نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۵۱-۶۳۱

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 631-651

مقاله پژوهشی

بررسی مزیت نسبی کشت مخلوط افزایشی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تأثیر تنش خشکی

محسن معصومی[۱]، روح‌اله مرادی[۲*]، نسیبه پورقاسمیان[۲] و مهدی نقی‌زاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۹

معصومی، م.، مرادی، ر.، پورقاسمیان، ن.، و نقی‌زاده، م.، ۱۴۰۰. بررسی مزیت نسبی کشت مخلوط افزایشی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) تحت تأثیر تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۴): ۶۵۱-۶۳۱.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری و الگوی کاشت بر کمیت و کیفیت عملکرد و کارایی مصرف آب (WUE) دو گیاه کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L)، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اصلی آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور فرعی شامل الگوی کاشت (کشت خالص کدو تخم کاغذی، کشت خالص آفتابگردان، کشت مخلوط سری افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها) بود. نتایج نشان داد که در کلیه الگوهای کشت، با افزایش شدت تنش خشکی اجزای عملکرد، عملکرد و درصد روغن دانه دو گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در تمام سطوح آبیاری، الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بالاترین میزان تعداد میوه در بوته، وزن تک میوه، عملکرد میوه، دانه و روغن کدو را دارا بود. برتری عملکرد و اجزای عملکرد کدو در الگوی کشت یاد شده نسبت به کشت خالص کدو با افزایش شدت تنش خشکی بیشتر مشهود بود. بیشترین قطر طبق (۳۳ سانتی‌متر) و تعداد دانه در طبق (۱۶۴۰) آفتابگردان نیز مربوط به تیمار ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری بر اساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در تمام سطوح آبیاری، عملکرد دانه آفتابگردان در کشت خالص به‌دلیل دارا بودن تراکم بوته بالاتر به‌طور معنی‌داری بیشتر از هر دو کشت مخلوط بود. بیشترین محتوی پرولین کدو (۱/۵۲ µmol.g^{-1} FW) و آفتابگردان (۲/۶۳ µmol.g^{-1} FW) در کشت خالص آن‌ها در شرایط تنش شدید به‌دست آمد. در تمام سطوح آبیاری و هر دو الگوی کشت مخلوط، نسبت برابری زمین (LER) بالاتر از یک بود. در بین الگوهای کشت مخلوط، بیشترین WUE (۰/۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب) در الگوی کشت ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. بنابراین، به نظر می‌رسد کشت مخلوط افزایشی آفتابگردان باعث سایه‌اندازی بر کدو تخم کاغذی شده و از این طریق تبخیر و تعرق را کاهش می‌دهد، می‌تواند در فرار گیاه از تنش خشکی مفید بوده و قابل توصیه به کشاورزان باشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، روغن، کارایی مصرف آب، نسبت برابری زمین

مقدمه

عدم رعایت اصول اکولوژیک در تولید محصولات زراعی و نگرش صرفاً تک بعدی و اقتصادی به کشاورزی منجر به تخریب منابع محیطی و کاهش کارآیی منابع شده است. تنوع سیستم‌های زراعی

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۲-دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
۳-استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران.
*: نویسنده مسئول (Email: r.moradi@uk.ac.ir)
Doi:10.22067/agry.2020.20316.0

به‌عنوان راه حلی مناسب جهت رفع برخی از مشکلات کشاورزی مدرن پیشنهاد شده است (Poggio, 2005). محققین به رابطه بین پایداری و تنوع زیستی تأکید می‌کنند، زیرا افزایش تنوع، پیچیدگی ذاتی اکوسیستم‌های زراعی را افزایش داده و از این طریق فرآیندهای آن ها را تقویت می‌کند (Burel & Baudry, 2015). بسیاری از محققین مهم‌ترین عامل افزایش تنوع در اکوسیستم‌های زراعی را حضور کشت‌های مخلوط در این سیستم‌ها می‌دانند (Malik et al., 2003). سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی می‌توانند به‌طور کارآمدتری از منابع موجود استفاده کرده و از این طریق منابع بیشتری را جذب کنند که این موضوع باعث کاهش میزان فراهمی منابع برای علف‌های‌هرز شده و در نتیجه، منجر به کاهش خسارت آن‌ها می‌شود (Zimdahal, 1993). کشت مخلوط در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران می‌تواند به‌عنوان یک راهکار به‌منظور حداکثر استفاده از تشعشع بالای خورشیدی و منابع آبی به‌کار رود (Pinedo-Vasquez et al., 2010). در سیستم‌های چند کشتی همواره باید به‌دنبال روش‌هایی برای افزایش عملکرد در گیاهان بود. از روش‌های مهم برای رسیدن به این امر، بالا بردن بهره‌وری از منابع طبیعی مانند آب و مواد غذایی خاک، تشعشع خورشید و استفاده مؤثر از سطح زمین‌های کشاورزی است (Awal et al., 2006).

خشکی یکی از عوامل مهم محدود کننده تولیدات زراعی در جهان است و این موضوع در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از اهمیت بیشتری برخوردار است. حدود یک سوم کره زمین را مناطق خشک و نیمه خشک در بر می‌گیرد که وسعت این مناطق بیش از ۴۵ میلیون کیلومترمربع تخمین زده شده است. وسعت مناطق خشک و نیمه خشک در ایران بیش از ۱/۵ میلیون کیلومترمربع است (FAO, 2018). در بین تنش‌های غیرزنده، خشکی مهم‌ترین تنشی است که باعث کاهش عملکرد در محصولاتی می‌شود که به‌صورت دائم یا دوره‌ای در معرض آن قرار می‌گیرند (Chandra et al., 2008).

کشت مخلوط می‌تواند در برخی موارد به کارایی مصرف آب کمک نماید. این امر از طریق افزایش درصد پوشش گیاهی و نقش آن به‌عنوان بادشکن و کاهش میزان تبخیر قابل توجه است. معمولاً رقابت بین گونه‌ای برای آب کم‌تر از رقابت درون گونه‌ای است، زیرا گونه‌های مختلف دارای ساختار، سیستم ریشه‌ای و دوره‌های حداکثر نیاز به آب متفاوتی هستند. در یک ترکیب مناسب، گونه‌های مختلف گیاهان زراعی می‌توانند به یکدیگر در استفاده بهتر از منابع محیطی و عمدتاً نور، عناصر غذایی و آب کمک نمایند (Lal et al., 2019).

آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است. میزان روغن موجود در آفتابگردان ۴۲-۲۵ در صد است که در شرایط مطلوب به ۶۵ درصد نیز می‌رسد (Weiss, 1983). نیاز آبی زراعت آفتابگردان در یک دوره رشدی در حدود ۶۰۰-۵۰۰ میلی‌متر برآورد شده است. با افزایش مقدار آب، تولید ماده خشک بیشتر می‌شود، ولی گیاه می‌تواند در صورت کاهش میزان آب در دسترس تا حدودی خود را با شرایط محیطی سازگار کند (Alyari et al., 2000). آفتابگردان گیاهی بسیار مقاوم به خشکی نیست، ولی ویژگی‌هایی مانند ریشه متراکم و منشعب، قدرت گسترش و نفوذ ریشه‌ها به اعماق بیش از دو متر سبب شده در شرایطی که زراعت‌های دیگر صدمه شدید می‌بینند، این گیاه محصول رضایت مندی را تولید نماید (Momen Keykha et al., 2018).

گیاه دارویی کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) از گیاهان دارویی ارزشمند در صنایع داروسازی است (Wagner, 2000). برخی مطالعات نشان داده است که دانه‌های این گیاه و روغن به‌دست آمده از آن حاوی مواد مؤثره ارزشمندی است که باعث افزایش مقاومت بدن در مقابل عوامل بیماری‌زا می‌شود (Fu et al., 2006). این گونه دارای ریشه عمودی قوی، ساقه‌ای کرک‌دار و برگ‌های بزرگ پنجه‌ای با بریدگی‌های عمیق می‌باشد. دانه‌های این گیاه شامل در صد بالایی از اسیدهای چرب، فیتو ستول و ویتامین E می‌باشد و داروهایی مانند پیونن، پیوسترین و گرونفینگ از مواد مؤثره آن تولید شده است که در درمان تورم پروستات و سوزش مجاری ادرار کاربرد دارد (Harveth & Bedo, 1998). از ورود این گیاه به ایران چند سالی بیشتر نمی‌گذرد و کشت آن در مناطق مختلف درحال توسعه بوده و در دهه اخیر به‌عنوان یک منبع دارویی مهم مطرح شده و دارای ارزش اقتصادی مناسبی می‌باشد (Siami et al., 2003). از آنجا که فضای بین ردیف‌های کدوی تخم کاغذی در مراحل ابتدایی رشد خیلی زیاد است، لذا امکان کشت گیاه دوم در این فضا وجود دارد و می‌توان در کشت مخلوط از این گیاه استفاده نمود. عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت مخلوط کدوی تخمه کاغذی با نخود و عدس بررسی شده است (Khoramivafa et al., 2012). همچنین، مریداحمدی و همکاران (Morid Ahmadi et al., 2018) عملکرد و اجزای عملکرد و نسبت برابری زمین در کشت مخلوط ردیفی کدو تخم کاغذی را با گیاهان زراعی ذرت (*Zea mays* L.)، ذرت شیرین

(*Zea mays* convar. saccharata)، کنجد (*Sesamum indicum* L.)، کرچک (*Ricinus communis* L.) و آفتابگردان ارزیابی نمودند. مؤمن و همکاران (Momen et al., 2015) نیز کشت مخلوط تأخیری و مالچ کلشی بر عملکرد و اجزای علمکرد کدوی تخم کاغذی و نخود (*Cicer arietinum* L.) را در شرایط دیم و آبی بررسی نمودند. نقش مثبت کشت مخلوط در کنترل علف هرز کدو نیز به اثبات رسیده است (Moradi et al., 2015).

با توجه به اهمیت زراعی دو گونه کدو تخم کاغذی و آفتابگردان و نبودن اطلاعات کافی و مستند در خصوص کشت مخلوط افزایشی این دو گیاه در شرایط کمبود آب، آزمایش حاضر با هدف پتانسیل‌سنجی کشت مخلوط این دو گیاه و بررسی واکنش دو گیاه به تنش خشکی انجام شد. محورهای اصلی در این تحقیق گیاه کدو بود که در تراکم اصلی خود حفظ شد و به این ترتیب از کشت مخلوط افزایشی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در بهار و تابستان ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی برد سیر واقع در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان با عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۸۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۹ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۰۸۰ متری از سطح دریا اجرا شد. میانگین دمای سالیانه برای این شهرستان ۱۴/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه ۱۰۸ میلی‌متر می‌باشد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی آزمایش شامل سطوح مختلف آبیاری (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) و فاکتور فرعی شامل الگوی کاشت در چهار سطح (۱- کشت خالص کدو تخم کاغذی، ۲- کشت خالص آفتابگردان، ۳- کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و ۴- کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها) بود. کدو به‌عنوان گیاه اصلی در نظر گرفته شده و آفتابگردان در کشت مخلوط به‌عنوان گیاه همراه به‌صورت افزایشی به کدو اضافه شد. زمین محل اجرای آزمایش در سال زراعی قبل آیش بود. قبل از اجرای آزمایش، نمونه خاک به‌صورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از زمین محل اجرای آزمایش برداشت و به‌منظور تعیین میزان ماده آلی، عناصر غذایی پر مصرف، pH و EC به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱).

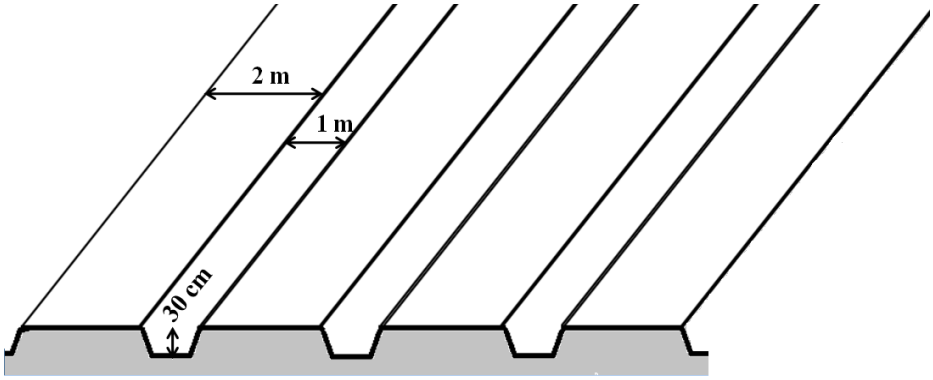
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Soil physical and chemical properties

بافت Texture	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	ماده آلی Organic matter (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH
Sandy clay loam لومی- رسی- شنی	0.09	14.3	293	0.36	1.42	7.42

پس از تهیه نقشه طرح، مراحل آماده سازی زمین شامل عملیات شخم با گاوآهن و تسطیح زمین انجام شد. کشت هر دو گیاه در تاریخ ۲۶ فروردین انجام شد. برای کشت خالص کدوی تخم کاغذی جوی‌هایی با دهانه (عرض) ۱۰۰ و عمق ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد که فاصله هر جوی از هم‌دیگر دو متر در نظر گرفته شد (شکل ۱). فاصله روی ردیف برای هر بوته کدو ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Mirzaei et al., 2018). برای هر تیمار سه جوی و پشته در نظر گرفته شد. کشت خالص آفتابگردان نیز با فاصله بین و روی ردیف ۱۰۰ و ۲۰ سانتی‌متر انجام شد (Rezaei Chiyaneh et al., 2015). برای اجرای کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی، بوته‌های آفتابگردان در وسط جوی با فاصله ۲۰ سانتیمتر از هم بین دو ردیف کدو کاشته شد. در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو +۵۰ ٪ آفتابگردان روی پشته‌ها، نیز بذور آفتابگردان بین بوته‌های کدو با فاصله ۴۰ سانتی‌متر در هر دو طرف پشته کشت شد. کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر اساس آزمون خاک و نیاز کودی دو گیاه به‌ترتیب به‌میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره، ۱۳۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم اعمال گردید. بلافاصله بعد از کاشت آبیاری انجام شد. جهت اعمال تیمارهای تنش خشکی، ۱۰ روز بعد از سبز شدن و استقرار

کامل گیاهچه‌ها با استفاده از دستگاه TDR[1] مدل IMKO ساخت شرکت اکلیمپ هلند میزان رطوبت خاک تعیین و پس از کالیبراسیون در محدوده توسعه ریشه آبیاری براساس تیمارهای مورد نظر در کل دوره رشد انجام گرفت (Calamita et al., 2012). برای این کار از پروب‌های سطحی با طول ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. مقدار آب مصرفی نیز با استفاده از کنتور حجمی ثبت شد که با احتساب ۱۹ میلی‌متر بارندگی در طول فصل رشد، در جدول ۲ نشان داده شده است. کنترل علف هرز در مواقع لزوم انجام شد.



شکل ۱- نحوه چینش جوی و پشته‌ها در آزمایش
Fig. 1- Arranging method of furrow and ridge in the experiment

جدول ۲- میزان آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) در تیمارهای مختلف مورد بررسی با احتساب ۱۹ میلی‌متر بارندگی
Table 2- Irrigation value ($m^3.ha^{-1}$) in studied treatments including 19 mm of rainfall

سطح آبیاری Irrigation level (FC)	90%				60%				30%			
الگوی کاشت Planting pattern	S	P	PS-R	PS-F	S	P	PS-R	PS-F	S	P	PS-R	PS-F
آب مصرفی Water consumption (m^{-3})	6852	6233	6563	6680	4635	4218	4512	4633	3104	2852	3024	3124

S: کشت خالص آفتابگردان، P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

S: Sunflower sole cropping, P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

مقدار پرولین در برگ در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی با روش بیتس و همکاران (Bates et al., 1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر اندازه‌گیری و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد. جهت اندازه‌گیری درصد روغن دانه از روش سوکسله (Gholami Kalus et al., 2018) ساخت شرکت پارس فراسو استفاده شد.

جهت مقایسه عملکرد کشت‌های مخلوط با خالص، نسبت برابری زمین[2] (LER) از طریق معادله زیر محاسبه شد (Vandermeer, 1990):

$$LER = \sum \frac{Y_{i,m}}{Y_{i,s}}$$ معادله ۱

که در آن، $Y_{i,m}$ و $Y_{i,s}$: به‌ترتیب عملکرد گونه‌ها در کشت مخلوط و خالص می‌باشند.

پس از تعیین حجم آب مصرفی کل با احتساب ۱۹ میلی‌متر بارندگی و اندازه‌گیری میزان عملکرد محصول در واحد هکتار، کارایی مصرف آب (WUE[3]) از نسبت بین عملکرد اقتصادی به آب مصرفی محاسبه شد (Yang et al., 2011).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴

1- Time domain reflectometry
2- Land equivalent ratio
3- Water use efficiency

انجام شد و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. مقایسات میانگین برای برهم‌کنش تیمارهای مورد بررسی به‌صورت برش‌دهی انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورد بررسی در گیاه کدو تخم کاغذی

تعداد میوه در بوته: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت (در سطح احتمال یک در صد) و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال پنج درصد) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین میانگین تعداد میوه در بوته (۲/۳۳) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود (جدول ۴). این در حالی بود که در همین سطح آبیاری (۹۰ درصد ظرفیت زراعی) تعداد میوه در بوته در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها نسبت به کاشت درون جوی به‌طور معنی‌داری کمتر بود. کمترین مقدار این صفت (۰/۴۶) از کشت خالص کدو تخم کاغذی با آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. در کلیه سطوح آبیاری الگوی کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بیشترین تعداد میوه در بوته را دارا بود. افزایش میزان تنش خشکی در تمامی الگوهای کاشت باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شد. نقش مثبت کشت مخلوط با افزایش شدت تنش خشکی بیشتر مشهود بود، به‌طوری‌که الگوی کشت مخلوط درون جوی در سطح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب باعث بهبود ۱۴، ۲۰ و ۷۶ درصدی تعداد میوه در بوته نسبت به کشت خالص شد.

به نظر می‌رسد زمانی‌که آفتابگردان درون جوی کشت شده رقابت بین گونه‌ای به‌میزان قابل توجهی کمتر از کشت روی پشته (کشت در بین بوته‌های کدو) بوده است. احتمالاً این موضوع توانسته است باعث افزایش عملکرد در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته شود.

نقش پررنگ‌تر کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در افزایش تعداد میوه در بوته در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل سایه‌اندازی آفتابگردان روی بوته‌های کدو باشد. چرا که وجود سایه آفتابگردان توانسته است هم میزان تبخیر از سطح خاک و هم میزان تعرق بوته‌های کدو را کاهش دهد. از آنجایی‌که کدو گیاهی با سیستم فتوسنتزی C_3 می‌باشد، احتمالاً قرارگیری این گیاه در سایه آفتابگردان باعث تعدیل اثر منفی گرما شده و از این طریق تعداد میوه در بوته در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بهبود یافته است. در آزمایشات دیگر نیز تأیید شده است که در سیستم کشت مخلوط، سایه‌اندازی گونه‌ای که ارتفاع بالاتری دارد روی گیاهانی که ارتفاع کمی دارند می‌تواند به‌میزان قابل قبولی از تبخیر خاک و همچنین تعرق گیاهی کاسته و سبب بهبود شرایط رشد در کشت مخلوط شود (Khoramivafa et al., 2012; Gitari et al., 2018; Bai et al., 2016; Chimonyo et al., 2016). نیاوید و همکاران (Nyawade et al., 2019) نیز گزارش کردند که کشت مخلوط می‌تواند با تعدیل دمای خاک منجر به کاهش قابل توجه تبخیر و تعرق شده و از این طریق بهبود رشد گونه‌های گیاهی را شامل شود.

مطالعات نشان داده است که در تیره کدوئیان به‌ویژه کدوی پوست کاغذی ابتدا یک میوه تشکیل می‌شود و رشد آن به‌عنوان مقصد فیزیولوژیک قوی برای مواد فتوسنتزی عمل می‌کند، بنابراین، کمبود آب و مواد غذایی سبب کاهش و یا مانع تشکیل میوه‌های دیگر می‌گردد (Gholipoori et al., 2007). ارتک و همکاران (Ertek et al., 2004) نیز افزایش تعداد میوه کدوی پوست کاغذی را با افزایش رطوبت گزارش کردند. همچنین قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2007) افزایش طول ریشه‌های اولیه کدوی پوست کاغذی در شرایط رطوبت مطلوب گزارش کردند. افزایش طول ریشه‌های اولیه گیاه به هر دلیل باعث افزایش جذب آب و عناصر غذایی و رشد بیشتر گیاه می‌شود. بنابراین، چنین می‌توان استنباط کرد که کشت مخلوط از طریق تعادل و هماهنگی بین رطوبت و بهبود تغذیه گیاه و همچنین جلوگیری از تبخیر و نیز کاهش عناصر غذایی خاک در اثر رشد علف‌های هرز، باعث افزایش تعداد میوه در بوته شده است.

تعداد دانه در میوه: اثر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد بر روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح مختلف آبیاری نشان داد که بیشترین تعداد دانه در میوه (۱۴۲/۷) مربوط به سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و کاهش میزان آب آبیاری به ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش ۲۰/۳۹ و ۴۳/۸۶ درصدی این صفت گردید (جدول ۵). مقایسه الگوهای کشت مختلف از لحاظ تعداد دانه در میوه نشان داد، بیشترین مقدار این صفت با ۷/۰۴ در صد افزایش نسبت به کشت خالص کدو مربوط به الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بود، در حالی که بین دو الگوی دیگر از این حیث اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به نظر می‌رسد تنش خشکی از طریق کاهش ظرفیت فتوسنتزی گیاه باعث کاهش تعداد دانه در میوه شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در کدو تخم کاغذی

Table 3- Analysis of variance (mean of square) of pumpkin studied traits

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد میوه در بوته Fruit number per plant	تعداد دانه در میوه Seed number per fruit	وزن تک میوه Single fruit weight	عملکرد میوه Fruit yield	عملکرد دانه Seed yield	وزن هزار دانه 1000-seed weight	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	پرولین Proline
بلوک Block	2	0.029^{ns}	22.40^{ns}	10185^{ns}	4.63^{ns}	1085^{ns}	119^{ns}	2.84^{ns}	78.28^{ns}	0.05^{ns}
آبیاری Irrigation (A)	2	4.46^{**}	8845^{**}	2026184^{**}	8087^{**}	540093^{**}	1365^{**}	135^{**}	39306^{**}	2.86^{**}
خطای اصلی Main error	4	0.002	24.93	26951	30.09	1567	111	1.28	37.16	0.03
الگوی کشت Planting pattern (B)	2	0.600^{**}	238^{**}	93469^{**}	945^{**}	43871^{**}	4.25^{ns}	0.764^{ns}	3896^{**}	0.115^{**}
A×B	4	0.068^{*}	23.96^{ns}	30430^{*}	348^{**}	5817^{**}	1.42^{ns}	0.201^{ns}	423^{**}	0.031^{*}
خطای فرعی Sub error	12	0.017	47.18	7229	56.40	887	124	3.82	70.24	0.009
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.39	6.12	4.97	13.20	9.25	10.45	6.08	8.69	11.88

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant in the level of 5% and 1%, Respectively.

جدول ٤- برهم‌کنش سطوح آبیاری و الگوی کاشت بر صفات مورد بررسی در کدو تخم کاغذی

Table 4- Interaction effect of irrigation levels and planting patterns on pumpkin studied traits

تیمار Treatment	الگوی کاشت	تعداد میوه در بوته	وزن تک میوه	عملکرد میوه	عملکرد دانه	عملکرد روغن	پرولین
سطح آبیاری Irrigation level (FC)	Planting pattern	Fruit number per plant	Single fruit weight (g)	Fruit yield ($t.ha^{-1}$)	Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	Oil yield ($kg.ha^{-1}$)	Proline ($\mu mol.g^{-1}$ FW)
90%	P	2.05^{b*}	2214^{a}	7.54^{b}	578.3^{b}	162.7^{b}	0.211^{a}
	PS-R	1.67^{c}	1966^{b}	5.48^{c}	458.9^{c}	130.2^{c}	0.215^{a}
	PS-F	2.33^{a}	2260^{a}	8.74^{a}	670.6^{a}	187.9^{a}	0.208^{a}
60%	P	1.56^{b}	1808^{a}	4.69^{b}	311.4^{b}	100.8^{b}	0.825^{a}
	PS-R	1.21^{c}	1717^{a}	3.45^{c}	238.5^{c}	77.27^{c}	0.736^{b}
	PS-F	1.86^{a}	1808^{a}	5.59^{a}	395.4^{a}	126.6^{a}	0.553^{c}
30%	P	0.466^{c}	1130^{b}	0.87^{b}	54.46^{b}	19.80^{b}	1.53^{a}
	PS-R	0.582^{b}	1130^{b}	1.09^{b}	67.52^{b}	24.34^{b}	1.36^{ab}
	PS-F	0.812^{a}	1356^{a}	1.84^{a}	116.4^{a}	41.10^{a}	1.12^{b}

P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو+ ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو+ ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* حروف مشترک در هر ستون به‌صورت برش‌دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

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

جدول ۵- اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کاشت بر برخی صفات کدو

Table 5- Simple effect of irrigation and intercropping pattern treatments on some pumpkin traits

تیمار Treatment		تعداد دانه در میوه Seed number per fruit	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	درصد روغن Oil percentage
آبیاری Irrigation (FC)	90%	142.7[a*]	118.6[a]	33.18[a]
	60%	113.6[b]	107.5[ab]	32.27[a]
	30%	80.10[c]	94.01[b]	28.91[b]
الگوی کاشت Planting pattern	P	110.2[b]	106.4[a]	32.31[a]
	PS-R	108.3[b]	106.3[a]	32.27[a]
	PS-F	118.5[a]	107.5[a]	31.78[b]

P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* For each treatment, column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p< 0.05$)

تنش خشکی طی رشد و نمو گیاه موجب کاهش شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و اختلال در فعالیت بسیاری از آنزیم‌ها می‌شود، که به دنبال چنین تغییراتی میزان فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه کاهش می‌یابد. بنابراین، در ادامه نمو گیاه، میوه، دانه و وزن هزار دانه کمتری ایجاد می‌شود (Aghaie & Ehsanzadeh, 2011). در پژوهشی که بر روی کدوی پوست کاغذی انجام شد، مشخص گردید که تعداد دانه در میوه با کاهش دسترسی به آب کاهش پیدا کرد (Al-Omran et al., 2005). همچنین نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج گزارش شده توسط دانشیان و همکاران (Daneshian et al., 2010) مطابقت دارد. آن‌ها کاهش تولید آسیمیلات‌ها توسط گیاه در شرایط خشکی را علت این امر دانستند. از طرفی، زو (Zhu, 2002) اظهار داشت که کمبود مواد قابل انتقال در تیمار تنش خشکی در مرحله زایشی باعث سقط جنین شده که در نهایت، باعث کاهش تعداد دانه در میوه می‌شود. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2007) نیز افزایش تعداد دانه در میوه کدوی پوست کاغذی را با افزایش رطوبت در دسترس گزارش کردند. از این رو، تعداد دانه در میوه نیز به‌واسطه مزایای کشت مخلوط در استفاده مؤثر از منابع و همچنین حفظ مناسب رطوبت نسبت به کشت خالص کدو بهبود یافت. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که در تراکم‌های پایین‌تر (کشت مخلوط) به‌دلیل گسترش تک بوته‌ها امکان تولید برگ بیشتر و میوه‌هایی با دانه بیشتر مشاهد شد، ولی در تراکم‌های بیشتر (کشت خالص)، رقابت بر سر منابع و عوامل محیطی موجب شده، بوته‌ها توانایی تولید دانه زیادی در هر میوه را نداشته باشند. نتایج به‌دست آمده با نتایج مرادی و همکاران (Moradi et al., 2014) مبنی بر معنی‌داری اثر کشت مخلوط ذرت، لوبیا چیتی (*Phaseolus vulgaris* L.) و کدو پوست کاغذی بر تعداد دانه در میوه کدو پوست کاغذی هم‌خوانی داشت. شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2010) بیان داشتند که بیشترین و کمترین تعداد دانه در میوه کدو پوست کاغذی به‌ترتیب در تراکم‌های پایین و بالا حاصل شد، ضمن اینکه افزایش فاصله بین ردیف باعث افزایش تعداد دانه در مترمربع شد.

وزن تک میوه: اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کاشت (در سطح احتمال یک درصد) و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال پنج درصد) برای صفت وزن تک میوه معنی‌دار گردیدند (جدول ۳). بیشترین میانگین وزن تک میوه (۲۲۶۰ گرم) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ در صد ظرفیت زراعی آبیاری بود که در عین حال با تیمار کشت خالص کدو تخم کاغذی با سطح آبیاری مشابه (۲۲۱۴ گرم) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). این مقایسه میانگین نشان داد که در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بین الگوهای کشت مورد بررسی اختلاف معنی‌داری از لحاظ وزن تک میوه وجود نداشت، ولی در سطح آبیاری ۳۰ در صد ظرفیت زراعی بیشترین وزن تک میوه با اختلاف معنی‌دار از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی به‌دست آمد (جدول ۴). مطابق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، مرید احمدی و همکاران (Morid Ahmadi et al., 2018) گزارش کردند که وزن تر تک میوه کدو در تیمار کشت مخلوط کدو + آفتابگردان در مقایسه با تیمار کشت خالص کدو به مراتب بیشتر بود.

عملکرد میوه: عملکرد میوه به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). در کلیه سطوح آبیاری الگوی کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بیشترین عملکرد میوه را دارا بود و افزایش میزان تنش خشکی در تمامی الگوهای کاشت باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین عملکرد میوه (۸۷/۴۱ تن در هکتار) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود که عملکرد این گیاه را نسبت به کشت خالص افزایش معنی‌داری داد (جدول ۴). در دو سطح آبیاری ۹۰ و ۶۰ در صد ظرفیت زراعی الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی از لحاظ عملکرد میوه برتری ۵۹/۶۵ و ۶۱/۹۵ در صدی نسبت به الگوی روی پشته داشت، در حالی که در سطح آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بین الگوی‌های کشت مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). همان‌طور که انتظار می‌رود، با کاهش تعداد میوه در بوته کدو در تیمار تنش خشکی و یا افزایش تعداد میوه در بوته کدو در تیمارهای کشت مخلوط، عملکرد میوه در کدوی پوست کاغذی نیز به‌ترتیب کاهش و یا افزایش می‌یابد. حدیدی و همکاران (Hadidi et al., 2011) در آزمایشی بیشترین عملکرد میوه کدو از آرایش ۱:۲ کشت مخلوط کدو با لوبیا گزارش کردند. همچنین اظهار داشتند که تمامی آرایش‌های مخلوط باعث افزایش عملکرد میوه شد که دلیل این امر را به افزایش کارایی استفاده از منابع در واحد سطح به‌وسیله گونه‌های موجود در کشت مخلوط نسبت دادند. افزایش تعداد میوه یکی از عوامل مهم در افزایش عملکرد میوه کدو محسوب می‌شود (Ertek et al., 2004). به نظر می‌رسد با کشت آفتابگردان درون جوی میزان رقابت بین گونه‌ای نسبت به کشت روی پشته به‌میزان قابل توجهی کاهش یافته است. این موضوع توانسته است باعث افزایش عملکرد میوه در الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی در مقایسه با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته شود. برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در افزایش عملکرد در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل سایه‌اندازی آفتابگردان روی بوته‌های کدو باشد. چرا که وجود سایه آفتابگردان توانسته است هم میزان تبخیر از سطح خاک و هم میزان تعرق بوته های کدو را کاهش دهد. احتمالاً قرارگیری این گیاه در سایه آفتابگردان باعث تعدیل اثر منفی گرما شده و از این طریق تعداد میوه در بوته در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بهبود یافته است.

عملکرد دانه: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن ها ($p<0.01$) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه (۶۷۰/۶۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۴). الگوی کشت مذکور در سطح آبیاری ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی نیز برتری معنی‌داری نسبت به دو الگوی دیگر داشت. در آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد دانه در کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص بود. کمترین مقدار این صفت (۵۴/۴۰ کیلوگرم در هکتار) از کشت خالص کدو تخم کاغذی با آبیاری براساس ۳۰ در صد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته (۶۷/۵۵ کیلوگرم در هکتار) نشان نداد (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei & Babaei, 2015) در بررسی اثر آبیاری بر کدوی پوست کاغذی مطابقت داشت. مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد دانه کدوی پوست کاغذی تعداد میوه در واحد سطح است (Nerson, 2005). کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در شرایط کمبود آب را می‌توان به کاهش تعداد دانه در میوه و وزن هزار دانه نسبت داد. به‌طوری‌که، بر اساس نتایج این آزمایش، تیمار آبیاری براساس ۹۰ در صد ظرفیت زراعی از نظر اجزای عملکرد نیز بهترین تیمار شناخته شد و از آنجایی که عملکرد دانه با اجزای عملکرد همبستگی مثبت دارد، بنابراین برتری آن از نظر عملکرد دانه نیز دور از انتظار نیست. شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2010) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد میوه و عملکرد دانه گزارش کردند. بنابراین، با توجه به افزایش تعداد میوه کدو در سیستم‌های مخلوط و همچنین رابطه مثبت این صفت با عملکرد دانه، می‌توان افزایش عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص را به افزایش در این صفت نسبت داد.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($p<0.01$) برای وزن هزار دانه

معنی‌دار گردید (جدول ۳). کاهش مقدار آب آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین (۱۱۸/۶ گرم) و کمترین (۹۴/۰۱ گرم) مقدار این صفت به‌ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۹۰ و ۶۰ در صد ظرفیت زراعی بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد کمبود آب به‌علت محدودسازی منبع فتوسنتزی موجب کاهش فتوسنتز و همچنین کوتاه شدن دوره رشد دانه گردیده و در نتیجه، اندازه دانه و وزن دانه را کاهش داده باشد. در آزمایش وراسوت (۲۰۰۳) روی بادام زمینی مشاهده شد که در حالت کمبود آب، وزن ۱۰۰ دانه نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت. آن‌ها علت این امر را عرضه ناکافی عناصر غذایی به دانه‌ها دانستند. همچنین، حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei & Babaei, 2015) در بررسی اثر آبیاری بر کدوی پوست کاغذی گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه در این گیاه می‌شود.

در صد روغن: طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). افزایش تنش خشکی تا سطح ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن نداشت. به‌طوری‌که، بیشترین درصد روغن (۳۳/۱۸ درصد) از تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمارهای ۶۰ در صد ظرفیت زراعی (۳۲/۲۷ در صد) اختلاف معنی‌داری نشان نداد، ولی این دو به‌طور معنی‌داری بیشتر از درصد روغن در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۸/۹۱ درصد) بودند (جدول ۵). بنابرین، افزایش میزان تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار این صفت شد. گزارش شده است که در صد روغن در هنگام تنش کمبود آب به‌علت کوتاه شدن طول دوره رشد و طول مدت سنتز روغن کاهش می‌یابد. لذا، شرایط آبیاری مناسب از مدت زمان بیشتری جهت پر شدن دانه برخوردار بوده و در صد روغن نیز در این تیمار افزایش یافته است که با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مطابقت دارد (Hamzei & Babaei, 2015). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2007) دور آبیاری هفت روز را دارای بیشترین درصد روغن کدوی پوست کاغذی در مقایسه با دور ۱۴ و ۲۱ روز گزارش کردند و افزایش عملکرد روغن را نتیجه افزایش عملکرد دانه در این دور آبیاری دانستند.

عملکرد روغن: اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد روغن معنی‌دار گردیدند (جدول ۳). بیشترین عملکرد روغن (۱۸۷/۹۵ لیتر در هکتار) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۴). این مقایسه میانگین نشان داد که در همه سطوح آبیاری مورد بررسی (۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بیشترین عملکرد روغن از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی به‌دست آمد (جدول ۴). از آنجایی که عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست می‌آید، لذا به‌دلیل بالا بودن عملکرد دانه در تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، برتری آن از نظر عملکرد روغن نیز دور از انتظار نیست. گوکسوی و همکاران (Goksoy et al., 2004) نتایج مشابهی را درباره اثر معنی‌دار تنش کم آبی بر عملکرد روغن گلرنگ گزارش کردند. آن‌ها کاهش عملکرد دانه و درصد روغن در تیمار تنش آبی را علت این امر گزارش کردند. کاهش عملکرد روغن در شرایط تنش خشکی در گیاه کدوی پوست کاغذی توسط حمزه‌ئی و بابایی (Hamzei & Babaei, 2015) نیز گزارش شده است. نقش مثبت کشت مخلوط در بهبود عملکرد روغن در همه سطوح آبیاری مشهود بود، ولی اثر آن در سطح ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به مراتب بیشتر بود، به‌طوری‌که در سطوح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، کشت مخلوط درون جوی نسبت به کشت خالص باعث بهبود ۱۵/۵، ۲۵/۵۶ و ۱۰۷/۵ در صدی عملکرد روغن شد. احتمالاً کشت مخلوط مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با سایه‌اندازی روی بوته‌های کدو، منجر به کاهش تبخیر و تعرق شده و توانسته است، عملکرد روغن را نسبت به کشت خالص بهبود بخشد. برتری کشت مخلوط درون جوی نسبت به درون پشته می‌تواند به‌دلیل کاهش چشم‌گیر رقابت بین دو گونه‌ی کدو و آفتابگردان در زمان کشت درون جوی نسبت به کشت روی پشته باشد. چرا که زمانی‌که آفتابگردان بین بوته‌های کدو با فاصله ۲۰ سانتی‌متر در روی پشته کشت شده است، رقابت بین گونه‌ای به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است.

محتوی پرولین: محتوای پرولین به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین محتوای پرولین (۱/۵۲۳ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) مربوط به تیمار کشت خالص کدو تخم کاغذی با آبیاری براساس ۳۰ در صد ظرفیت زراعی آبیاری بود که با الگوی کشت مخلوط افزایشی

۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته با سطح آبیاری مشابه (۱/۳۶۱ میگرومول بر گرم وزن تر برگ) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین مقادیر پرولین از سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد که در این سطح بین الگوهای کشت مختلف از لحاظ محتوای پرولین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش طاهری (Taheri, 2011) و سیفی (Seyfi, 2014) می‌توان اظهار داشت که گیاه در مواجهه با تنش خشکی سعی در حفظ فشار اسمزی خود دارد و این کار را با افزایش اسمولیت‌هایی از جمله پرولین و قندهای محلول انجام می‌دهد که به حفظ فشار و تورژسانس سلول‌های گیاه کمک می‌کنند. محققان ذخیره پرولین را در سلول‌های گیاهی مربوط به مکانیسم‌های مقاومت به خشکی می‌دانند (Yin et al., 2009). سطوح بالای پرولین، گیاه را قادر می‌سازد تا پتانسیل آبی خود را پایین نگه دارد (Valliyodan & Nguyen, 2006). مقادیر بالای پرولین باعث کاهش میزان رادیکال های آزاد در پاسخ به تنش اسمزی گردیده و سبب بهبود عملکرد گیاه می‌شود. در بسیاری از تحقیقات معلوم گردید، که پرولین به‌عنوان یک اسمولیت با تنظیم بیوسنتز گیاهان باعث تعدیل تنش اکسایشی ناشی از رادیکال‌های آزاد می‌شود (Hong et al., 2003). افزایش پرولین در هنگام تنش، نشان‌دهنده نقش آن در تنظیم فشار اسمزی است (Ashraf & Foolad, 2007). افزایش محتوای پرولین در اثر تنش خشکی در کدوی پوست کاغذی (Rabbi Angurani et al., 2017)، بادام زمینی (Smith et al., 2002)، گندم (Hong-Bo et al., 2006) و چغندرقند (Monreal et al., 2007) گزارش شده است. در این تحقیق، کاهش محتوای پرولین در کشت مخلوط درون جوی در مقایسه با کشت مخلوط روی پشته و همچنین کشت خالص کدو مشاهد شد. اهمیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در کاهش محتوای پرولین در هر کدام از سطوح آبیاری می توا ند به‌دلیل سایه‌اندازی آفتابگردان روی بوته‌های کدو با شد. چرا که وجود سایه آفتابگردان توانسته است هم میزان تبخیر از سطح خاک و هم میزان تعرق بوته های کدو را کاهش دهد و بنابراین، میزان آب در دسترس برای گیاه را افزایش دهد و گیاه کمتر با شرایط تنش زا و افزایش تولید پرولین روبرو گردد.

صفات مورد بررسی گیاه آفتابگردان

قطر طبق: قطر طبق به‌طور معنی‌داری ($p<0.01$) تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین قطر طبق (۳۳ سانتی‌متر) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری براساس ۹۰ در صد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۷). همچنین نتایج نشان داد در هر سه سطح آبیاری ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی از لحاظ قطر طبق برتری معنی‌داری نسبت به الگوی روی پشته داشت (جدول ۷). در آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، کشت خالص به‌طور معنی‌داری قطر طبق بیشتری از کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته داشت، ولی در آبیاری ۶۰ و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی، اختلاف معنی‌داری بین دو الگوی کشت یاد شده از نظر قطر طبق وجود نداشت. اثر تنش خشکی بر کاهش قطر طبق توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است. در شرایط آبیاری محدود، کمبود رطوبت قابل دسترس خاک موجب اختلال در فتوسنتز و عدم رشد کافی به همراه بیشتر شدن رقابت برای تخصیص مواد فتوسنتزی بین اندام‌های گیاه و در نهایت، کاهش اندام‌های زایشی (طبق) می‌شود (دانشیان و همکاران، ۲۰۰۵). قطر طبق از جمله صفاتی است که در تعیین تعداد دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد محسوب می شود (Vega et al., 2001). نتایج تحقیقات رشدی و رضادوست (Roshdi & Rezadost, 2005) بیانگر افزایش قطر طبق با افزایش مصرف آب بود. اثر اصلی تنش کم آبی در مرحله رشد رویشی، کاهش تعداد و اندازه برگ‌ها (کاهش فتوسنتز) است. ادامه تنش کم آبی، ریزش برگ‌های پایینی بوته را باعث می‌شود و در ادامه، تعداد زیادی از گلچه‌ها و سلول‌های زایشی آسیب دیده و از حجم و تعداد آن‌ها کاسته می شود، در چنین شرایطی قطر طبق و به تبع از آن تعداد دانه به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد. اردم و همکاران (Erdem et al., 2006) کاهش معنی‌دار قطر طبق در شرایط تنش کم‌آبی در آفتابگردان را گزارش نمودند. گوکسوی و همکاران (Goksoy et al., 2004) نیز نتیجه گرفتند که تنش رطوبتی باعث کاهش معنی‌دار قطر طبق می‌شود. در رابطه با تأثیر تیمار الگوی کشت بر قطر طبق می‌توان اذعان داشت که با توجه به غالب بودن کانوپی کشت خالص آفتابگردان در مقایسه با کشت مخلوط، چنین به نظر می‌رسد که در کشت خالص آفتابگردان به‌دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای برای جذب نور، آب و مواد غذایی، انرژی کمتری برای تولید طبق وجود

داشته و قطر طبق نسبت به کشت مخلوط کاهش یافته است. از آنجایی‌که در کشت درون جوی رقابت بین بوته‌های آفتابگردان و کدو به مراتب کمتر از کشت مخلوط روی پشته بوده است، بنابراین طبیعی به نظر می‌رسد که قطر طبق در کشت مخلوط درون جوی نسبت به کشت روی پشته برتری داشته باشد. نتایج بررسی انجام شده روی کشت مخلوط آفتابگردان با لوبیا قرمز و کنجد (Koocheki et al., 2015) و آفتابگردان با گوار (Momen Keykha et al., 2018) نشان داد که با جابجایی از کشت خالص به سمت کشت مخلوط، میانگین قطر طبق در آفتابگردان افزایش پیدا کرد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج مذکور هم‌خوانی دارد.

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد بررسی در آفتابگردان
Table 6- Analysis of variance (mean of square) of sunflower studied traits

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	قطر طبق Head diameter	تعداد دانه در طبق Seed number per head	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil percentage	پرولین Proline
بلوک Block	2	0.733^{ns}	15559^{ns}	16.75^{ns}	38338^{ns}	1.66^{ns}	0.004^{ns}
آبیاری Irrigation (A)	2	462**	1132859**	1342**	7855473**	98.91**	12.80**
خطای اصلی Main error	4	0.585	8783.5	7.17	24572	19.76	0.015
الگوی کشت Planting pattern (B)	2	87.59**	258470**	5.19^{ns}	14792809**	1.74^{ns}	0.005^{ns}
A×B	4	6.89**	21247**	0.581^{ns}	7740**11	0.063^{ns}	0.003^{ns}
خطای فرعی Sub error	12	0.943	3006.4	17.24	30629	11.58	0.009
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.09	4.57	6.27	8.01	8.46	6.75

ns، * و **: به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
ns, * and **: non-significant and significant in the level of 5% and 1%, Respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش سطوح آبیاری و الگوی کاشت بر صفات مورد بررسی در آفتابگردان
Table 7-Mean comparisons for interaction effect of irrigation levels and planting patterns on sunflower studied traits

تیمار Treatment		قطر طبق Head diameter (cm)	تعداد دانه در طبق Seed number per head	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	پرولین Proline (µmol g^{-1} FW)
سطح آبیاری Irrigation level (FC)	الگوی کاشت Planting pattern				
90%	S	27.39^{c*}	1344.8^{c}	3986^{a}	0.211^{a}
	PS-R	29.70^{b}	1492.4^{b}	1804^{b}	0.215^{a}
	PS-F	33.00^{a}	1640^{a}	2095^{b}	0.208^{a}
60%	S	22.77^{b}	1098.8^{c}	2966^{a}	0.825^{a}
	PS-R	24.75^{b}	1213.6^{b}	1472^{c}	0.736^{b}
	PS-F	31.35^{a}	1574.4^{a}	1890^{b}	0.553^{c}
30%	S	15.51^{b}	754.4^{b}	1008^{a}	1.53^{a}
	PS-R	14.19^{b}	705.2^{b}	603^{c}	1.36^{ab}
	PS-F	18.81^{a}	951.2^{a}	832^{b}	1.12^{b}

S: کشت خالص آفتابگردان، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی
S: Sunflower sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* حروف مشترک در هر ستون به‌صورت برش‌دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.
* Column means with the same letter are not significantly different as slicing by Duncan test ($p< 0.05$)

تعداد دانه در طبق: اثرات ساده تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها (در سطح احتمال یک در صد) برای صفت

تعداد دانه در طبق معنی‌دار گردیدند (جدول ۶). در کلیه الگوهای کاشت، با افزایش شدت تنش خشکی، میزان این شاخص کاهش معنی‌داری نشان داد (جدول ۷). در همه سطوح آبیاری، الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی بالاترین میزان تعداد دانه در طبق را دارا بود. بیشترین تعداد دانه در طبق (۱۶۴۰) مربوط به تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی با آبیاری بر اساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی بود و میزان این صفت در تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها با سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی (۱۵۷۴) در رتبه بعدی قرار داشت (جدول ۷). کمترین مقدار این صفت نیز از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته (۷۰۵) با آبیاری براساس ۳۰ در صد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (جدول ۷). در آبیاری ۹۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد دانه در طبق در کشت خالص کمتر از الگوی کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته بود، ولی میزان این صفت در شرایط تنش شدید برای کشت خالص بیشتر بود. کم شدن تعداد دانه در طبق از کاهش مساحت طبق در اثر تنش و یا افزایش درصد پوکی دانه‌ها و یا اثر توأم هر دو حاصل می‌شود. در این تحقیق نیز قطر طبق به‌واسطه تنش خشکی کاهش یافت. مطابق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گزارش شده است که تعداد دانه در طبق تحت تأثیر تنش خشکی از طریق کاهش مساحت طبق کاهش یافت (Seyahjani et al., 2009). کریم‌زاده اصل و همکاران (Karimzadeh Asl et al., 2003) نیز در آزمایش خود در آفتابگردان مشاهده نمودند که تعداد دانه در طبق تحت تأثیر دورهای آبیاری از طریق کاهش مساحت طبق کاهش یافت. وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی با آسیب رساندن به ساختارهای زایشی و عقیم نمودن گلچه‌ها، تعداد دانه‌های پر را کاهش می‌دهد، ولی بروز محدودیت آب در مرحله پر شدن دانه، فقط موجب عدم رسیدن مواد پرورده کافی به دانه‌ها می شود (Khomari et al., 2008). همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گزارش شده است که تعداد دانه در طبق در کشت مخلوط آفتابگردان و باقلا در مقایسه با کشت خالص آفتابگردان افزایش یافت (Rezaei Chiyaneh et al., 2015). احتمالاً دلیل بیشتر بودن تعداد دانه در طبق در الگوی کشت مخلوط این است که بوته‌های آفتابگردان رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای کمتری با یکدیگر و همچنین با بوته‌های باقلا داشته‌اند و در نتیجه، توانسته‌اند از منابع و عناصر غذایی به نحو مطلوب‌تری بهره‌برداری کنند و این امر در نهایت، سبب افزایش تعداد دانه در طبق شده است. تحقیقات در زمینه کشت مخلوط تأخیری ذرت و گندم نیز نشان داد اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در سنبله گندم به‌دلیل بهبود راندمان مصرف آب و مواد غذایی در کشت مخلوط تأخیری نسبت به کشت خالص به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Zhang et al., 2007).

وزن هزار دانه: اثر تیمار آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P<0.01$) برای وزن هزار دانه معنی‌دار گردید (جدول ۶). کاهش مقدار آب آبیاری منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید به‌گونه‌ای که بیشترین (۷۵/۲۴ گرم) و کمترین (۵۲/۴۴ گرم) مقدار این صفت به‌ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۹۰ و ۳۰ در صد ظرفیت زراعی بود (جدول ۸). اثر ساده تیمار الگوی کشت و اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت برای این صفت معنی‌دار نگردید. مطابق با نتایج این تحقیق، کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی در دو گیاه گلرنگ و آفتابگردان گزارش شده است (Kargar, 2013; Heidari & Karami, 2013). از مهم‌ترین دلایل کاهش در وزن گیاه در طول دوره تنش را می‌توان به اثرات سوء تنش بر رشد و فیزیولوژی گیاه شامل، رشد رویشی، سیستم فتوسنتزی، جذب عناصر غذایی و متابولیسم نیتروژن دانست. البته انتظار می‌رفت با کاهش تعداد دانه در طبق بذور درشت‌تر و سنگین‌تری حاصل گردد، ولی چنین روندی مشاهده نشد. به نظر می‌رسد تنش رطوبتی از طریق کاهش سطح برگ سبب کاهش هر دو صفت (وزن هزار دانه و تعداد دانه) گردید. احتمال دارد ادامه روند تنش خشکی روی انتقال جاری و مجدد مواد فتوسنتزی بوته‌ها تأثیر منفی گذاشته و در نهایت، مواد منتقل شده به دانه کاهش یافته و همین مسئله منجر به چروکیدگی و کاهش وزن دانه‌ها گردد. خماری و همکاران (Khomari et al., 2008) در مطالعات خود روی آفتابگردان، کاهش وزن هزار دانه را بر اثر بروز محدودیت آب مورد تأیید قرار داد که علت این امر تولید کمتر مواد فتوسنتزی تحت تأثیر تنش رطوبتی و نیمه پر ماندن دانه‌ها می‌باشد.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات ساده تیمارهای مورد بررسی بر برخی صفات آفتابگردان
Table 8- Mean comparisons for simple effect of studied treatments on some Sunflower traits

تیمار Treatment		وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	درصد روغن Oil percentage	پرولین Proline (µmol.g^{-1} FW)
آبیاری Irrigation (FC)	90%	75.24^{a*}	43.16^{a}	0.241^{c}
	60%	71.44^{b}	40.83^{ab}	1.51^{b}
	30%	52.44^{c}	36.62^{b}	2.62^{a}
الگوی کاشت Planting pattern	S	65.61^{a}	40.69^{a}	1.46^{a}
	PS-R	66.37^{a}	40.11^{a}	1.45^{a}
	PS-F	67.13^{a}	39.82^{a}	1.46^{a}

S: کشت خالص آفتابگردان، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی
S: Sunflower sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

* برای هر تیمار، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.
* For each treatment, column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p< 0.05$)

عملکرد دانه: این صفت به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و الگوی کشت و اثر متقابل آن‌ها ($P<0.01$) قرار گرفت (جدول ۶). در تمام سطوح آبیاری، عملکرد دانه در کشت خالص به‌میزان قابل توجهی بیشتر از هردو الگوی کشت مخلوط بود (جدول ۷). این موضوع به‌دلیل تراکم بالاتر بوته آفتابگردان در کشت خالص نسبت به کشت مخلوط بوده است. کاهش عملکرد کشت مخلوط نسبت به کشت خالص در اثر کاهش تراکم کشت گیاه در مطالعات بسیاری گزارش شده است.

تنش خشکی منجر به کاهش چشم عملکرد دانه در کلیه الگوهای کشت مورد مطالعه شد (جدول ۷). مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری در الگوی کشت نشان داد که بیشترین میانگین عملکرد دانه (۴۹۸۶ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کشت خالص آفتابگردان و آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی آبیاری بود (جدول ۷). الگوی کشت مذکور در سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی نیز برتری معنی‌داری نسبت به دو الگوی دیگر داشت. کمترین مقدار این صفت (۶۰۳ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته با آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. به نظر می‌رسد مصرف متعادل آب طی مراحل مختلف نمو از جمله گل‌دهی و دانه‌بندی منجر به بهبود عملکرد دانه آفتابگردان گردد. زیرا که طی این مراحل دو جزء مهم عملکرد دانه (تعداد دانه در طبق و وزن ۱۰۰ دانه) شکل می‌گیرد. در ضمن آبیاری کافی در مرحله رویشی باعث توسعه مطلوب سطح برگ‌ها و فتوسنتز گیاه می‌شود. مظاهری لقب و همکاران (Mazaheri Laghab et al., 2001) در این رابطه اظهار نمودند که رژیم آبیاری نا مطلوب ضمن کاهش سطح برگ‌ها و پیری زودرس آن‌ها باعث افت عملکرد دانه نیز گردید. البته برخی از محققان علت عمده افت عملکرد دانه در اثر تنش خشکی را کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد طی دوره پر شدن دانه می‌دانند. سیه‌جانی و همکاران (Seyahjani et al., 2009) در تحقیقی که جهت بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد دانه آفتابگردان انجام دادند، گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری نرمال کمترین عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری تنش مشاهده شد. تنش کمبود آب منجر به کاهش شاخص سطح برگ و میزان فتوسنتز و نیز کاهش تعداد مخازن زایشی می‌شود از طرفی، تنش کمبود آب به‌واسطه‌ی کاهش دوره‌ی پر شدن دانه‌ها، اندازه دانه‌ها و کاهش وزن آن‌ها، افت عملکرد را به دنبال خواهد داشت (Gooding et al., 2003; Pierre et al., 2008). در موضعی مشابه کافی و رستمی (Kafi & Rostami, 2009) گزارش کردند کمبود آب در محیط رشد گلرنگ و بروز تنش خشکی باعث تغییر رنگ برگ‌ها، کم شدن دوام سطح برگ‌ها، کاهش اندازه گیاه و وزن خشک اندام‌ها، کاهش عملکرد و شاخص برداشت می‌شود.

در صد روغن: طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین درصد روغن (۴۳/۱۶ درصد) از تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۸). همچنین کمترین درصد روغن

(۳۶/۶۲ درصد) از تیمار آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. همچنین بین الگوهای کشت مختلف از لحاظ درصد روغن اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

پرولین: طبق نتایج تجزیه واریانس، تنها اثر تیمار آبیاری (در سطح احتمال یک درصد) برای این صفت معنی‌دار بود (جدول ۶). بیشترین محتوای پرولین (۲/۶۲۴ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که با تیمارهای ۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۸). همچنین کمترین محتوای پرولین (۰/۲۴۰ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) از تیمار آبیاری براساس ۹۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با بررسی انجام شده بر روی میزان پرولین در آفتابگردان در شرایط تنش کمبود آب هم‌خوانی دارد (Asilan, 2015). تجمع پرولین سبب می شود که گیاه بتواند در دوره کوتاهی پس از رفع تنش، رشد خود را بازیابی کند. بنابراین در تنش‌های کوتاه‌مدت اثر مثبت و در تنش‌های درازمدت حتی تأثیر منفی بر عملکرد خواهد گذاشت، زیرا منابع نورساختی (فتوسنتزی) گیاه صرف فرآیندهایی غیر از پر شدن دانه منحرف می‌شود (Sanchez et al., 1998). براساس نظر دیکسیت و همکاران (Dixit et al., 2001) دلایل افزایش محتوای پرولین در شرایط تنش، احتمالاً با تولید رادیکال‌های آزاد و اشکال مختلف اکسیژن فعال در ارتباط است.

جدول ۹- میزان برابری نسبی زمین (LER) در الگوهای مختلف کشت کدو و آفتابگردان در سطوح مختلف تنش خشکی

Table 9- LER values in different planting patterns of pumpkin and sunflower as affected by drought stress

الگوی کاشت Planting pattern	سطح آبیاری Irrigation level (FC)								
	90%	60%	30%	90%	60%	30%	90%	60%	30%
	LER جزئی کدو Pumpkin partial LER			LER جزئی آفتابگردان Sunflower partial LER			LER کل Total LER		
PS-R	0.793^{c*}	0.766^{c}	1.24^{b}	0.452^{c}	0.496^{c}	0.598^{b}	1.24^{c}	1.26^{c}	1.83^{b}
PS-F	1.16^{b}	1.27^{b}	2.14^{a}	0.525^{bc}	0.638^{b}	0.825^{a}	1.68^{b}	1.90^{b}	2.96^{a}

PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

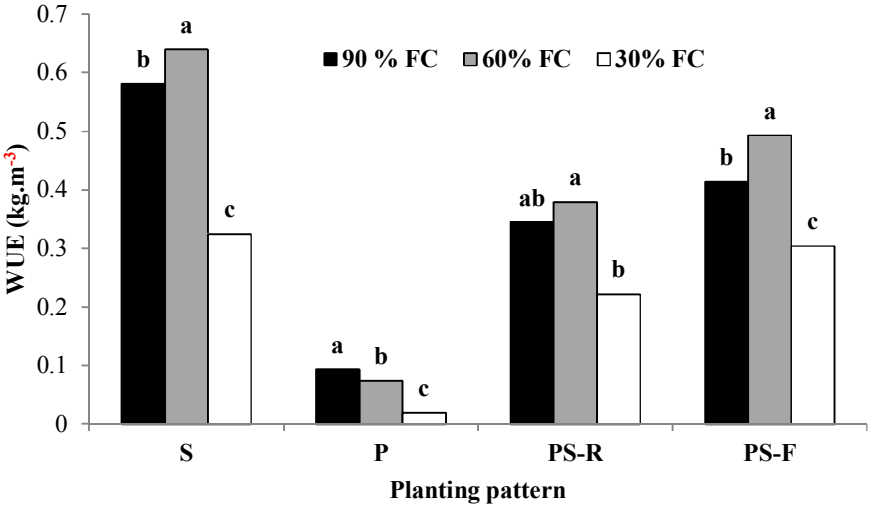
* برای هر گروه از LER، حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

* For each LER type, column means with the same letter are not significantly different by Duncan test ($p< 0.05$)

نسبت برابری زمین: الگوهای مختلف کاشت در سطوح مختلف آبیاری به‌طور معنی‌داری ازنظر LER با هم تفاوت داشتند (جدول ۹). به‌طور کلی، کشت مخلوط افزایشی درون جوی از LER جزئی و کل بالاتری نسبت به کشت مخلوط روی پشته برخوردار بود (جدول ۹). بالاترین LER جزئی برای گیاه کدو (۲/۱۴) مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی بود. این در حالی بود که بالاترین LER جزئی آفتابگردان (۰/۸۲۵) نیز از کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته‌ها و آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد. همان‌طورکه در جدول ۹ مشاهده می‌شود، LER کل در هر سه سطح آبیاری برای هر دو الگوی کشت بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی است. بهترین میزان LER کل مربوط به کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی و آبیاری براساس ۳۰ درصد ظرفیت زراعی با میزان ۲/۹۶ بود. این موضوع نشان‌دهنده این مطلب است که در شرایط تنش ۳۰٪ ظرفیت زراعی، عملکرد کدو در کشت خالص به‌شدت کاهش یافته، درحالی‌که عملکرد آن در کشت مخلوط به‌میزان کمتری کاهش یافته است، که این امر سبب کاهش مخرج کسر شده است. مقادیر LER کل در تمام سطوح آبیاری در الگوی کشت درون جوی برتری معنی‌داری از لحاظ آماری نسبت به الگوی کشت روی پشته داشت. کمترین مقادیر LER کل از سطوح آبیاری ۹۰ و ۶۰ در صد ظرفیت زراعی در الگوی کشت روی پشته به‌دست آمد (جدول ۹). سودمندی در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی در LER>1 و در کشت مخلوط سری‌های افزایشی در LER>2 مشاهده می شود. براساس نتایج این آزمایش الگوی کشت مخلوط درون جوی نسبت به روی پشته بخصوص در سطح آبیاری

۳۰ در صد ظرفیت زراعی به نحو مطلوب‌تری از منابع و زمین ا ستفاده کرده‌اند و در نهایت، عملکرد بی شتری حا صل نموده‌اند. ن سبت برابری زمین، ارزیابی صـــحیحی از کارایی اســـتفاده از منابع بیولوژیک نظیر ت شع شع، عنا صر غذایی و آب در چند ک شتی ا ست (Ghosh et al., 2006). به‌علت تفاوت‌های زمانی و مکانی در صفات ر شد و گونه‌های مختلف زراعی، گیاهان در چند کشتی می‌توانند نسبت به تک کشتی، ع ناصـــر غذایی و آب را به نحو مطلوب‌تری از خاک جذب کنند (Zheng et al., 2003). محققین دیگر نیز افزایش نســـبت برابری زمین را در کشـــت مخلوط نســـبت به کشـــت خالص گزارش کرده‌اند (Koocheki et al., 2016; Tavassoli et al., 2010). تفاوت در ریشـــه‌دهی و ســـاختار کانوپی کدو با آفتابگردان و در نتیجه، ایجاد لایه‌های مختلف و اسـتفاده بهتر از منابع از جمله نور و مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک، می‌تواند دلیل نســـبت برابری زمین بزرگ‌تر باشد که نشان می‌دهد، در کشت مخلوط، کدو و آفتابگردان مکمل هم بوده‌اند. اختلافات مورفولوژیکی گیاهان و در نتیجه، ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از آب و یا استفاده از آب در افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نســـبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک، تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد.

کارایی مصرف آب: در همه الگوهای کشت مورد بررسی به‌جز کشت خالص کدو بیشترین کارایی مصرف آب مربوط به سطح آبیاری ۶۰ درصد ظرفیت زراعی بود (شکل ۲). همچنین کمترین مقدار صفت مذکور از ســـطح آبیاری ۳۰ درصـــد ظرفیت زراعی به‌دســـت آمد. به‌استثنای کشت خالص کدو، افزایش میزان تنش خشکی از ۶۰ به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی در تمامی الگوهای کاشت باعث کاهش معنی‌دار این شاخص شد. این نتیجه بیانگر آن است که اگرچه تنش خشکی در خاک ممکن اسـت از طریق انسـداد روزنه‌ها، راندمان مصـرف آب را افزایش دهد، امّا باید توجه داشـــت که تنش بیش از حد، می‌تواند از طریق کاهش فتوسـنتز و تولید ماده خشـک، تأثیر معکوس بر راندمان م صرف آب دا شته با شد. بواترا و همکاران (Boutraa et al., 2010) تأثیر سه سطح رطوبتی شامل ۸۰، ۵۰ و ۳۰ در صد ظرفیت مزرعه‌ای را بر روی کارآیی مصـرف آب چهار رقم گندم در عربسـتان سـعودی مورد برر سی قرار دادند و دریافتند که کارآیی م صرف آب تا ۵۰ در صد ظرفیت مزرعه‌ای تحت تأثیر قرار نگرفت، ا مّا در تنش ۳۰ درصـــد ظرفیت مزرعه‌ای کارآیی مصـــرف آب کاهش یافت. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، کارایی مصرف آب کدوی تخم کاغذی پایین اســـت. دوره رشـــد نســـبتاً طولانی کدوی تخم کاغذی باعث می‌شـــود، میزان از دســـت رفتن آب نیز در طی همین دوره به مراتب بیشتر بوده و کارایی مصرف آب کاهش یابد (Khoramivafa et al., 2012). در هر صورت سیستم کشت مخلوط منجر به افزایش کارایی مصـرف آب نسـبت به کشـت خالص کدو شـد و در این بین کشـت مخلوط درون جوی از کارایی مصرف آب بالاتری در مقایسه با سیستم کشـت مخلوط روی پشـته برخوردار بود. الگوی کشـت مخلوط درون جوی در ســـطح ۹۰، ۶۰ و ۳۰ درصـــد ظرفیت زراعی به‌ترتیب باعث بهبود ۱۴، ۲۰ و ۷۶ درصـدی کارایی مصـرف آب نسـبت به کشـت مخلوط روی پشته شد. در کشت مخلوط بادام زمینی با ارزن انگشتی، کارآیی مصرف آب افزایش یافت (Rankulatile et al., 1998)، ولی در کشـت مخلوط جو و ماشـک، عدم تأثیر کشـت مخلوط بر کارآیی مصـرف آب گزارش شـده اسـت (Mohsenabadi et al., 2008). به‌طور کلی، افزایش کارآیی مصـرف آب در کشـت مخلوط، به کاهش تبخیر از سطح خاک، به‌خاطر وجود پوشش بیشتر روی زمین نسبت به ک شت خالص، ن سبت داده شده ا ست. بع ضی از محققین عقیده دارند که بوم نظام‌هایی که دارای تنوع بیشـــتری هســـتند، از منابع محیطی مانند آب، با راندمان بهتری ا ستفاده می‌کنند (Walker & Ogindo, 2003). یافته‌های گائو و همکاران (Gao et al., 2009) نیز مؤید افزایش کارآیی م صرف آب، در ک شت مخلوط نواری گندم زم ستانه و ذرت می‌باشد. کانتون و دنت (Kanton & Dennett, 2004) بیشترین کارآیی مصـرف آب را در کشـت مخلوط ذرت و نخود در مقایسـه با کشـــت خالص آن‌ها گزارش کردند. همچنین نتایج روی و همکاران (Roy et al., 2014) نشـان داد که کارآیی مصـرف آب در کشـت مخلوط ذرت و ماش همانند نتایج این تحقیق در کشت مخلوط بیشتر است.



شکل ۲- میزان کارایی مصرف آب (WUE) در الگوهای مختلف کشت کدو و آفتابگردان در سطوح مختلف تنش خشکی

Fig. 2- WUE value as affected by planting pattern and irrigation level

S: کشت خالص آفتابگردان، P: کشت خالص کدو، PS-R: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان روی پشته، PS-F: کشت مخلوط ۱۰۰٪ کدو + ۵۰٪ آفتابگردان درون جوی

S: Sunflower sole cropping, P: Pumpkin sole cropping, PS-R: 100% of pumpkin + 50% of sunflower on ridge, PS-F: 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow

حروف مشترک در هر الگوی کشت به‌صورت برش‌دهی دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن نیست.

In each planting pattern, means with the same letter are not significantly different as slicing by Duncan test ($p< 0.05$)

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشـان داد که کدو تخم کاغذی نسـبت به تنش خشـکی حسـاس بوده و کاهش آب مصـرفی از حد ظرفیت زراعی، عملکرد این گیاه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهد. اضـافه شدن آفتابگردان در وسط جوی در بین دو ردیف کدو منجر به کاهش اثرات منفی تنش خشکی روی کدو شد و این الگوی کاشت توانست به‌طور قابل توجهی عملکرد میوه و دانه کدو را در شرایط تنش متوسط و شدید بهبود بخشد. امّا اضافه شدن آفتابگردان در روی پشته و بین بوته های کدو به‌دلیل افزایش رقابت بین گونه ای اثر مثبت معنی‌داری در بهبود عملکرد کدو در شـرایط تنش خشـکی نداشـت. بنابراین، می‌توان کشت مخلوط گیاهانی با ارتفاع بالا مانند آفتابگردان که باعث سایه‌اندازی بر کدو تخم کاغذی شده و از این طریق تبخیر و تعرق را کاهش می دهند، می تواند در فرار گیاه از تنش خشـکی مفید بوده و قابل توصیه به کشاورزان باشد که البته این موضوع نیازمند مطالعات تکمیلی نیز می‌باشد.

References

Dixit, V., Pandey, V., and Shyam, R., 2001. Differential antioxidative responses to cadmium in roots and leaves of pea. Journal of Experimental Botany 52: 1101-1109.

Erdem, T., Erdem, Y., Orta, A.H., and Okursoy, H., 2006. Use of a crop water stress index for scheduling the irrigation of sunflower (*Helianthus annuss* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry 30: 11-20.

Ertek, A., Şensoy, S., Küçükyumuk, C., and Gedik, I., 2004. Irrigation frequency and amount affect yield components of summer squash (*Cucurbita pepo* L.). Agricultural Water Management 67(1): 63–76.

FAO., 2018. http://www.fao.org/faostat/en/#data.

Fu, C.L., Shi, H., and LI, Q.H., 2006. A review on pharmacological activities and utilization technologies of pumpkin. Plant Foods for Human Nutrition 61: 73-80.

Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z., 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter

wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111: 65-73.

Ghanbari, A., Nadjafi, F., and Shabahang, J., 2007. Effects of irrigation regimes and row arrangement on yield, yield components and seed quality of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6: 1072-1079.

Gholami Kalus, Z., Salehi, A., Movahedi Dehnavi, M., and Moradi, A., 2018. Effect of mycorrhizal and phosphate barvar 2 on yield and yield components and oil content of safflower under drought stress. Agricultural Science and Sustainable Production 28: 125-139. (In Persian with English Summary)

Gholipoori, A., Javanshir, A., Rhaimzadeh Khoie, F., Mohammadi, A., and Biat, H., 200. The effect of different nitrogen level and pruning of head on yield and yield component of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Agricultural and Natural Resources 13(2): 32-41.

Gitari, H.I., Gachene, C.K.K., Karanja, N.N., Kamau, S., Nyawade, S.O., and Schulte-Geldermann, E., 2018. Optimizing yield and economic returns of rain-fed potato (*Solanum tuberosum* L.) through water conservation under potato-legume intercropping systems. Agricultural Water Management 208: 59–66.

Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., and Dagustu, N., 2004. Responses of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87: 167-178.

Gooding, M.J., Ellis, R.H., Shewry, P.R., and Schofield, J.D., 2003. Effects of restricted water availability and increased temperature on grain filling, drying and quality of water wheat. Journal of Cereal Science 37: 295-309.

Hadidi, N., Sharaiha, R., and Al-Debei H., 2011. Effect of intercropping on the performance of some summer vegetable crops grown under different row arrangements. Lucrări Ştiinţifice 54: 11-17

Hamzei, J., and Babaei, M., 2015. Effect of irrigation and nitrogen fertilizing on phenology, grain yield and oil of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) in Hamadan region. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 25(2): 1-13. (In Persian with English Summary)

Harveth, S., and Bedo, Z., 1998. Another possibility in treatment of hyperlipidaemia with peponen of natural active substance. Mediflora 89: 7-8.

Heidari, M., and Karami, V., 2013. Effects of water stress and different mycorrhiza species on grain yield, yield components, chlorophyll content and biochemical components of sunflower. Environmental Stress in Crop Science 6(1): 17-26. (In Persian with English Summary)

Hong, S.W., Kwon, S.J., Sohn, S.I., Kim, N.S., and Kim, J.C., 2003. Characterization of embryogenesis related Pbmyb genes during *in vitro* differentiation of *Pimpinella brachycarpa*. Korean Journal of Genetics 25(4): 293-300.

Hong-Bo, S., Xiao-Yan, C., Li-Ye, C., Xi-Ning, Z., Gang, W., Yong-Bing, Y., Chang-Xing Z., and Zan-Min, H., 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. Colloids and Surfaces 53: 113-119.

Kafi, M., and Rostami, M., 2009. Yield characteristic and oil content of three safflower (*Charthamus tinctorius*) cultivars under drought in reproductive stage and irrigation with saline water. Iranian Journal of Crops Research 5(1): 121-132. (In Persian with English Summary)

Kanton, R.A.L., and Dennett, M.D., 2004. Water uptake and use by morphologically contrasting maize/pea cultivars in sole and intercrops in temperate conditions. Experimental Agriculture 40: 201-214.

Kargar, F., 2013. The effect of drought stress and methanol foliar application on quantitative and qualitative characteristics of safflower. MSc. Thesis, in Agriculture. Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran. (In Persian)

Karimzadeh Asl, K., Mazaheri, D., and Peyghambari, S.A., 2003. Effect of four irrigation intervals on the seed yield and quantitive characteristics of three sunflower cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 31(2): 293- 301. (In Persian with English Summary)

Khomari, S., Ghasemi Golezani, K., Alyari, H., Zehtab Salmasi, S., and Dabagh Mohamadi Nasab, A., 2008. Effect of irrigation disruption on phenology and grain yield of three sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars in Tabriz. Journal of Agricultural Science and Natural Resource 14(6): 72-80. (In Persian with English Summary)

Khoramivafa, M., Eftekharinasab, N., Sayyadian, K., and Najaphy, A., 2012. Water use efficiency in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. styriac)/ chickpea (*Cicer arietinum* L.)- lentil (*Lens esculenta* Moench.) intercropping system associated with several nitrogen levels. Journal of Agroecology 3: 245-253. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., and Gharaei, S., 2016. 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., Zarghani, H., and Norooziyan, A., 2015. Comparison of yield and yield components in different intercropping arrangements of sunflower (*Helianthus annuus* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and red bean

(*Phaseolus calcaratus*). Iranian Journal of Field Crops Research 14: 242-253. (In Persian with English Summary)

Lal, B., Rana, K.S., Rana, D.S., Shivay, Y.S., Sharma, D.K., Meena, B.P., and Priyanka, G., 2019. Biomass, yield, quality and moisture use of *Brassica carinata* as influenced by intercropping with chickpea under semiarid tropics. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 18: 61-71.

Malik, V.S., Swanton, C.J., and Michaels, T.E., 2003. Interaction of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars, row spacing, and seeding density with annual weeds. Weed Science 8: 62-68.

Mazaheri Laghab, H., Noori, F., Zare Abianeh, H., and Vafaie, M.H., 2001. Effect of supplementary irrigation on important agronomic traits of three sunflower cultivars in rainfed agriculture. Agricultural Research 3(1): 31-44. (In Persian with English Summary)

Mirzaei, F., Behdani, M.A., and Jamialahmadi, M., 2018. Effects of granular sulphur and planting date on yield and yield components of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 34: 820-835. (In Persian with English Summary)

Mohsenabadi, G.H.R., Jahansooz, M.R., Chaichi, M.R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghati, A.M., and Savaghebi, G.R., 2008. Evaluation of barley-vetch intercrop at different nitrogen rates. Journal of Agriculture Science Technology 10: 23-31.

Momen Keykha, M., Khammari, I., Dahmardeh, M., and Forouzandeh, M., 2018. Assessing yield and physiological aspects of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping under different levels of nitrogen. Journal of Agroecology 9: 1050-1069. (In Persian with English Summary)

Momen, A., Ghorbani, R., Nassiri Mahallati, M., Asadi G., and Parsa M., 2015. Evaluation the effects of relay intercropping of Styrian pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) with irrigated and rainfed chickpea (*Cicer arietimum* L.) on yield and yield components as affected by chickpea residue mulch. Journal of Agroecology 6(4): 767-778. (In Persian with English Summary)

Monreal, J.A., Jimenez, E.T., Remesal, E., Morillo-velarde, R., Garcia-Maurino, S., and Echevarria, C., 2007. Proline content of sugar beet storage roots, response to water deficit and nitrogen fertilization at field conditions. Environmental and Experimental Botany 60: 257-267.

Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G.H., and Samiezadeh, H., 2014. Evaluation of the beneficial effects of triple intercropping of maize (*Zea mays* L.), pinto been (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Crop Production and Processing 6(19): 177-189. (In Persian with English Summary)

Moradi, P., Asghari, J., Mohsen Abadi, G., and Samiezadeh, H., 2015. Role of triple intercropping system in weeds control and naked-pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) yield**.** Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24(4): 17-31. (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: 47-59.

Morid Ahmadi, S., Khorramdel, S., Koocheki, A., Shabahang, J., and Maollafilabi, A., 2018. Evaluation of yield and yield components of pumpkin (*Cucrbita pepo* L.) and land equivalent ratio affected as row intercropping with some field crops. Journal of Agroecology 10: 965-981. (In Persian with English Summary)

Nerson, H., 2005. Effects of fruit shape and plant density on seed yield and quality of squash. Scientia Horticulturae 105: 293–304.

Nyawade, Sh.O., Karanja, N.N., Gachene, Ch.K.K., Gitari, H.I., Schulte-Geldermann, E., and Parker, M.L., 2019. Intercropping optimizes soil temperature and increases crop water productivity and radiation use efficiency of rainfed potato. American Journal of Potato Research 96: 457–471.

Pierre, C., Petersona, S., Rossa, J., Ohma, A., Verhoerena, J., Larsona, M., and Hoefera, B., 2008. White wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress. Agronmy Science 33: 414-420.

Pinedo-Vasquez, M., Padoch, C., McGrath, D., and Ximenes, T., 2010. Biodiversity as a product of smallholders' strategies for overcoming changes in their natural and social landscapes: A report prepared by the unu/plecamazonia cluster. PLEC News and Views. Available at: https://archive.unu.edu/env/plec/books/Brazil.

Poggio, S.L., 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. Agriculture, Ecosystems and Environment 109: 48–58.

Rabbi Angurani, H., Panahendeh Yengejeh, J., Boland Nazar, S., Saba, J., and Zare Nahandi, F., 2017. Effects of salicylic acid on some physiological and biochemical attributes of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L. var. Styriaca) under

drought stress. Crops Improvement 19(4): 865-853. (In Persian with English Summary)

Rankulatile, H., Homma, K., Horie, T., Kurusa T. and Inamura, T., 1998. Land equivalent ratio of groundnut-finger millet intercrops as affected by plant combination ratio, and nitrogen and water availability. Plant Production Science 1(1): 39-46.

Rezaei Chiyaneh, E., Khorramdel, S., and Garachali, P., 2015. Evaluation of relay intercropping of sunflower and faba bean on their yield and land use efficiency. Journal of crops Improvement 17(1): 183-196. (In Persian with English Summary)

Roshdi, M., and Rezadost, S., 2005. Investigation of the effect of different levels of irrigation on quantitative and qualitative characteristics of sunflower cultivars. Iranian Journal of Agricultural Science 36(5): 1241-1250.

Roy, S., Barman, M., Puste, A.M., Gunri, S.K., and Jana, K., 2014. Growth, yield, water use efficiency and competitive functions of intercropping system of maize (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) as influenced by irrigation. SAARC Journal of Agriculture 13(2): 94-107.

Sanchez, F.J., Manzanares, M., Andres, E.F., Ternorio, J.L., Ayerbe, L., and De Andres, E.F., 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. Field Crop Research 59: 225-235.

Seyahjani, A., Farhvash, F., Khorshidi Benam, M.B., and Sadeghi, A., 2010. Studying the effect of drought stress on yield and yield components of three sunflower cultivars. Environmental Stresses in Crop Science 3(1): 68-59. (In Persian with English Summary)

Seyfi, M., 2014. The effect of dehydration, salicylic acid and ascorbic acid stress on yield and oil content of squash (*Cucurbita pepo* L.). Master Thesis, in Agriculture. Faculty of Agriculture, Shahroud University of Technology, Iran. (In Persian)

Shabahang, J., Khorramdel, S., Asadi, G., Meerabai, A., and Nemati, H., 2010. The effects of intra and inter-row spaces and planting pattern on the yield components, seed and oil yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). Journal of Agroecology 2(3): 417-427. (In Persian with English Summary)

Siami, A., Heidari, R., and Dastpak, A., 2003. Assessment of lipid content and studying fatty acids in some varieties of *cucurbita* L.. Pajouhesh and Sazandegi 59: 16-19. (In Persian with English Summary)

Smith, B.N., Girija, C., and Swamy, P.M., 2002. Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycine betaine in peanut (*Arachis hypogaea*). Environmental and Experimental Botany 47: 1-10.

Taheri, A., 2011. Investigation of some photosynthetic and physiological characteristics of four squash (*Cucurbita pepo* L.) under water stress. MSc. Thesis. Agriculture. Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran. (In Persian with English Summary)

Tavassoli, A. Ghanbari, A., Ahmadi, M.M., and Heydari, M., 2010. The effect of fertilizer and manure on forage and grain yield of and bean in intercropping. Iranian Journal of Agronomy Research 8(2): 96-114.

Valliyodan, B., and Nguyen, H.T., 2006. Understanding regulatory networks and engineering enhanced drought tolerance in plants. Current Opinion in Plant Biology 9: 1-7.

Vandermeer, J.H., 1990. Intercropping. In: Agroecology. Mc Graw– Hill publishing Co. p. 481-516.

Vega, C.R.C., Andrade, F.H., Sadras, V.O., Uhart, S.A., and Valentinuz, O.R., 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower and maize. Crop Science 40: 748-754.

Wagner, F.S., 2000. The health value of Styrian pumpkin-seed oil. Science and Fiction 40: 122-123.

Walker, S., and Ogindo, H.O., 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth 28: 919-926.

Weiss, E.A., 1983. Oilseed Crops. First Published by Long Man. London, pp. 31-99.

Yang, C., Huang, G., Chai, Q., and Luo, Z., 2011. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. Field Crops Research 124: 426-432.

Yin, C.X., Pang, X., and Lei, Y., 2009. Populous from high altitude has more efficient protective mechanisms under water stress than from low altitude habitats: A study in greenhouse for cuttings. Physiologia Plantarum 137: 22-35.

Zhang, L., Van Der, W.W., Zhang, S., Li, B., and Spiertz, J.H.J., 2007. Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. Field Crops Research 103: 178-188.

Zhu, J.K., 2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Reviews Plant Biology 53: 247-316.

Zimdahal, R.L., 1993. Fundamentals of Weed Science. Academic Prass, New York.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.4, Winter 2022, p. 631-651

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۶۵۱-۶۳۱

Assessing the Comparative Advantage of Naked-Seeded Pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Intercropping as affected by Drought Stress

M. Masumi[1], R. Moradi[2*], N. Pourghasemian[2] and M. Naghizadeh[3]
Submitted: 11-10-2020
Accepted: 19-12-2020

Masumi, M., Moradi, R., Pourghasemian, N., and Naghizadeh, M., 2022. Assessing the comparative advantage of naked-seeded pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) and sunflower (*Helianthus annuus* L.) intercropping as affected by drought stress. Journal of Agroecology 13(4):631-651.

Introduction

Limitation of water resources is one of the crucial factors that contributes to the decline in agricultural productivity (Zhang et al., 2012). Intercropping plays a pivotal role for increasing biodiversity, land use efficiency, nutrient and water use efficiencies, and enhanced ecological services. Intercropping could be one of the alternatives to address some of the associated obstacles with modern agriculture, including low yield, pest and pathogen infection, soil degradation and environmental deterioration, thereby promoting sustainable and productive agriculture. Naked-seeded pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) is an herbaceous, monoecious, annual plant of the Cucurbitaceae family (Lewis et al. 1997). The plant is economically and nutritionally important and cultivated for oil and medical purposes all over the globe. Several studies have reported the chemical composition and oil characteristics of the pumpkin seed from different origins and varieties (Kostalova et al., 2009). Summer squash is used for treating Helminth and reducing bad cholesterol. There is no official data about summer squash cultivation in Iran, but many Iranian farmers cultivate summer squash in marginal lands.Due to the importance of two species of naked-seeded pumpkin and sunflower and the lack of sufficient and documented information on intercropping of these two plants under drought stress, the present experiment was conducted to measure the potential of intercropping of these two plants and investigate their response to drought stress.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of different levels of irrigation and planting pattern on yield quantity and quality and water use efficiency (WUE) intercropped of pumpkin and sunflower, an experiment was conducted as the split-plot based on a randomized complete block design with three replications at experiment station of the Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman in 2019. The experimental treatments were irrigation levels (90, 60 and 30% of field capacity; FC) assigned to the main plot and planting patterns (sole cropping of pumpkin, sole cropping of sunflower, additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower

1- M.Sc. Student of Medicinal Plants, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
2-Associate Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
3-Assistance Professor, Department of Plant Productions, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
(*- Corresponding author Email: r.moradi@uk.ac.ir)
Doi:10.22067/agry.2020.20316.0

on ridge and additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow) as the subplot.

Results and discussion

The results showed that the highest fruit number, single fruit weight, fruit, seed and oil yields of pumpkin were obtained in additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow. With increasing drought stress level, the superiority of the furrow planting pattern relative to sole cropping was more evident for pumpkin. The largest head diameter (33 cm) and highest seed per head (1640) was found for additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow when irrigated with 90% of FC. In all irrigation levels, sunflower seed yield in sole cropping was significantly higher than both intercropping pattern due to its higher plant density. The maximum proline content for pumpkin (1.52 µmol g^{-1} FW) and sunflower (2.63 µmol g^{-1} FW) were observed at the two species sole cropping in severe drought stress condition. Land equivalent ratio (LER) was higher than one in all the irrigation levels and planting patterns. The highest value of WUE (0.64 kg m^{-3}) was related to additive intercropping of 100% of pumpkin + 50% of sunflower in furrow when irrigated with 60% of FC.

Conclusion

The results of this study illustrated that pumpkin is a sensitive plant to drought stress, and deviation of water availability from the field capacity significantly declines the yield. The addition of sunflower in the middle of the furrow between the two rows of pumpkin could reduce the negative effects of drought stress on the plant. This planting pattern could also significantly improve the fruit and seed yields of pumpkin in both moderate and severe stress conditions. However, the addition of sunflower on the ridge and between pumpkin plants had no significant positive effect on improving pumpkin yield under drought stress, due to increased interspecific competition. Therefore, pumpkin intercropping with high height plants such as sunflower, which causes a shading effect on pumpkin and reduces evapotranspiration, can be a useful strategy under drought.

Keywords: LER, Oil, Proline, WUE.