز نشان داد که با افزایش نسبت تراکم زیره سبز در کشت مخلوط، میزان عملکرد بیولوژیک و بذر زیره سبز افزایش معنی داری یافت (Khorramdel et al., 2016).

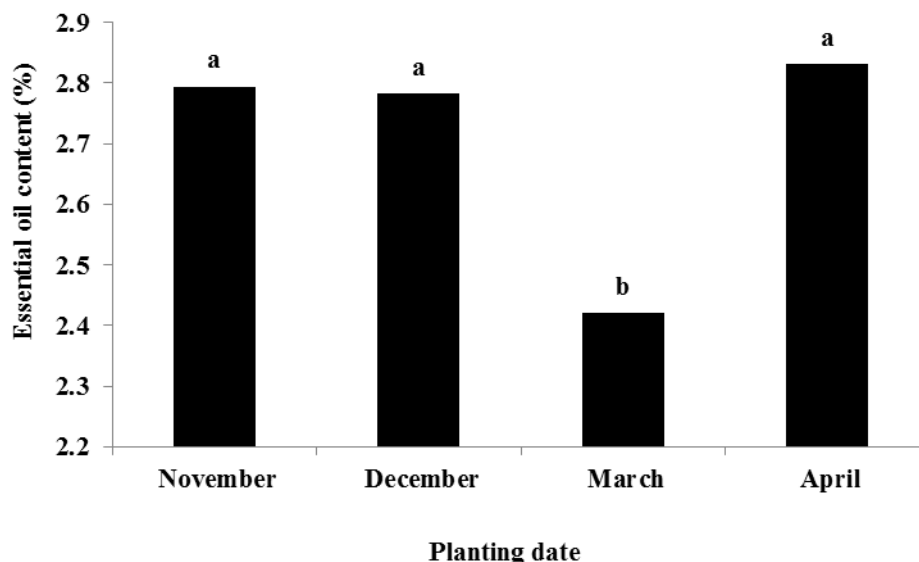
در بین تراکم‌های مختلف زیره سبز در کشت مخلوط نیز نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تراکم زیره سبز در کشت مخلوط، عملکرد بذر و بیولوژیک آن افزایش یافت. کاهش عملکرد گیاه در اثر کاهش تراکم در کشت مخلوط توسط محققین زیادی تأیید شده است (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012; Khorramdel et al., 2016; Koocheki et al., 2009; Asadi et al., 2016). بطور کلی، کمترین عملکرد بیولوژیک (۲۰۳/۷ کیلوگرم در هکتار) و بذر (۱۱۴/۳

درصد اسانس

درصد اسانس زیره سبز تنها تحت تأثیر تیمار تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت و نسبت کاشت و برهمکنش آن‌ها تأثیری بر این شاخص نداشت (جدول ۲).

نتایج نشان داد که بیشترین درصد اسانس گیاه (۲/۸۳ درصد) در تاریخ کاشت فروردین حاصل شد که البته اختلاف معنی‌داری با میزان این شاخص در تاریخ کاشت آبان (۲/۷۹ درصد) و آذر (۲/۷۸ درصد) نشان نداد (شکل ۳). کمترین میزان اسانس زیره سبز (۲/۴۲ درصد) نیز در تاریخ کاشت اسفند مشاهده شد که بطور معنی‌داری کمتر از دیگر تاریخ‌های کاشت بود. رضوانی مقدم و مرادی (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012) نیز گزارش نمودند که درصد اسانس زیره سبز در تاریخ کاشت پاییزه بیشتر از کشت اسفند بود. ایشان اظهار داشتند که تغذیه و رشد و نمو مناسب تر زیره سبز در کشت پاییزه، تأثیر مهمی در پر شدن اسانس بذر داشته‌است. از طرفی، به نظر می‌رسد قرار گیری زیره سبز در معرض دماهای بالاتر

(شکل ۱) و همچنین عملکرد بذر پایینتر در تاریخ کاشت فروردین باعث شده‌است که محتوی اسانس گیاه نسبت به دیگر تاریخ‌های کاشت افزایش یابد. از آنجاییکه، اسانس‌ها جزئی از متابولیت‌های ثانویه گیاهی هستند و گیاه معمولاً در هنگام دریافت تنش محیطی میزان این مواد را در اندام خود افزایش می‌دهد (Moradi et al., 2011)، در آزمایش حاضر نیز به نظر می‌رسد قرار گیری گیاه در شرایط دماهای بالاتر باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه گیاه زیره سبز از جمله درصد اسانس شده‌است. حقیرالسادات و همکاران (Haghiroalsadat et al., 2011) نیز اظهار داشتند که تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی به شدت تحت تأثیر شرایط محیطی از جمله تنش‌های زیستی و غیر زیستی مانند تنش دمایی می‌باشد. دامنه درصد اسانس زیره سبز در تراکم‌های مختلف کشت مخلوط با زیره سبز توسط کوچکی و همکاران (Khoocheki et al., 2016b) نیز بین ۲/۳۶ تا ۲/۹۸ درصد گزارش شده‌است.



شکل ۳- تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت بر درصد اسانس زیره سبز

Figure 3- Effect of different planting date on percentage of cumin essential oil.

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p \leq 0.05$).

عملکرد اسانس

تأثیر نسبت‌های کاشت، تاریخ کاشت و برهمکنش دو تیمار بر عملکرد اسانس زیره سبز معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی برهمکنش دو تیمار نشان داد که عملکرد اسانس روندی مشابه عملکرد بذر زیره سبز دارا بود (جدول ۳). بطوریکه، با تأخیر در کاشت بطور معنی‌داری از عملکرد اسانس زیره سبز در کلیه نسبت‌های کاشت کاسته شد. با افزایش سهم زیره سبز در کشت مخلوط، عملکرد اسانس این گیاه در کلیه تاریخ‌های کاشت کاهش یافت که این کاهش در تاریخ‌های کشت پاییزه بیشتر از بهاره بود (جدول ۳). بر خلاف تاریخ کاشت آبان و آذر، در تاریخ‌های کاشت اسفند و فروردین اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد اسانس بین کشت خالص و تراکم ۱۰۰ درصد گیاه در کشت مخلوط مشاهده نشد. تأیید شده‌است که عملکرد اسانس برآیندی از درصد اسانس و عملکرد بذر می‌باشد (Tanu et al,)

(2004). نتایج نشان می‌دهد که در این تحقیق سهم تأثیر عملکرد بذر بر عملکرد اسانس بسیار بیشتر از درصد اسانس بوده‌است.

زعفران

تعداد بانه دختری

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد بانه زعفران در واحد سطح تحت تأثیر هیچ کدام از تیمارهای تاریخ، نسبت کاشت و برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۴).

وزن تر بانه دختری

اثر تاریخ کاشت و برهمکنش آن با نسبت کاشت در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر بانه معنی‌دار بود ولی نسبت کاشت تأثیری بر این صفت نداشت (جدول ۴).

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در زعفران تحت تأثیر تاریخ و نسبت کاشت

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of studied traits of saffron as affected by planting date and intercropping ratio

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد گل Flower number	عملکرد تر گل Flower fresh weight	وزن خشک کلاله Stigma dry weight	تعداد بانه دختری Replacement corm number	وزن تر بانه دختری Replacement corm fresh weight	بانه ناسالم Infected corm
تکرار Replication	2	10.64 ^{ns}	183 ^{ns}	0.005 ^{ns}	106 ^{ns}	2080 ^{ns}	0.001 ^{ns}
تاریخ کاشت (A) Planting date	3	3806 ^{**}	30156 ^{**}	4.17 ^{**}	1.80 ^{ns}	17104 ^{**}	1039 ^{**}
خطای اصلی Main error نسبت کاشت (B) Planting ratio	6	10.44	143	0.084	35.56	1425	1.22
A×B	4	2863 ^{**}	19957 ^{**}	3.14 ^{**}	2.47 ^{ns}	740 ^{ns}	2.60 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	12	303 ^{**}	2293 ^{**}	0.334 ^{**}	2.17 ^{ns}	7772 ^{**}	2.93 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	32	17.88	216	0.034	51.84	950	1.48
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	6.47	8.01	8.53	6.15	6.30	13.07

*، ** و ns: به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری.
ns = Non-significant. * = Significant at 5% level. ** = Significant at 1% level.

منجر به کاهش وزن تر بنه زعفران در واحد سطح شده‌است. در تاریخ کاشت اسفند و فروردین، روند مشخصی از نظر وزن بنه در واحد سطح مشاهده نشد و تراکم‌های ۲۵ (۴۵۴/۶) گرم در متر مربع) و ۵۰ درصد (۴۵۵/۲) گرم در متر مربع) زیره سبز در تاریخ کاشت اسفند و تراکم ۷۵ درصد (۴۱۸/۳) گرم در متر مربع) کمترین وزن بنه را شامل شدند. دلایل و بحث این موضوع در صفت بعد ذکر شده‌است.

میزان بنه ناسالم

درصد بنه‌های ناسالم زعفران در واحد سطح بطور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت ولی اثر نسبت کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر صفت یاد شده معنی‌دار نبود (جدول ۴).

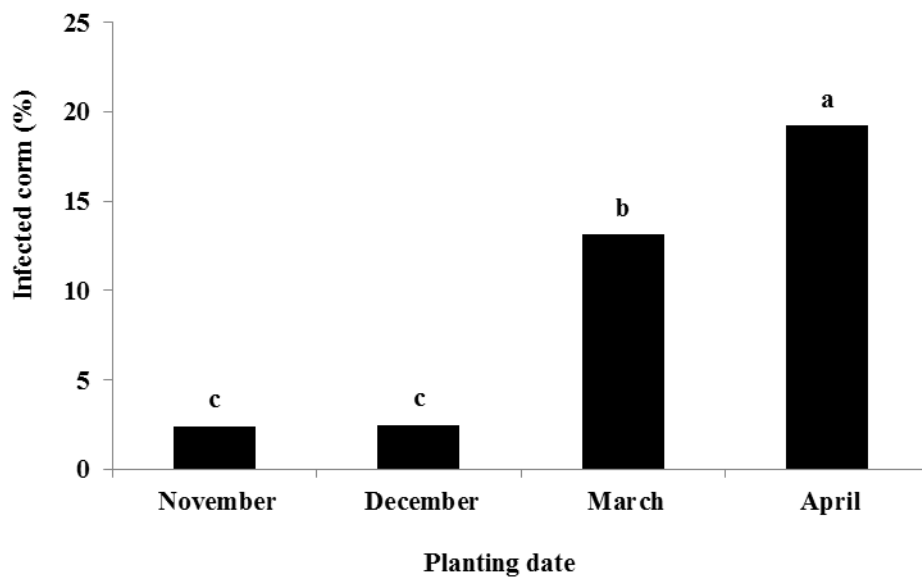
نتایج نشان داد که بطور میانگین با تأخیر در تاریخ کاشت، وزن بنه زعفران کاهش یافت (جدول ۵). در تاریخ کاشت‌های پاییزه، اختلافی بین کشت خالص زعفران با کشت مخلوط ۲۵ و ۵۰ درصد زیره سبز مشاهده نشد و تیمارهای یاد شده مقدار وزن بنه بالاتری نسبت به کشت مخلوط ۷۵ و ۱۰۰ درصد زیره سبز دارا بودند. به نظر می‌رسد در کشت پاییزه که بوته‌های زیره رشد مناسب‌تری داشتند، کشت مخلوط زعفران و زیره سبز در تراکم‌های بالای زیره سبز منجر به بروز رقابت بین گونه زعفران و زیره سبز از نظر آب و مواد غذایی شده‌است. از آنجایی که تعداد بنه در واحد سطح تحت تأثیر قرار نگرفت (جدول ۴)، احتمالاً رقابت بین زعفران و زیره سبز بر سر جذب آب و مواد غذایی

جدول ۵- اثر برهمکنش تاریخ کاشت و نسبت کشت مخلوط بر برخی خصوصیات زعفران
Table 5- Interaction effect of planting date and intercropping ratio on some saffron traits

تیمار تاریخ کاشت Planting date	نسبت کاشت Planting ratio (%)	وزن تر بنه Corm fresh weight (g.m ⁻²)	تعداد گل Flower number per m ²	عملکرد تر گل Flower fresh weight (kg.ha ⁻¹)	وزن خشک کلاله Stigma dry weight (kg.ha ⁻¹)
آبان November	کشت خالص	533.6 ^a	89.76 ^a	246.8 ^a	2.97 ^a
	25C+100S	532.6 ^a	88.69 ^a	240.2 ^a	2.94 ^a
	50C+100S	530.6 ^a	81.29 ^{ab}	230.7 ^b	2.69 ^b
	75C+100S	505.5 ^b	69.77 ^b	199.8 ^c	2.31 ^c
	100C+100S	464.4 ^c	57.36 ^c	160.7 ^d	1.90 ^d
آذر December	کشت خالص	533.7 ^a	88.82 ^a	247.8 ^a	2.93 ^a
	25C+100S	534.6 ^a	87.61 ^a	248.7 ^a	2.90 ^a
	50C+100S	531.6 ^a	84.36 ^{ab}	239.2 ^a	2.79 ^{ab}
	75C+100S	515.5 ^b	72.98 ^b	212.3 ^b	2.42 ^b
	100C+100S	503.5 ^b	63.26 ^c	179.3 ^c	2.09 ^c
اسفند March	کشت خالص	473.2 ^a	63.17 ^a	179.1 ^a	1.95 ^a
	25C+100S	454.6 ^b	56.32 ^b	161.2 ^b	1.86 ^b
	50C+100S	455.2 ^b	55.98 ^b	159.3 ^b	1.85 ^b
	75C+100S	467.2 ^{ab}	45.87 ^c	130.8 ^c	1.52 ^c
	100C+100S	462.2 ^{ab}	42.17 ^c	118.2 ^d	1.40 ^d
فروردین April	کشت خالص	435.6 ^a	38.11 ^a	126.3 ^a	1.32 ^a
	25C+100S	424.9 ^{ab}	38.25 ^a	103.5 ^b	1.20 ^b
	50C+100S	436.8 ^a	37.26 ^a	108.9 ^b	1.23 ^b
	75C+100S	418.3 ^b	35.44 ^a	98.36 ^b	1.17 ^c
	100C+100S	434.2 ^a	36.17 ^a	93.25 ^c	1.10 ^d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون به صورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.
Column means with the same letter as slicing are not significantly different by Duncan test ($p \leq 0.05$).
C and S are cumin and saffron, respectively.

C و S: به ترتیب معرف زیره سبز و زعفران می‌باشد.



شکل ۴- تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت زیره سبز در کشت مخلوط بر درصد بنه‌های ناسالم زعفران
 Figure 4- Effect of different cumin planting dates in intercropping on infected saffron corms.
 میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.
 Column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p \leq 0.05$).

زعفران نقش بسزایی داشته باشد (Rahimi et al., 2013). به‌نظر می‌رسد که در آزمایش حاضر ادامه آبیاری بعد از خواب بنه در تاریخ کاشت‌های اسفند و فروردین زیره سبز (جدول ۱) منجر به مهیا شدن شرایط مناسب رشد برای عوامل بیماری‌زای بنه شده که خود باعث آلودگی و کاهش وزن بنه شده‌است. بنابراین، به‌نظر می‌رسد نباید سیستم کشت زعفران طوری اجرا شود که آبیاری بعد از خواب بنه‌ها انجام پذیرد و با زرد شدن برگ‌های زعفران آبیاری قطع گردد. در تأیید این موضوع فیضی و همکاران (Feizi et al., 2018) نیز با بررسی تیمار قطع آبیاری آخر فصل نشان دادند که زمانی که آبیاری در زمان خواب بنه‌ها بعد از زمان عرف منطقه ادامه پیدا کرد، وزن بنه‌های زعفران که در انتهای تابستان اندازه‌گیری شدند بطور معنی‌داری نسبت به قطع عرف آبیاری کاهش یافت. این موضوع تصدیق می‌نماید که آب مصرفی برای رشد زیره سبز در شرایط کشت مخلوط تأخیری که در زمان خواب بنه زعفران انجام می‌شود تأثیر منفی بر بنه زعفران دارد. آزمایش‌هایی که در مزارع

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد بنه‌های ناسالم در تاریخ کاشت آبان و آذر حدود ۲/۵ درصد بود که بطور معنی‌داری کمتر از مقدار این شاخص در تاریخ کاشت اسفند (۱۳/۱۳ درصد) و (۱۹/۲۳ درصد) بود (شکل ۴). این موضوع نشان می‌دهد عاملی غیر از کشت مخلوط بر آلودگی بنه‌ها تأثیر داشته که منجر به کاهش وزن بنه در واحد سطح نیز شده‌است. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که یکی از عواملی که در تابستان روی غده زعفران تأثیر می‌گذارد خسارت کنه *Rhizoglyphus robini Claparede* (Acari: Acaridae) و همچنین آلودگی‌های قارچی می‌باشد (Rahimi & Kamali, 1993; Rahimi et al., 2008; 2013). این عوامل بیماری‌زا با نفوذ به داخل بنه‌های زعفران از محل زخم‌ها و همچنین دیگر قسمت‌های سالم موجب خسارت به بنه‌ها شده و عملکرد زعفران را بشدت کاهش می‌دهد (Rahimi & Kamali, 1993). تحقیقات نشان داده‌اند برخی روش‌های زارعی از جمله تاریخ آبیاری می‌تواند در تعیین جمعیت کنه و در نتیجه عملکرد

اثر متقابل تاریخ و نسبت کاشت نشان داد که در تاریخ کاشت‌های پاییزه اختلافی بین تعداد و عملکرد گل تولیدی زعفران در کشت خالص و کشت مخلوط ۲۵ و ۵۰ درصد زعفران مشاهده نشد (جدول ۵). اما تعداد و وزن گل در تراکم‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد زعفران بطور معنی‌داری کمتر از تیمارهای یاد شده بود. یعنی با افزایش سهم زیره سبز در کشت مخلوط افزایشی با زعفران، از عملکرد زعفران کاسته شد. این موضوع هم راستا با نتایج مربوط به وزن بنه در واحد سطح می‌باشد (جدول ۵). یعنی تعداد و عملکرد گل تولیدی زعفران با کاهش وزن بنه زعفران تحت تأثیر تراکم‌های بالای زیره سبز در سری‌های افزایشی کشت مخلوط در تاریخ کاشت‌های پاییزه کاهش یافته‌است. به نظر می‌رسد در این شرایط کاشت، زیره سبز با زعفران بر سر آب و مواد غذایی رقابت نموده و بخشی از عناصر و رطوبت مورد نیاز رشد بنه‌های زعفران را جذب کرده که خود منجر به کاهش وزن بنه و در نهایت عملکرد گل شده‌است. در تاریخ کاشت اسفند و فروردین نیز کشت خالص بطور معنی‌داری تعداد و وزن گل بیشتری از کلیه نسبت‌های کشت مخلوط دارا بود.

نتایج نشان داد با تأخیر در کاشت تعداد و عملکرد گل زعفران در کلیه نسبت‌های کشت و حتی کشت خالص زعفران کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵). به عنوان مثال، تعداد گل تولیدی در کشت خالص زعفران برای تاریخ کاشت‌های آبان، آذر، اسفند و فروردین به ترتیب ۸۹/۷۶، ۸۸/۸۲، ۶۳/۱۷ و ۳۸/۱۱ گل در متر مربع بود. در دیگر نسبت‌های کشت نیز این روند صادق بود. دامنه گل تولیدی زعفران در تاریخ کاشت فروردین (۳۸/۱۱ تا ۳۵/۴۴ گل در مترمربع) بطور معنی‌داری کمتر از دیگر تاریخ‌های کاشت بود و بین کشت خالص و تمامی نسبت‌های کشت مخلوط از نظر این شاخص اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، تأخیر در تاریخ کاشت زیره

زعفران کاری بجستان و قاین انجام شد نشان داد که آبیاری بعد از مرداد ماه در مزارع تازه کاشت زعفران ۱۷ درصد و در مزارع چندساله تا ۴۰ درصد عملکرد گل را افزایش می‌دهد، ولی آبیاری تیرماه و قبل از آن در هر دو مورد مضر تشخیص داده شد (Sadeghi et al., 2003). ایشان دلیل این کاهش را آلودگی‌های قارچی بنه‌ها تشخیص داده و تأکید داشتند که در این مناطق به موضوع افزایش خطر آلودگی قارچ و پوسیدن بنه‌ها که زارعین غالباً از آن واگرمه دارند توجهی نمی‌شود. در مزارع زعفران بعضی نقاط که به هر دلیلی در دوره استراحت زعفران آبیاری گردند شرایط رشد و نمو آفات مناسب گردیده و سریعاً جمعیت کنه بالا می‌رود و فعالیت چشمگیر کنه زعفران عمدتاً در مزارعی دیده می‌شود که به‌شدت بر خصوصیات بنه تأثیر منفی دارد. در بررسی اثر تاریخ کاشت و مدیریت آبیاری مشخص شد که کاشت بنه‌های زعفران در طول دوره استراحت حقیقی، عدم انجام آبیاری در این مرحله، و علاوه بر آن پرهیز از آبیاری تابستانه در اول مرداد ماه موجب شد متوسط وزن بنه‌های دختری تولید شده به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر عملکرد زعفران افزایش یابد (Koocheki et al., 2016a). رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2008) نیز در بررسی اثر آبیاری تابستانه بر جمعیت کنه زعفران نشان دادند آبیاری مداوم تابستانه باعث افزایش جمعیت کنه و عاملی مؤثر در کاهش وزن بنه و به‌تبع آن عملکرد زعفران بوده‌است. بررسی کشت مخلوط بابونه در تاریخ کاشت‌های پاییزه و بهاره با زعفران تأیید نمود که کشت مخلوط تأثیر منفی بر وزن بنه داشت و با تأخیر در کاشت بابونه، وزن بنه کاهش معنی‌داری یافت (Naderidarbaghshahi et al., 2013).

تعداد و عملکرد گل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد و وزن گل تولیدی زعفران بطور معنی‌داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت، نسبت کاشت و برهمکنش آنها قرار گرفت (جدول ۴).

زعفران را می توان با گیاهانی به صورت مخلوط کاشت که دوره رشد کوتاهتری داشته و لذا به تعداد دفعات آبیاری کمتری در بهار نیاز دارند.

وزن خشک کلاله

این شاخص نیز در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر تیمارهای تاریخ کاشت، نسبت کاشت و اثر متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۴).

کلاله تولیدی در کلیه نسبت‌های کاشت در تاریخ کاشت‌های پاییزه بیشتر از بهاره بود (جدول ۵). تأخیر در کاشت زیره سبز تأثیر منفی بر تولید کلاله زعفران داشت. با افزایش نسبت زیره سبز در کشت مخلوط از عملکرد کلاله زعفران بطور معنی‌داری کاسته شد. بطور کلی، بیشترین (۲/۹۷ کیلوگرم در هکتار) عملکرد کلاله خشک زعفران در تاریخ کاشت آبان ماه برای کشت خالص زعفران حاصل شد و کمترین (۱/۱۰ کیلوگرم در هکتار) مقدار آن در تاریخ کاشت فروردین ماه زیره سبز و تراکم ۱۰۰ درصد زیره سبز مشاهده شد (جدول ۵). کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) نیز با بررسی کشت مخلوط زعفران با غلات، حبوبات و گیاهان دارویی گزارش نمودند که طول دوره رشد گیاه همراه رابطه معکوس با عملکرد زعفران داشت و هرچه گیاه دیرتر آبیاری شد باعث کاهش بیشتر عملکرد کلاله زعفران شد. ایشان دلیل این امر را نیاز آبی کم زعفران دانستند و بیان داشتند که استفاده آب بیشتر از نیاز آبی زعفران تأثیر منفی بر عملکرد آن دارد. از آنجاکه، با اینکه زعفران گیاهی با نیاز آبی کم بوده ولی در دوره رشد آبیاری زیاد تأثیر مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه دارد، به نظر می‌رسد شاید اگر در این تحقیق نیز بنه‌ها در شهریور مورد بررسی قرار می‌گرفت شاید دلایل بهتری توسط محققین ارائه می‌شد. همچنین، فیضی و همکاران (Feizi et al., 2019) نیز گزارش کردند تأخیر در قطع آبیاری در انتهای فصل رشد زعفران در بهار رابطه منفی با

سبز در کشت مخلوط منجر به کاهش معنی‌دار وزن بنه در واحد سطح شد. وزن بنه تأثیر مستقیمی بر تعداد و عملکرد گل داشته و هرچه بنه‌ها درشت‌تر باشند، تعداد و زمان گلدهی افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که، رضانی (Ramezani, 2000) نیز با بررسی اندازه بنه بر عملکرد گل زعفران نشان دادند که اثر وزن بنه بر عملکرد گل معنی‌دار بود و کاشت بنه‌های درشت‌تر نه تنها باعث افزایش گل‌آوری در سال اول شد، بلکه از طریق تولید بنه‌های دختری درشت‌تر نیز منجر به بهبود گلدهی و افزایش کارایی مزرعه در سال‌های بعدی گردید، بنابراین به نظر می‌رسد با کاهش وزن بنه در نتیجه ادامه پیدا کردن آبیاری در زمان خواب حقیقی بنه‌ها، تعداد گل نیز کاهش یافته‌است. مسافری و همکاران (Mosaferi et al., 2007) تأثیر آبیاری‌های تابستانه بر عملکرد گل زعفران را بررسی نمودند. تیمارهای آبیاری اعمال شده عبارت بودند از یک آبیاری در تیرماه، یک آبیاری در مردادماه، یک آبیاری در تیرماه به‌اضافه یک آبیاری در مردادماه و شاهد (بدون آبیاری تابستانه). نتایج آزمایش مذکور نشان داد که آبیاری در مرداد ماه عملکرد گل و وزن خشک زعفران را تا ۱۸ درصد افزایش داد ولی تیمار آبیاری در تیرماه نسبت به عدم آبیاری تابستانه عملکرد گل زعفران را کاهش معنی‌داری داد. ایشان تأکید نمودند که آبیاری اواخر فصل بهار که بنه در مرحله خواب حقیقی هست، تأثیر منفی بر خصوصیات گل زعفران دارد. از طرف دیگر احتمال می‌رود قطع به موقع آبیاری در کشت مخلوط پاییزه زیره سبز، باعث قرار دادن فرصت بیشتری به گیاه جهت خواب بنه‌ها تا زمان بیدار شدن شده و باعث افزایش طول دوره خواب بنه‌ها شده که در این فرصت گیاه فرصت بیشتری جهت آغاز گل و گل‌انگیزی داشته و این امر منجر به تولید بهتر گل در فصل آینده شده‌است که با نتایج فیضی و همکاران (Feizi et al., 2019) همسو می‌باشد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2009) نیز تأکید نمودند که به‌طور کلی

کلی کشت مخلوط نشان داد که در تاریخ کاشت آبان و آذر ماه نسبت کاشت ۷۵ درصد تراکم زیره سبز + زعفران بیشترین (۱/۵۱) مقدار LER کشت مخلوط را شامل شد (جدول ۶). بالاترین میزان LER کشت مخلوط در تاریخ کاشت اسفند (۱/۴۱) و فروردین (۱/۳۷) مربوط به کشت مخلوط ۱۰۰ درصد تراکم زیره سبز + زعفران بود. کشت مخلوط ۲۵ درصد تراکم زیره سبز + زعفران در کلیه تاریخ‌های کاشت کمترین میزان LER کل را شامل شد. نتایج تأیید می‌کند که در تاریخ‌های کاشت آبان و آذر گیاه زعفران و در تاریخ کاشت‌های اسفند و فروردین گیاه زیره سبز سودمندی بیشتری از کشت مخلوط داشته‌اند (جدول ۶).

عملکرد کلاله گیاه در آبان ماه داشت. ایشان دلیل این امر را آلودگی بنه‌ها به بیماری‌های قارچی و کنه در صورت ادامه آبیاری در زمان خواب بنه‌ها گزارش نمودند. کاهش عملکرد کلاله زعفران تحت تأثیر تأخیر در کاشت بابونه نیز تأیید شده‌است (Naderidarbaghshahi et al., 2013).

نسبت برابری زمین (LER)

نتایج نشان داد که در کلیه تاریخ‌های کاشت، LER جزئی زیره سبز با افزایش درصد تراکم زیره در کشت مخلوط افزایش معنی‌داری یافت (جدول ۶). از طرف دیگر تأخیر در کاشت، LER جزئی زیره سبز را به میزان قابل توجهی افزایش داد. LER جزئی زعفران روندی متفاوت با زیره سبز دارا بود و با افزایش سهم زیره سبز در کشت مخلوط و تأخیر در تاریخ کاشت، مقدراً آن کاهش معنی‌داری نشان داد. بررسی LER

جدول ۶- اثر برهمکنش تاریخ کاشت و نسبت کشت مخلوط بر نسبت برابری زمین
Table 6- Interaction effect of planting date and intercropping ratio on LER

تیمار تاریخ کاشت Planting date	نسبت کشت Planting ratio (%)	نسبت برابری زمین جزئی زیره		نسبت برابری زمین جزئی زعفران Saffron partial LER	نسبت برابری زمین کل Total LER
		سبز Cumin partial LER	زعفران		
آبان November	25C+100S	0.286 ^d	0.988 ^a	1.27 ^c	
	50C+100S	0.480 ^c	0.906 ^b	1.39 ^b	
	75C+100S	0.736 ^b	0.777 ^c	1.51 ^a	
	100C+100S	0.794 ^a	0.639 ^d	1.43 ^a	
آذر December	25C+100S	0.272 ^d	0.977 ^a	1.25 ^b	
	50C+100S	0.486 ^c	0.940 ^b	1.43 ^{ab}	
	75C+100S	0.699 ^b	0.813 ^c	1.51 ^a	
	100C+100S	0.765 ^a	0.705 ^d	1.47 ^a	
اسفند March	25C+100S	0.372 ^d	0.627 ^a	0.999 ^c	
	50C+100S	0.641 ^c	0.624 ^a	1.26 ^b	
	75C+100S	0.724 ^b	0.511 ^b	1.24 ^b	
	100C+100S	0.940 ^a	0.470 ^c	1.41 ^a	
فروردین April	25C+100S	0.531 ^d	0.404 ^b	0.935 ^c	
	50C+100S	0.795 ^c	0.415 ^a	1.21 ^b	
	75C+100S	0.964 ^b	0.395 ^c	1.36 ^a	
	100C+100S	0.998 ^a	0.370 ^d	1.37 ^a	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون به‌صورت برش دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن نمی‌باشد.

Column means with the same letter as slicing are not significantly different by duncan test ($p \leq 0.05$).

C and S are cumin and saffron, respectively.

S و C: به ترتیب معرف زیره سبز و زعفران می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج تحقیق بطور کلی نشان داد که کشت مخلوط اسفند و فروردین زیره سبز و زعفران هم بر تولید زعفران تأثیر منفی چشم گیری دارد و هم زیره سبز عملکرد بسیار کمتری از کشت پاییزه تولید می کند. به نظر می رسد تأثیر منفی کشت بهاره زیره سبز بر عملکرد زعفران به دلیل بروز بیماری های قارچی و کنه در اثر ادامه پیدا کردن آبیاری کشت مخلوط در دوره خواب حقیقی بنه های زعفران می باشد. توصیه می شود حتی کشت خالص زیره سبز نیز در پاییز صورت گیرد تا عملکرد مطلوب تری حاصل شود. بهترین شرایط برای کشت مخلوط زیره سبز و

زعفران، کاشت در آبان ماه و تراکم ۵۰ درصد زیره سبز (دارا بودن بالاترین LER) می باشد و توصیه می گردد. از طرفی، نتایج تأیید می نماید که آبیاری پایان فصل زعفران در بهار بهتر است با زرد شدن برگ ها پایان پذیرد.

سپاسگزاری

هزینه این پژوهش توسط پژوهشکده فناوری تولیدات گیاهی دانشگاه شهید باهنر کرمان تأمین شده است. بدین وسیله نویسندگان از مساعدت های این پژوهشکده سپاسگزاری می کنند.

References

- Abbasi, R., Hejazi, A., Akbari, Gh., Kafi, M., and Zand, A. 2006. Assessing different density of cumin and pea whit respect of weed control. 9th Conference of Agronomy and plant Breeding. Tehran University. 24-26 September 2006. pp,141. (In Persian).
- Asadi, Gh.A., Khorramdel, S., and Hatefi Farajian, M.H. 2016. The effects of row intercropping ratios of chickpea and saffron on their quantitative characteristics and yield. *Saffron Agronomy and Technology* 4: 93-103. (In Persian with English Summary).
- Azizi-Zohan, A., Kamgar-Haghighi, A.A., and Sepaskhah, A.R. 2008. Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran. *Journal of Arid Environment* 72 (3): 270-278.
- Clevenger, J.H. 1928. Apparatus for the determination of volatile oil. *Journal of the American Pharmaceutical Association*. 17: 346.
- Daneshvar Kakhki, M., and Farahmand Gelyan, K. 2012. Review of interactions between e-commerce, brand and packaging on value added of saffron: a structural equation modeling approach. *African Journal of Business Management* 6 (26): 7924-7930.
- Fallahi, H.R., Alami, S., Behdani, M.A., Aghhavan Shajari, M. 2015. Evaluation of local and scientific knowledge in saffron agronomy (Case study: Sarayan). *Journal of Saffron Research* 3: 31-50. (In Persian with English Summary).
- Feizi, H., Rezaei, A., and Moradi, R. 2019. Response of quantitative and qualitative characteristics of Saffron flower to the last irrigation cut-off time and various fertilizer resources. *Saffron Agronomy and Technology* 7(1): 3-25. (In Persian with English Summary).
- Ghorbani, R., Koocheki, A., Jahani, M., Hosseini, A., Mohammad-Abadi, A.A., and Sabet Teimouri, M. 2009. Effect of planting date, weed control time and method on yield and yield components of cumin. *Iranian Journal of Field Crop Research* 7 (1): 143-151. (In Persian with English Summary).
- Gonias, E.D., Oosterhuis, D.M., and Bibi, A.C. 2011. Light interception and radiation use efficiency of okra and normal leaf cotton

- isolines. *Environmental and Experimental Botany* 72: 217–222.
- Guenther, E. 1961. *The Essential Oils*. D. Van Nostrand Company Press, New York.
- Haghiroalsadat, F., Vahidi A., Sabour M., Azimzadeh M., Kalantar M., and Sharafadini M. 2011. The indigenous *Cuminum cyminum* L. of Yazd province: Chemical assessment and evaluation of its antioxidant effects. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medicinal Science* 19 (4): 472-481. (Persian with English Summary).
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, Gh.A., and Mirshekari, A. 2016. Effect of additive intercropping series of cumin (*Cuminum cyminum* L.) with saffron (*Crocus sativus* L.) on their yield and yield components. *Journal of Saffron Research* 4: 53-71. (In Persian with English Summary).
- Khosravi, M. 2005. Intercropping black zira (*Bonium persicum*) with saffron and annual crops: Agroecological and economic perspectives. Ferdowsi University, Iran, PhD Dissertation. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Najibnia, S., and Lalegani, B. 2009. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crop Research* 7 (1): 175-184. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Nassiri, M., and Behdani, M.A. 2006. Agronomic attributes of saffron yield at agroecosystems scale in Iran. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology*. Mashhad, Iran, 28-30 October 2006, p. 33-40.
- Koocheki, A., Rezvani-Moghaddam, P., Fallahi, H.R., and Aghhavani-Shajari, M. 2016a. Growth response of saffron replacement corms to planting date, irrigation management and associated crops. *Saffron Agronomy and Technology* 4: 3-18. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Seyyedi, S.M., and Gharaei, Sh. 2016b. Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae* 201: 190–198
- Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2013. The effect of irrigation intervals and intercropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. *Iranian Journal of Field Crops Research* 11 (3): 390-400. (In Persian with English Summary).
- Moradi, R., Koocheki, A., and Nasiri Mahallati, M. 2017. Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of Nitrogen. *Journal of Crop Production and Processing* 7 (2): 47-59. (In Persian with English Summary).
- Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nasiri Mahallati, M., 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.
- Mosaferi, H., Alizadeh, A., and Mousavi, J. 2007. Effect of summer irrigation on performance of saffron. *The Journal of Agricultural Science and Technology* 21: 163-169. (In Persian with English Summary).
- Naderidarbaghshahi, M., Jalalizand, A., and Javanmard, H. 2013. Assessment the quantitative traits of saffron in intercropping of saffron and chamomail. *Journal of Novel Applied Sciences* 8: 238-242.
- Nezami, A., and Bagheri, A. 2005. Responsiveness of cold tolerant chickpea characteristics in fall and spring planting: II. yield and yield components. *Iranian Journal of*

- Field Crop Research 3 (1): 156-170. (In Persian with English Summary).
- Rahimi, H., and Kamali, K. 1993. Laboratory studies on biology of bulb mite *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae) and its damages on saffron corm in Gonabad and Qaen. The Scientific Journal of Agriculture 16: 53-63. (In Persian with English Summary).
- Rahimi, H., and Mokhtarian, A., Bazoobandi, M., Rahimi, H., Kiani, M., and Behdad, M. 2008. Effects of sowing depth and summer irrigation on *Rhizoglyphus robini* (Acari: Acaridae) population in Gonabad. Applied Entomology and Phytopathology 76 (1):1-12. (In Persian with English Summary).
- Rahimi, H., Dadmand, M., Torabi, E., Rahimi, H., Torabi, H., and Araghi, M. 2013. Investigating the effects of soil solarization on saffron field against bulb mite (*Rhizoglyphus robini*). Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture) 36 (2): 1-15. (In Persian with English Summary).
- Ramezani, A. 2000. Evaluation of corm weight and climate on saffron yield in Neishaboor. MSc Thesis. Tarbiat Modares University. (In Persian with English Summary).
- Rezvani Moghaddam, P., and Moradi, R. 2012. Effect of planting dates, biological fertilizers and intercropping on yield and essential oil quantity of Cumin and Fenugreek. Journal of Iranian Crop Science 43: 230-217. (Persian with English Summary).
- Sadeghi, B., Aghamiri, A., and Negari, K. 2003. Effect of summer irrigation on saffron flowering. 3rd National Symposium on Saffron. Mashhad, Iran. 2-3 December 2003. (In Persian).
- Saeed Nejjhad, A.H., and Rezvani Moghaddam, P. 2010. Effect of biological and chemical fertilizers on morphological parameters, yield, yield components and essential oil percentage of cumin. Journal of Horticultural Science 24: 38-44. (Persian with English Summary).
- Soheyli, R., Nezami, A., Khazaie, H.R., and Nassiri Mahallati, M. 2010. Effects of planting dates on yield and yield components of four cumin (*Cuminum cyminum* L.) landraces. Iranian Journal of Field Crop Research 8 (5): 772-783. (In Persian with English Summary).
- Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C., and Balasimha, D. 2011. Impact of intercropping of medicinal and aromatic plants with organic farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. Industrial Crops and Products 33: 78-83.
- Tanu, A., Prakash, A., and Adholeya, A. 2004. Effect of different organic manures/composts on the herbage and essential oil yield of *Cymbopogon winterianus* and their influence on the native AM population in a marginal alfisol. Bioresource Technology 92: 311-319.
- Zhang, F., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.
- Zarrinzadeh, J., Mirza, M., and Alyari, H. 2007. The effect of plantation date and irrigation on essential oil content and composition of *Cuminum cyminum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23 (1): 134-140. (In Persian with English Summary).

Assessing the Effects of Cumin and Saffron Additives Intercropping at Various Planting Dates on Quantitative and Qualitative Yield of the Plants

Rooholla Moradi^{1} and Nasibeh Pourghasemian¹*

Submitted: 15 November 2018

Accepted: 4 February 2019

Moradi, R., and Pourghasemian, N. 2020. Assessing the Effects of Cumin and Saffron Additives Intercropping at Various Planting Dates on Quantitative and Qualitative Yield of the Plants. *Saffron Agronomy & Technology*, 8(1): 19-36.

Abstract

In order to study the effects of various additive intercropping series of saffron and cumin on their yields, and yield components, an experiment was conducted as split-plot arrangement based on randomized complete block design with three replications in a two years saffron research farm in agricultural faculty of Bardsir during 2016-2017. The experimental treatments were assigned to the main plot on planting dates (November 11, December 11, March 6 and April 4), and additive intercropping series (25, 50, 75 and 100% of optimum density of cumin (120 plant.m^{-2}), sole saffron (50 plant.m^{-2}), sole cumin) as subplot. The studied traits were including number of umbrellas per plant, essential oil percentage, seed, biological and essential oil yield, and also saffron flower number, flower yield, stigma yield, number of replacement corm, corm weight and number of infected corm. The results showed that delaying in cumin planting date led to a notable decrease in cumin yield and yield components, in all of the planting patterns. The reduction values of cumin seed yield in March and April planting dates compared to November were 39% and 64%, respectively. Cumin essential oil at November (2.79%), December (2.78%) and April (2.83%) planting dates were higher than that of March (2.42%). The experimental treatments had no significant effect on corm number, but cumin planting at spring had more infected corms than fall planting. The corm weight was declined as affected by delay in planting date and increase in cumin density. The saffron flower and stigma yield in fall intercropping was significantly higher than spring intercropping. Intercropping had negative impacts on saffron productivity, and the highest stigma yield (2.97 kg.ha^{-1}) was assigned to sole cropping. In general, the maximum (1.51) LER was related to fall intercropping of cumin and saffron.

Keywords: Essential oil, Irrigation, LER, Replacement corm, Stigma.

1- Research and Technology Institute of Plant Production (RTIPP), Shahid Bahonar University of Kerman, and Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

(*- Corresponding author. Email: r.moradi@uk.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2019.156395.1325