نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳، ص. ۲۰-۱۱

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 1, Spring 2014, p. 11-20

بررسی کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) بر عملکرد و اجزای عملکرد و تنوّع و تراکم علف‌های هرز

علیرضا کوچکی[۱]، فرنوش فلاح پور[۲*]، سرور خرم دل[۳] و لیلا جعفری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۴/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۸/۲۰

چکیده

به منظور ارزیابی عملکرد، اجزای عملکرد و تنوع و تراکم علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی گندم (*Triticum aestiveum* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش چهار نوع کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا شامل یک ردیف گندم+ یک ردیف کلزا (۱:۱)، دو ردیف گندم + دو ردیف کلزا (۲:۲)، سه ردیف گندم + سه ردیف کلزا (۳:۳) و چهار ردیف گندم + چهار ردیف کلزا (۴:۴) و کشت خالص هر دو گیاه بود. نتایج نشان داد که اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط بر وزن خشک و شاخص تنوع شانون علف‌های هرز معنی دار بود. بیشترین و کمترین میزان وزن خشک علف‌های هرز در تیمار گندم خالص و کشت مخلوط سه ردیفی مشاهده شد. علف هرز هفت‌بند (*Polygonum aviculare* L.) و خاکشیر (*Descurainia sophia* L.) به ترتیب با تراکم نسبی ۴۲/۸۶ و ۳/۵۷ درصد بیشترین و کمترین فراوانی نسبی را نسبت به سایر گونه-های علف هرز داشتند. الگوهای کشت خالص دارای بیشترین شاخص شانون بودند، به طوری‌که بیشترین و کمترین شاخص شانون در تمام مراحل نمونه‌برداری در کشت خالص گندم (۰/۸۶) و الگوی دو ردیفی(۰/۶۶) به‌دست آمد. بیشترین مقادیر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه در کشت خالص به‌دست آمد و در الگوهای مخلوط بیشترین عملکرد بیولوژیک (برای گندم و کلزا به ترتیب ۱۲۸۹۴/۴۷ و ۹۲۳۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد دانه (برای گندم و کلزا به ترتیب ۴۲۳۰/۷۲ و ۳۳۳۳/۴۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار سه ردیفی مشاهده شد. بیشترین شاخص برداشت گندم در الگوی یک ردیفی و بیشترین شاخص برداشت کلزا در الگوی چهار ردیفی به ترتیب با ۵۸/۳۴ و ۵۳ درصد به‌دست آمد.کشت مخلوط با افزایش تنوع، باعث کاهش تعداد و وزن خشک علف‌های هرز گردید. به‌طور کلی، بهترین نتایج در الگوی سه ردیف گندم+ سه ردیف کلزا مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، شاخص شانون، فراوانی نسبی

مقدمه

در دنیای جدید روند کشت و کار محصولات زراعی به تدریج از اصول اکولوژیک خارج شده است و به سمت دیدگاه‌های صرفاً اقتصادی پیش می‌رود که این امر منجر به وارد آوردن خسارات جبران‌ناپذیری به اکوسیستم‌های زراعی شده و پایداری آن‌ها را در معرض خطر قرار داده است (Carruthers et al., 2000). به همین دلیل در سال‌های اخیر از اهداف مهمی که در زمینه تحقیقات کشاورزی در بیشتر کشورها از جمله ایران دنبال می‌شود دستیابی به راهکارهایی جهت افزایش پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی می‌باشد. هدف اصلی در کشاورزی پایدار استفاده بهینه از نهاده‌های خارجی و به طور همزمان استفاده بهینه با کارایی مطلوب از منابع داخلی اکوسیستم می‌باشد (Ghanbari-Bonjar, 2000). لذا امروزه گرایش در جهت طراحی و مدیریت سیستم‌هایی است که بر فرآیندهای اکولوژیکی تکیه داشته و به منظور دستیابی به تولید مطلوب و کنترل آفات و علف‌های هرز وابستگی کمتری به مواد شیمیایی دارند (Awal et al., 2006). از جمله این روش‌های مدیریتی می‌توان به استفاده از کشت مخلوط اشاره کرد. استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط بر پایه مصرف کم منابع و نهاده‌های خارجی سال‌هاست که در مناطق مختلف جهان توسعه یافته است.

۱، ۲ و ۳ – به ترتیب استاد، دانشجوی دکتری و استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴- مربی گروه علوم باغبانی دانشگاه هرمزگان
(*- نویسنده مسئول: Email: farnoush.fallahpour@stu.um.ac.ir)

کشت مخلوط تولید دو یا چند محصول به‌طور همزمان در یک قطعه زمین می‌باشد. نتایج برخی مطالعات برتری کشت مخلوط را بر کشت خالص در بسیاری از موارد تأیید کرده‌اند (Sastawa et al., 2004; Ghanbari-Bonjar, 2000). نتایج تحقیقات مختلف (Berntsena et al., 2004; Keating & Carberry, 1993; Willey, 1990; Awal et al., 2006) در مورد کشت مخلوط نشان داده است که کارآیی بالاتر استفاده از نهاده‌ها اعم از نور، آب و مواد غذایی (Koocheki et al., 2010)، امکان کنترل علف‌های هرز (Carruthers et al., 1992)، کاهش خسارت آفات و بیماری‌ها (Parajulee et al., 1997) و افزایش تنوع زیستی (Nassiri, 2000; Altieri & Liebman, 1986) خصوصیات کارکردی منحصر به فردی را فراهم می‌سازد که باعث شده است تا این زراعت جایگاه خاصی را در طراحی بوم‌نظام‌های زراعی پایدار به خود اختصاص دهد (Black & Ong, 2000). با این وجود، کنولی (Connolly, 2001) با بررسی پژوهش‌های انجام شده در مورد کشت‌های مخلوط طی یک دوره ۲۰ ساله، بیان داشتند که بخش عمده‌ای از این تحقیقات بر مقایسه عملکرد مخلوط با کشت خالص متمرکز شده و در نتیجه بررسی سایر مزایای اکولوژیکی این نوع نظام زراعی از نظر دور مانده است. ناتارجان و وایلی (Natarajan & Willey, 1979) با بررسی انواع نظام‌های کشت مخلوط بیان داشتند که در بسیاری از موارد، الگوهای مخلوط ردیفی از جنبه‌های مختلف کارایی فیزیولوژیک ایده‌آل‌ترین روش در بین سایر الگوهای کشت می‌باشند.

توانایی نظام‌های کشت مخلوط برای رقابت با علف‌های هرز و کنترل آنها به عوامل مختلفی از جمله ترکیب گیاهان زراعی، ارقام انتخابی، تراکم گیاهی، سهم هر یک از گیاهان زراعی در کشت مخلوط، ترتیب و فاصله قرار گرفتن آنها از یکدیگر و حاصلخیزی خاک بستگی دارد (Shaygan et al., 2008). برخی تحقیقات نیز نشان داده است که مزیت اصلی کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش تنوع گیاهان است که در نتیجه آن آشیانه‌های اکولوژیک بیشتری توسط گیاهان زراعی اشغال می‌شود. بدین ترتیب با کاهش آشیانه‌های خالی و کاهش منابع در دسترس جهت رشد علف‌های هرز تا حدود زیادی از قدرت تهاجم علف‌های هرز کاسته می‌شود (Koocheki et al., 2006). نتایج تحقیقی که طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۹ روی سیستم‌های کشت مخلوط در کنیا نشان داد که کشت مخلوط در کنترل علف جادو (*Striga* sp.) مؤثر بود، به طوری‌که باعث بهبود ۴۰ تا ۱۲۰ درصدی تولید محصول شد (Oswald et al., 2002). علف‌های هرز از طریق رقابت برای جذب آب، عناصر غذایی و فضا باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شوند. از آنجا که معمولاً بیشترین نیاز برای مواد غذایی بوسیله علف‌های هرز همزمان با نیاز گیاه زراعی اتفاق می‌افتد و همچنین تعدادی از علف‌های هرز در ایجاد کانوپی سریعتر از گیاهان زراعی عمل می‌کنند، بدین ترتیب، در رقابت برای جذب نور و سایر منابع محیطی موفق‌تر از گیاه زراعی بوده که این امر در نهایت منجر به کاهش عملکرد آنها می‌شود.

در میان گیاهان زراعی مختلف غلات از مهم‌ترین محصولات زراعی در سطح جهان می‌باشند که بطور متوسط در حدود ۵۵-۵۰ درصد کالری مصرفی انسان را تأمین می‌نمایند. در این بین گندم به دلیل قدرت سازگاری بالا و تنوع فرآورده‌های حاصله از اهمیت زیادی برخوردار است، به طوری‌که امروزه اولین محصول مهم غذایی جهان بشمار می‌آید. کشت کلزا نیز به عنوان یکی از مهمترین گیاهان روغنی در کشور به‌طور روز افزون در حال افزایش است (Najibniya, 2010). کلزا دارای ارقام بهاره و پاییزه می‌باشد که کلزای پاییزه بدلیل امکان استفاده بهتر از نزولات جوی، نیاز کمتر به آبیاری و همچنین عملکرد بالاتر، بسیار مورد توجه کشاورزان می‌باشد.

بدین ترتیب با توجه به مزایای مختلف کشت مخلوط، از آنجا که تحقیقات زیادی در مورد کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا در کشور انجام نشده است، لذا هدف از اجرای این آزمایش، بررسی اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا و تعیین بهترین ترکیب مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی از لحاظ تراکم، زیست توده و تنوع علف‌های هرز و همچنین عملکرد دو گیاه زراعی در شرایط آب و هوایی مشهد بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی عملکرد و اجزای عملکرد، تراکم و تنوع علف‌های هرز در کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ عرض جغرافیایی درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در دو سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ و ۸۹-۱۳۸۸ اجرا شد. بافت خاک محل اجرای آزمایش سیلتی لومی بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل چهار الگوی مخلوط ردیفی (یک ردیف گندم و یک ردیف کلزا (۱:۱)، دو ردیف گندم و دو ردیف کلزا (۲:۲)، سه ردیف گندم و سه ردیف کلزا (۳:۳) و چهار ردیف گندم و چهار ردیف کلزا (۴:۴)) و کشت خالص دو گیاه بود.

عملیات کاشت گندم و کلزا در هر دو سال به‌صورت همزمان و در نیمه آبان ماه بر روی ردیف‌هایی با طول سه متر و فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر انجام شد، بدین ترتیب ابعاد کرت‌ها ۶×۳ مترمربع بود. برای دستیابی به تراکم‌های مورد نظر (گندم و کلزا به ترتیب ۴۰۰ و ۲۰ بوته در متر مربع) گیاهان در مرحله ۶-۴ برگی تنک شدند. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی تا آخر پاییز و از ابتدای فروردین تا زمان رسیدگی به فاصله هر ۱۴ روز یکبار انجام شد.

به‌منظور مقایسه الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گندم و

کلزا از نظر ترکیب، تراکم و زیست توده علف‌های هرز، نمونه‌برداری از جمعیت علف‌های هرز در پنج نوبت انجام گرفت. بدین منظور از کوادراتی به ابعاد ۰/۲۵×۰/۲۵ متر مربع برای نمونه‌برداری استفاده و در هر کرت از سه محل به صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام شد. تمام علف‌های هرز پس از شمارش به تفکیک گونه شناسایی شدند و پس از انتقال به آزمایشگاه جهت اندازه‌گیری زیست‌توده علف‌های هرز، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شدند. برای تعیین میزان تنوع علف‌های هرز از شاخص تنوع شانون (H') استفاده شد (Gliessman, 1997) (معادله۱).

$$H'=-\sum_{i=1}^{s}\frac{Ki}{K}Ln\frac{Ki}{K}$$

معادله (۱)

که در این معادله، H': شاخص تنوع گونه‌ای شانون و K: تعداد کل افراد جمعیت گونه i ام می‌باشد.

نیمی از هر کرت به نمونه‌برداری تخریبی اختصاص یافت و در پایان فصل رشد بوته‌های نیمهٔ دیگر کرت جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد مورد استفاده قرار گرفتند. اجزای عملکرد اندازه‌گیری شده در رابطه با گندم شامل تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله، وزن دانه در سنبله و وزن هزار دانه و برای کلزا شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، تعداد شاخه جانبی و وزن هزار دانه بود.

برای ارزیابی کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا در مقایسه با کشت خالص، نسبت برابری زمین (LER)[1] برای عملکرد دانه طبق معادله (۲) محاسبه گردید (Gliessman, 1999).

$$LER=\sum\frac{Ypi}{Ymi}$$

معادله (۲)

که در این معادله، Ypi: میزان عملکرد دانه در کشت مخلوط و Ymi: میزان عملکرد دانه درکشت خالص می‌باشد.

تجزیه داده‌ها به صورت تجزیه مرکب و با استفاده از نرم‌افزار Minitab Ver. 13 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار Mstat-c انجام شد. رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار MS Excel ver. 11 انجام شد.

نتایج و بحث

اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر عملکرد و اجزای عملکرد

مقایسه میانگین اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا و گندم به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی بر عملکرد بیولوژیکی و دانه گندم و کلزا معنی دار ($p\leq$۰/۰۵) بود. بیشترین عملکرد بیولوژیکی برای گندم و کلزا در کشت خالص (به ترتیب با ۱۴۹۲۴/۸۶ و ۱۳۸۲۳/۹۷کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان آن در الگوی یک ردیفی (به ترتیب با ۵۲۳۲/۷۲ و ۳۴۵۷/۸۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. در بین الگوهای مختلف مخلوط نیز بالاترین عملکرد بیولوژیکی در الگوی سه ردیفی به ترتیب با ۱۲۸۹۴/۴۷ و ۹۲۳۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار برای گندم (با۱۳/۶۰ درصد کاهش نسبت به کشت خالص) و کلزا (با۳۳/۲۲ درصد کاهش نسبت به کشت خالص) حاصل شد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه نیز در هر دو گیاه به ترتیب در کشت خالص و کشت مخلوط یک ردیفی حاصل شد (جدول های ۱ و۲). مظاهری و همکاران (Mazaheri et al., 2000) در بررسی کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) ذکر کردند که بیشترین عملکرد دانه در کشت خالص لوبیا حاصل شد.

در الگوهای مختلف مخلوط بیشترین تعداد غلاف در بوتهٔ کلزا و تعداد دانه در غلاف در الگوی سه ردیفی بدست آمد. در بررسی وزن هزار دانه گندم تنها تیمار مخلوط یک ردیفی با سایر الگوهای مخلوط اختلاف معنی دار داشت. هانسن و شیبلز (Hansen & Shibles, 1978) نیز معتقدند که وزن هزار دانه کمتر تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرد و از طریق ژنتیکی کنترل می‌شود. بهدانی و راشد محصل (Behdani & Rashed-Mohassel, 2001) نیز با بررسی عملکرد و اجزای عملکرد واریته‌های مختلف سویا (*Glycine max* L.) در کشت‌های مخلوط ردیفی مختلف دریافتند که واکنش ارقام در الگوهای مختلف متفاوت بود. صدرآبادی حقیقی (Sadrabadi-Haghighi, 1998) در بررسی کشت گندم و ماشک گل خوشه‌ای (*Vica villosa* Roth.) بیان داشت که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط در مورد عملکرد دانه وجود داشت. در تحقیقی دیگر نیز اشاره شده‌است که در کشت مخلوط ذرت و سویا بیشترین عملکرد دانه در کشت مخلوطی بدست آمد که در آن تراکم ذرت متوسط و تراکم سویا پایین بود (Gheshm & Tajbakhsh, 1990). شاخص برداشت نیز در الگوهای کشت مورد بررسی متفاوت بود، به طوری‌که بیشترین شاخص برداشت گندم و کلزا به ترتیب در الگوی کشت مخلوط یک ردیفی (۵۳ درصد) و چهار ردیفی (۵۸/۳۴ درصد) به‌دست آمد (جدول های۲ و ۳). به‌طور کلی، علت افزایش محصول در زراعت مخلوط را می‌توان به استفاده بهتر و کاراتر گیاهان از عوامل محیطی مانند آب، مواد غذایی و نور نسبت داد.

اثر کشت مخلوط ردیفی گندم بر نسبت برابری زمین (LER) بر اساس عملکرد دانه

اثر الگوهای مختلف مخلوط بر نسبت برابری زمین برای عملکرد دانه معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۵) بود؛ به طوری‌که بیشترین و کمترین نسبت برابری زمین برای عملکرد در الگوهای مختلف مخلوط در تیمار سه

1- Land equivalent ratio (LER)

ردیفی و یک ردیفی به‌دست آمد (شکل ۱).

جدول ۱- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی با گندم

Table 1- Means comparison of yield and yield compounds of canola in different intercropping with wheat

تیمار Treatment	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد غلاف در بوته Pod Number per plant	تعداد دانه در غلاف Seed Number per pod	تعداد شاخه جانبی در بوته Number of branches per plant	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	شاخص برداشت (درصد) HI (%)
1:1	3475.82 e*	1803.92 b	123.62 e	19.04 e	4.93 c	3.30 b	53.00 a
2:2	5616.10 d	2898.54 a	134.94 d	19.69 d	5.24 c	3.95 a	51.86 a
3:3	9231.07 b	3333.49 a	201.35 b	23.85 b	6.97 b	3.37 b	36.13 b
4:4	6323.32 c	2949.69 b	176.59 c	20.65 c	5.04 c	3.41 b	35.67 b
Monoculture	13823.97 a	3479.48 a	223.35 a	24.23 a	7.75 a	3.50 b	25.17 b

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*Means per column followed by same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's Test.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد گندم در الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی با کلزا

Table 2- Means comparison of yield and yield compounds of wheat in different intercropping with canola

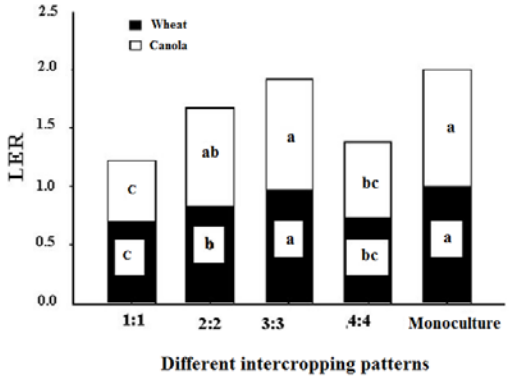
تیمار Treatment	عملکرد بیولوژیکی (کیلوگرم در هکتار) Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Grain yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد سنبله در مترمربع No. of spike per m^{-2}	تعداد دانه در سنبله No. of seed per spike	وزن دانه در سنبله (گرم) Grain weight per spike (g)	وزن هزار دانه (گرم) 1000-seed weight (g)	شاخص برداشت (درصد) HI (%)
1:1	5232.72 e*	3051.54 c	320.14 d	17.36 e	0.93 c	53.81 a	29.27 b
2:2	10051.02 d	3632.56 b	349.79 c	20.68 c	0.94 c	45.73 b	28.97 b
3:3	12894.47 b	4230.72 a	394.88 b	23.57 b	1.08 b	45.74 b	36.17 b
4:4	11163.01 c	3233.92 c	312.60 d	18.89 d	0.95 c	50.51 ab	58.34 a
Monoculture	14924.86 a	4366.38 a	430.69 a	26.55 a	1.19 a	44.94 b	32.81 b

*در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

*Means per column followed by same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's Test.

البته در این مورد بین الگوهای سه و چهار ردیفی مخلوط و همچنین الگوهای سه و دو ردیفی مخلوط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. تمام الگوهای کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا LER بزرگتر از یک داشتند که این امر نشان‌دهندهٔ برتری کشت مخلوط نسبت به تک کشتی در این الگوهای می‌باشد. بیشترین میزان LER برای الگوی سه ردیفی (۱/۹) و کمترین میزان آن در الگوی یک ردیفی (۱/۲) به‌دست آمد.

عملکرد نسبی گندم در تمام الگوهای کشت مخلوط بالاتر از کلزا بود (شکل ۱). بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گندم به دلیل تأثیر بیشتر از همراهی کلزا اثر مثبت پذیرفته است.



شکل ۱- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر نسبت برابری زمین بر اساس عملکرد دانه

Fig. 1- Effect of different row intercropping patterns of wheat and canola on LER based on seed yield

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010a) طی آزمایشی روی ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط زعفران (*Crocus sativus* L.) و مرزنجوش (*Origanum vulgare* L.) گزارش کردند که بیشترین و کمترین نسبت برابری زمین به ترتیب در ترکیب یک ردیف زعفران و یک ردیف مرزنجوش (۱/۲۱) و کمترین میزان آن در ترکیب سه ردیف زعفران و یک ردیف مرزنجوش (۰/۸۷) به‌دست آمد. در مطالعه‌ای دیگر کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2010b) با بررسی چهار نوع کشت مخلوط تاخیری گندم و ذرت بیان داشتند که نسبت برابری زمین برای کارایی جذب نیتروژن در تمام کشت‌های مخلوط تأخیری بزرگتر از یک بود و بین ۲-۱/۴۹ قرار داشت.

اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر تراکم نسبی علف‌های هرز

در نمونه‌گیری کرت‌های آزمایشی در دو سال متوالی در مجموع ۱۷ گونه علف هرز مشاهده شد که شامل تاج خروس خوابیده (*Amaranthus blitoides* S.Wats.)، تاجریزی (*Solanum nigrum* L.)، خاکشیر (*Descurainia sophia* L.)، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)، شاهتره (*Fumaria* spp.)، غربیلک (*Lamium amplexicaule* L.)، گندمک (*Stellaria media* L.)، هفت‌بند (*Polygonum avicular* L.)، و واکاریا (*Vacaria* sp.) از علف‌های هرز یکساله پهن‌برگ، دم روباهی (*Setaria* sp.)، سوروف (*Echinochloa crus-galli* L.) و یولاف (*Avena sativa* L.) از علف‌های هرز یکساله باریک‌برگ، علف خرچنگ (*Digitaria* sp.)، بارهنگ (*Plantago lanceolata* L.) و اویار سلام (*Cyperus rotundus* L.) از علف‌های هرز چندساله باریک‌برگ و پیچک صحرایی (*Covolvulus arvensis* L.) و شیر تیغی (*Sonchus oleraceus* L.) از علف‌های هرز چندساله پهن‌برگ بودند (جدول ۳).

نتایج نشان داد که در مرحله اول نمونه‌برداری سوروف با تراکم نسبی ۴۱/۳۸ درصد و سلمه‌تره با تراکم نسبی ۲۰/۶۹ درصد در بین تیمارهای مختلف بیشترین فراوانی را نسبت به سایر گونه‌ها داشتند. در انتهای فصل رشد نیز سوروف، پیچک، هفت‌بند و سلمه تره بیشترین تراکم را به خود اختصاص دادند. تعداد علف‌های هرز پهن‌برگ با ۱۱ گونه بیشتر از باریک‌برگ‌ها با شش گونه بود. از نظر چرخه زندگی نیز یکساله‌ها با ۱۲ گونه در مقایسه با چندساله‌ها با پنج گونه از تنوع بالاتری برخوردار بودند. از آنجا که علف‌های هرز یکساله دارای توان بازیابی و قابلیت تکثیر سریع بعد از تخریب می‌باشند و همچنین ویژگی‌های مشابهی با گیاهان زراعی یکساله دارند، لذا قابل انتظار است که فراوانی و تراکم نسبی این گونه‌ها در بوم نظام‌های زراعی به مراتب بالاتر از گونه‌های چندساله باشد (Lososova et al., 2008).

جدول ۳- اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر تراکم نسبی گونه‌های علف هرز در مراحل مختلف نمونه برداری

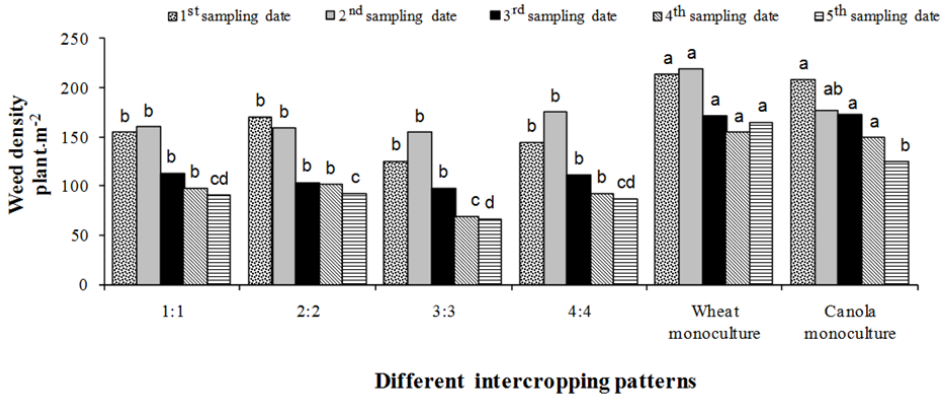
Table 1- Effect of different row intercropping patterns of wheat and canola on weed relative density in three sampling dates at different input intensity

کشت خالص Monoculture		الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی Different row intercropping patterns				سیکل زندگی Life cycle	گونه‌های علف هرز Weed species
کلزا Canola	گندم Wheat	4:4	3:3	2:2	1:1		
مرحله اول نمونه‌برداری The first sampling date							
17.95	-	-	18.75	18.75	20.69	AB*	*Chenopodium album* L.
20.51	-	-	-	6.25	10.34	PB	*Covolvulus arvensis* L.
-	15.00	11.11	18.75	3.12	-	PG	*Digitaria* sp.
25.64	30.00	29.63	18.75	28.12	41.38	AG	*Echinochloa crus-galli* L.
10.26	17.50	11.11	18.75	15.62	17.24	AB	*Fumaria* spp.
5.13	5.00	-	-	-	-	AB	*Lamium amplexicaule* L.
7.69	10.00	7.41	25.00	25.00	10.34	AB	*Polygonum avicular* L.
12.82	7.50	22.22	-	-	-	AB	*Stelaria media* L.
-	15.00	18.52	-	3.12	-	AB	*Vacaria* sp.
مرحله دوم نمونه‌برداری The second sampling date							
-	12.20	6.06	4.55	-	-	AG	*Avena sativa* L.
31.25	9.76	12.12	40.91	19.44	10.00	AB	*Chenopodium album* L.
9.38	-	6.06	-	30.56	6.67	AB	*Covolvulus arvensis* L.
3.13	2.44	12.12	9.09	22.22	13.33	PG	*Cyperus rotundus* L.
-	7.32	-	13.64	-	-	PB	*Descurainia sophia* L.
3.13	17.07	15.15	4.55	-	-	PG	*Digitaria sp.*
6.25	26.83	15.15	31.82	-	30.00	AG	*Echinochloa crus-galli* L.

12.50	4.88	–	–	–	20.00	AB	*Fumaria* spp.
6.25	–	–	–	–	–	PG	*Plantago lanceolata* L.
9.38	9.76	18.18	22.73	19.44	–	AB	*Polygonum avicular* L.
–	9.76	15.15	4.55	–	–	AG	*Setaria* sp.
18.75	–	–	–	8.33	–	PB	*Sonchus oleraceus* L.
–	–	–	–	–	–	AB	*Stelaria media* L.
			مرحله سوم نمونه‌برداری				
			The third sampling date				
7.69	3.57	–	–	30.00	–	AG	*Avena sativa* L.
–	3.57	19.05	23.08	15.79	10.00	AB	*Chenopodium album* L.
26.92	7.14	4.76	7.69	15.79	–	PB	*Covolvulus arvensis* L.
–	14.29	23.81	7.69	10.53	30.00	PG	*Cyperus rotundus* L.
–	3.57	–	–	–	–	AB	*Descurainia sophia* L.
11.54	17.86	–	–	5.26	–	PG	*Digitaria* sp.
–	32.14	33.33	23.08	26.32	25.00	AG	*Echinochloa crus-galli* L.
26.92	–	4.76	–	–	–	AB	*Fumaria* spp.
23.08	3.57	9.52	23.08	26.32	20.00	AB	*Polygonum avicular* L.
3.85	17.86	4.76	–	–	10.00	AB	*Setaria* sp.
–	–	–	7.69	–	5.00	PB	*Sonchus oleraceus* L.
–	–	–	7.69	–	–	AB	*Stelaria media* L.
			مرحله چهارم نمونه‌برداری				
			The fourth sampling date				
–	3.84	–	5.56	5.56	–	AB	*Amaranthus blitoides* S.Wats.
6.89	–	6.25	–	–	–	AG	*Avena sativa* L.
10.34	26.92	12.50	15.38	22.22	5.26	AB	*Chenopodium album* L.
3.45	19.23	12.50	–	–	10.53	PB	*Covolvulus arvensis* L.
6.89	19.23	25.00	7.69	5.56	21.05	PG	*Cyperus rotundus* L.
24.14	–	18.75	7.69	16.67	21.05	PG	*Digitaria* sp.
31.03	–	25.00	15.38	16.67	15.79	AG	*Echinochloa crus-galli* L.
–	–	–	7.69	–	–	AB	*Fumaria* spp.
–	–	6.25	–	–	–	PG	*Plantago lanceolata* L.
–	–	18.75	23.08	16.67	26.32	AB	*Polygonum avicular* L.
17.24	–	6.25	7.69	16.67	–	AB	*Setaria* sp.
–	–	–	7.69	–	–	PB	*Sonchus oleraceus* L.
–	30.77	–	7.69	–	–	AB	*Stelaria media* L.
			مرحله پنجم نمونه برداری				
			The fifth sampling date				
–	18.52	–	–	–	–	AB	*Amaranthus blitoides* S.Wats.
17.94	29.62	25.00	14.28	21.87	–	AB	*Chenopodium album* L.
7.41	–	–	–	–	–	AB	*Conyza canadensis* L.
20.51	22.22	–	14.28	3.12	14.29	PB	*Covolvulus arvensis* L.
–	3.70	6.25	–	–	–	PG	*Cyperus rotundus* L.
–	–	12.50	14.28	–	–	PG	*Digitaria* sp.
25.64	–	25.00	28.57	9.37	21.43	AG	*Echinochloa crus-galli* L.
10.26	–	–	–	–	–	AB	*Fumaria* spp.
7.69	–	–	–	–	–	PG	*Plantago lanceolata* L.
7.69	18.52	31.25	14.28	9.37	42.86	AB	*Polygonum avicular* L.
–	–	–	–	–	21.43	AB	*Setaria* sp.
–	–	–	14.28	–	–	PB	*Sonchus oleraceus* L.
12.82	–	–	–	–	–	AB	*Stelaria media* L.

* AB: یکساله پهن‌برگ، AG:یکساله باریک‌برگ، PB: چندساله پهن‌برگ و PG: چندساله باریک‌برگ

*AG: Annual grasses, AB: Annual broad leaves, PB: Perennial broad leaves and PG: Perennial grasses



شکل ۲- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر تراکم علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 2- Effect of different row intercropping patterns of wheat and canola on density of weeds in different sampling dates

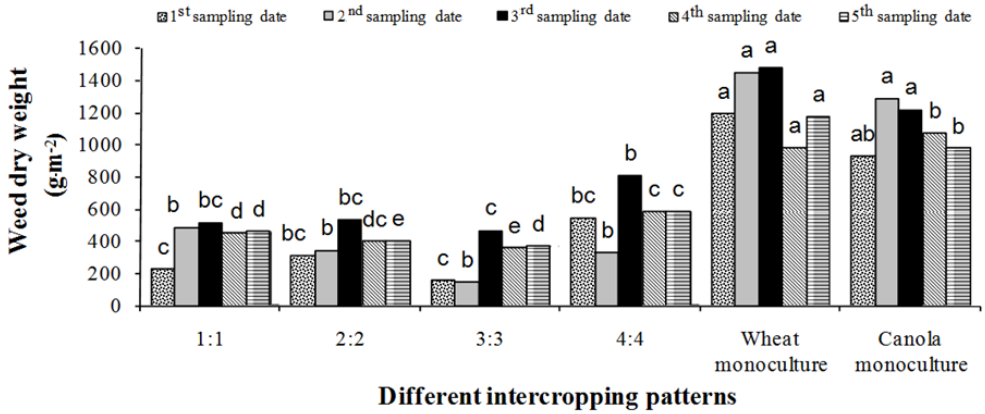
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر مرحله نمونه برداری، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Means within a group of sampling date followed by same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's Test.

اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر تراکم علف‌های هرز

اثر الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی بر تراکم علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری در در دو سال اجرای آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

الگوهای ردیفی گندم و کلزا تأثیر معنی‌داری (p≤۰/۰۵) بر تراکم علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری داشتند. در مرحله اول نمونه‌برداری کشت خالص گندم با ۲۱۳ بوته در متر مربع و الگوی سه ردیف گندم+ سه ردیف کلزا با ۸۵ بوته در متر مربع به ترتیب بیشترین و کمترین تراکم علف‌های هرز را به خود اختصاص دادند. الگوی کاشت سه ردیف گندم+ سه ردیف کلزا در مراحل دوم، سوم، چهارم و پنجم نمونه‌برداری به ترتیب با ۲۹، ۴۳، ۵۵ و ۵۶ درصد کاهش تراکم نسبت به کشت خالص گندم و ۱۲، ۴۳، ۵۴ و ۴۷ درصد کاهش تراکم نسبت به کشت خالص کلزا بیشترین تاثیر را در کنترل علف‌های هرز دارا بود (شکل ۲). این موضوع همراه با نتایج آزمایش کارایی مصرف نور که نشان‌دهنده بیشترین کارایی مصرف تشعشع در کشت مخلوط سه ردیفی بود (نتایج کارایی مصرف نور در این مقاله نشان داده نشده است) نشان داد که افزایش شاخص سطح برگ و به تبع آن افزایش پوشش گیاهی در شرایط مخلوط در مقایسه با کشت خالص علاوه بر آنکه باعث افزایش جذب نور شده است، کاهش تراکم علف‌های هرز را نیز به دنبال داشته‌است.



شکل ۳- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر وزن خشک علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 3- Effect of different row intercropping patterns of wheat and canola on weed dry weight in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر مرحله نمونه برداری، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Means within a group of sampling date followed by same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's Test.

چنین به نظر می‌رسد که وجود اثرات تسهیل‌کنندگی گندم و کلزا همچون جوانه‌زنی و رشد سریع‌تر گندم از یک طرف و وجود اثرات آللوپاتی کلزا (Boydston & Hang, 1995) از طرف دیگر، منجر به جلوگیری از جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز در کشت ردیفی شد، اما با افزایش تعداد ردیف‌های مخلوط به چهار ردیف، اثرات مثبت دو گیاه بر یکدیگر کاهش یافت؛ به‌طوری‌که در کشت چهار ردیفی مخلوط گندم و کلزا علاوه بر کاهش کارایی مصرف تشعشع، افزایش تراکم علف‌های هرز نیز مشاهده شد (شکل ۲).

با توجه به افزایش تنوع گیاهان در کشت مخلوط نسبت به تک کشتی، لذا آشیانه‌های اکولوژیکی بیشتری توسط گیاهان زراعی اشغال شده که در نتیجه باعث کاهش منابع قابل دسترس برای رشد علف‌های هرز باقی شده و در نهایت کاهش تراکم گونه‌های علف هرز را به دنبال داشته است. آلفرد و همکاران (Alford et al., 2003) با بررسی اثر کشت مخلوط ذرت و لوبیا بر کنترل علف‌های هرز نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و علت کاهش تراکم علف هرز را به ترکیب مکملی گیاهان زراعی در مخلوط مربوط دانستند. آنها بیان داشتند که کشت مخلوط به دلیل افزایش تنوع و به دنبال آن کاهش آشیانه‌های اکولوژیکی باعث افزایش توان رقابتی گیاهان با علف‌های هرز می‌شود. گومز و گورویچ (Gomez & Gurevitch, 1998) نیز با بررسی اثر کشت مخلوط ذرت و سویا بر کنترل علف‌های هرز دریافتند که کشت مخلوط این دو گیاه به دلیل پوشش بهتر و متراکم‌تر بر سطح زمین باعث افزایش قدرت رقابت گیاهان زراعی برای استفاده از نور، آب و سایر منابع محیطی در مقایسه با کشت خالص شده که در نهایت، باعث کاهش تنوّع و تراکم علف‌های هرز در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شد. سنجانی و همکاران (Sanjani et al., 2009) گزارش کردند که کشت مخلوط افزایشی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) با سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) به طور معنی‌داری باعث کاهش تعداد و تراکم علف‌های هرز نسبت به کشت خالص شد. نتایج تحقیقات بانیک و همکاران (Banik et al., 2006) نیز روی اثر کشت مخلوط گندم و نخود (*Cicer arietinum* L.) بر کنترل علف‌های هرز نشان داد که کشت مخلوط این دو گیاه با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متری نظام مطلوبی برای رسیدن به عملکرد مناسب و حذف علف‌های هرز می‌باشد؛ به طوری‌که در این فاصله کاشت نسبت به سایر فواصل و الگوهای کاشت کمترین تراکم علف‌های هرز مشاهده شد.

اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر وزن خشک علف‌های هرز

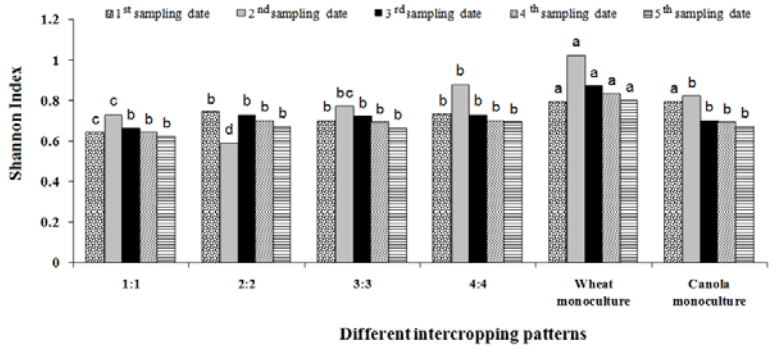
اثر الگوهای مختلف کشت بر وزن خشک علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($p\leq$۰/۰۱) بود؛ به طوری‌که کشت مخلوط باعث کاهش وزن خشک علف‌های هرز در مقایسه با کشت خالص شد (شکل ۳).

بیشترین و کمترین وزن خشک علف‌های هرز در مرحله اول نمونه‌برداری به ترتیب در کشت خالص گندم با ۱۱۹۰/۰۱ گرم در متر مربع و الگوی کاشت سه ردیفی با ۱۵۵/۷۰ گرم در متر مربع مشاهده شد (شکل ۳). بیشترین وکمترین وزن خشک علف‌های هرز در مراحل دوم، سوم،چهارم و پنجم نمونه‌برداری در کشت خالص گندم (به ترتیب با ۱۴۴۷/۶، ۱۴۷۴/۸، ۱۰۶۷ و ۱۱۷۱گرم در متر مربع) و الگوی سه ردیفی (به ترتیب با ۱۴۷/۴، ۴۶۹/۹، ۳۵۸ و ۳۷۰/۳۳ گرم در متر مربع) بدست آمد (شکل ۳). به طور کلی، الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک علف‌های هرز شد (شکل ۳) که با توجه به کاهش تراکم نسبی (جدول ۳) و تعداد علف‌های هرز (شکل ۲) در شرایط مخلوط در مقایسه با خالص، کاهش وزن خشک علف‌های هرز منطقی به نظر می‌رسد.

گزارش‌های متعددی تأثیر کشت مخلوط بر کنترل علف هرز را مثبت ارزیابی کرده‌اند. نتایج تحقیقات متعدد نشان دادند که کشت مخلوط گیاهان نسبت به خالص باعث کاهش معنی‌دار زیست تودهٔ علف‌های هرز در مقایسه با کشت خالص شد (Liebman & Dyck, 1993). نتایج بررسی‌های عزیزی (Azizi, 2009) نیز نشان داد که تغییر در ترکیب گونه‌های زراعی اثر معنی‌داری بر وزن خشک علف‌های هرز داشت و با افزایش تنوع گیاهی، وزن خشک علف‌های هرز کاهش یافت، به طوری‌که کمترین وزن خشک علف‌های هرز در ترکیب‌های مختلف کشت مخلوط مشاهده شد.

اثر کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر تنوّع علف‌های هرز

اثر الگوهای کشت ردیفی گندم و کلزا بر شاخص شانون در مراحل مختلف نمونه‌برداری معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۱) بود. دامنه شاخص شانون در الگوهای مخلوط ردیفی (۱:۱)، (۲:۲)، (۳:۳) و (۴:۴) به ترتیب ۰/۷۳-۰/۶۲، ۰/۷۴-۰/۵۹، ۰/۷۷-۰/۶۶ و ۰/۸۸-۰/۶۹ بود. بدین ترتیب بیشترین و کمترین شاخص شانون به ترتیب برای کشت خالص گندم و الگوی دو ردیفی با ۰/۸۶ و ۰/۶۶ مشاهده شد (شکل ۴). چنین به نظر می‌رسد که با افزایش تنوّع، تخصیص منابع و توزیع آن‌ها بین گونه‌ها با کارایی بیشتری صورت گرفته که این امر منجر به کاهش تعداد و تنوّع علف‌های هرز شده که در نهایت کاهش شاخص شانون را به دنبال داشته است. بومان و همکاران (Baumann et al., 2000) نیز بیان داشتند که کشت مخلوط تره فرنگی (*Allium porrum* L.) و کرفس (*Apium graveolens* L.) بدلیل افزایش جذب نور توسط پوشش گیاهی باعث افزایش سرکوبی علف‌های هرز شد که در نهایت باعث کاهش تعداد علف‌های هرز گردید.



شکل ٤- اثر الگوهای کشت مخلوط ردیفی گندم و کلزا بر شاخص تنوّع شانون علف‌های هرز در مراحل مختلف نمونه‌برداری

Fig. 4- Effect of different row intercropping patterns of wheat and canola on Shannon index of weeds in different sampling dates

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر مرحله نمونه برداری، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Means within a group of sampling date followed by same letters are not significantly different at α=0.05 based on Duncan's Test.

نتیجه‌گیری

با افزایش تنوّع گیاهان در بوم نظام‌های زراعی به دلیل استفاده مؤثرتر از منابع، آشیان‌های اکولوژیکی کمتری در اختیار علف‌های هرز قرار می‌گیرد که این امر منجر به کاهش تعداد آن‌ها شد. نتایج این آزمایش نشان داد که تعداد، تراکم، زیست توده و تنوّع علف‌های هرز تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی قرار گرفت؛ به‌طوری‌که کمترین فراوانی و زیست توده علف‌های هرز در الگوی کاشت سه ردیف گندم + سه ردیف کلزا مشاهده شد. بنابراین کنترل علف‌های هرز با بهره‌گیری از اصول مدیریت پایدار همچون استفاده از الگوها و روش‌های مختلف کشت مخلوط می‌تواند مد نظر قرار گیرد. از طرف دیگر، کشت خالص و مداوم گونه‌های مختلف زراعی در نظام‌های رایج و متکّی بر مصرف انواع نهاده‌های شیمیایی برای کنترل علف‌های هرز، با کاهش تنوّع گونه‌ای و کارکردی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، عملیات کنترل و مدیریت گونه‌های غالب علف هرز را نیز با مشکل روبرو می‌سازد. بیشترین عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه نیز پس از کشت خالص در الگوی سه ردیفی به‌دست آمد و با توجه به مشاهدات این آزمایش می‌توان الگوی سه ردیفی را الگوی مناسبی به منظور دستیابی به عملکرد مناسب به علاوه، دستیابی به مزایای کشت مخلوط پیشنهاد کرد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از محل اعتبار پژوهه به شماره ۱۳.پ، مورخ ۱۳۸۸/۱/۲۵ معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

منابع

Alford, C.M., Kral, J.M., and Miller, D.S. 2003. Intercropping irrigated corn with annual legumes for forage. Agronomy Journal 95(3): 520-525.

Altieri, M.A., and Liebman, M. 1986. Insect, weed and plant disease management in multiple cropping systems. In: Francis, C.A. (Ed.), Multiple Cropping Systems. MacMillan, New York, p. 182–218.

Awal, M.A., Koshi, H., and Ikeda, T. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. Agricultural and Forest Meteorology 139: 74–83.

Azizi, G. 2009. Evaluation of nutrient resource and crop diversity interaction on agrobiodiversity in different mixed cropping systems. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Banik, P., Mydia, A., Sarkar, B.K., and Ghose, S.S. 2006. Wheat and chickpea intercropping system in an additive series experiment: advantage and weed smothering. European Journal of Agronomy 24: 325-333.

Baumann, D.T., Kropff, M.J., and Bastiaans, L. 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. Weed Research. 40: 359-374.

Behdani., M., and Rashed-Mohassel, M.H. 2002. Effective indices on soybean yield and components yield in intercropping. Agricultural Knowledge 12(2): 83-95. (In Persian with English Summary)

Berntsena, J., Hauggard-Nielsen, H., Olesen, J.E., Petersena, B.M., Jensenb, E.S., and Thomsen, A. 2004. Modelling

dry matter production and resource use in intercrops of pea and barley. Field Crops Research 88: 69–83.
Boydston, R.A., and Hang, A. 1995. Rapeseed (*Brassica napus*) Green manure crop suppresses weeds in potato (*Solanum tuberosum*). Weed Technology 9: 669-675.
Carruthers, K., Fe, Q., Cloutier, D., and Smith, D.L. 1992. Intercropping corn with soybean, lupine and forages: weed control by intercrops combined with inter-row cultivation. European Journal of Agronomy 8: 225-238.
Carruthers, K., Prithiviraj, B., Fe, Q., Cloutier, D., Martin, R.C., and Smith, D.L. 2000. Intercropping corn with soybean, lupin and forages: yield component responses. European Journal of Agronomy 12: 103–115.
Connolly, J., Goma, H.C., and Rahim, K. 2001. The information content of indicators in intercropping research. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 191–207.
Ghanbari-Bonjar, A. 2000. Wheat-bean intercropping as alow-input forage. PhD Thesis University of London.
Gliessman, S.R. 1997. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Arbor Press. 357 pp.
Gomez, P., and Gurevitch, J. 1998. Weed responses in a corn – soybean intercrop. Applied Vegetation Science 1(2): 281-288.
Koocheki, A., and Khaje-Hosseini, M. 2008. Modern Agronomy. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. 550 pp. (In Persian)
Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Azimi, R. 2010a. The effect of irrigation intervals and intecropped marjoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus*) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. Journal of Iranian Field Crop Research 11(3): 390-400. (In Persian with English Summary)
Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Borumand-Rezazadeh, Z., and Khorramdel, S. 2010b. Evaluation of nitrogen absorption and use efficiency in relay intercropping of winter wheat and maize. Journal of Iranian Field Crops Research 10(1): 327-334. (In Persian with English Summary)
Liebman, M., and Dyck, E. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. Ecological Application Journal 3: 92-122.
Lososova, Z., Chytry, M., and Kuhn, I. 2008. Plant attributes determining the regional abundance of weeds on central European arable land. Journal of Biogeography 35: 177–187.
Mazaheri, D., Movahedi Dehnavi, M., Bankhsaz, A., Hosseinzadeh, A.H., and Ghannadha, M. R. 2000. The effect of intercropping of corn and bean on weed control. Journal of Research and Construction 13 (2): 47-51. (In Persian with English Summary)
Najibnia, S. 2010. Evaluation of radiation, water and nutrient absorption, use and productivity efficiencies in intercropping of canola, bean and corn. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
Nassiri-Mahallati, M. 2000. Modelling of Crop Growth Processes Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, Iran. (In Persian)
Natarajan, M., and Willey, W.R. 1979. Growth studies in sorghum- pigeon pea intercropping with particular emphasis on canopy development and light interception. Proceeding of the International Workshop on Intercropping. Patancheru p. 180-187.
Parajulee, M.N., Montandon, R., and Slosser, J.E. 1997. Relay intercropping to enhance abundance of insect predators of cotton aphid (*Aphis gossypii* Glover.) in Texas cotton. International Journal of Pest Management 43: 227–232.
Sadrabadi-Haghighi, R. 1998. Evaluation of supplemental irrigation and intercropping of wheat with hairy vetch (*Vicia villosa*) in low input dry land system. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran. (In Persian with English Summary)
Sanjani, S., Hosseini, M.B., Chaichi, M.R., and Rezvan-Beidokhti, S. 2009. Effect of additive intercropping sorghum: cowpea on weed biomass and density in limited irrigation system. Iranian Journal of Field Crops Research 7: 94-85. (In Persian with English Summary)
Sastawa, B.M., Lawan M., and Maina, Y.T. 2004. Management of insect pests of soybean: effects of sowing date and intercropping on damage and grain yield in the Nigerian Sudan savanna. Crop Protection 23: 155–161.
Willey, R.W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agricultural Water Management 17: 215-231.