نشریه پژوهش های کاربردی زراعی
دوره۳۷- شماره ۲- پیاپند ۱۴۳ تابستان ۱۴۰۳

اثر تنوع ژنتیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در کشت مخلوط ارقام

The effect of genetic diversity on wheat yield and yield components in mixed cropping

خیرالله خیرخواه[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲]، سرور خرم دل[۳] و رامین نظریان[۴]

۱. استادیار گروه اگرانومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بغلان- افغانستان و دانشجوی دکتری دانشگاه فردوسی مشهد.
۲. استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نگارنده مسئول).
۳. دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۴. دانشیار گروه اگرانومی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه هرات- افغانستان.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴ - شناسانهٔ برنمود رقمی: 10.22092/aj.2025.362559.1652

چکیده

خیرخواه، خ.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م.، خرم دل، س. نظریان، ر. اثر تنوع ژنتیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در کشت مخلوط ارقام
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۷ - شماره ۲- پیاپند ۱۴۳ تابستان ۱۴۰۳ صفحه: ۸۴-۶۰

به‌منظور ارزیابی اثر تنوع ژنتیکی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در کشت مخلوط، پژوهشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۱۵ تیمار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کشت خالص و مخلوط‌های دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه، چهار رقم گندم حیدری، پیشگام، پیشتاز و فلات بود. نتایج نشان دادکه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم از لحاظ تعداد دانه در سنبله، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت وجود داشت. اثرات متقابل تیمار و سال در مورد صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد بیولوژیک در مخلوط چهارگانه ارقام حیدری، پیشگام، پیشتاز و فلات (۱۲۵۹/۸۱ کیلوگرم درهکتار) مشاهده شد ولی به دلیل شاخص برداشت کمتر، عملکرد دانه در این مخلوط حداکثر نبود. بیشترین عملکرد دانه (۵۳۱۸/۷ کیلوگرم در هکتار) متعلق به مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام، پیشتاز و فلات بود که این افزایش را می توان به بالا بودن شاخص برداشت (۴۱/۷٪) در این مخلوط نسبت داد. افزایش شاخص برداشت به نوبه خود ناشی از بیشتر بودن تعداد دانه در سنبله (۴۹/۱۲ دانه)، وزن هزاردانه (۴۵/۷۰ گرم)، در این مخلوط سه گانه بود. نتایج تجزیه کلاستر تمام صفات مورد مطالعه در این آزمایش در کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم نشان داد که که علیرغم نوسانات مشاهده شده در میان تیمار های آزمایش، بطور کلی تیمارها به سه گروه (خوشه) تقسیم شدند. در گروه اول دو رقم پیشگام و فلات با عملکرد نسبتا پایین در کنار هم قرار گرفتند. گروه دوم شامل کشت خالص و مخلوط های دوگانه ارقام حیدری، پیشگام و فلات بود. و در گروه سوم ترکیبات مختلف کشت مخلوط دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه رقم پیشتاز قرار گرفتند که دارای بیشترین مقدار صفات مورد بررسی بودند. بطورکلی با افزایش تنوع ژنتیکی در مخلوط های دو گانه و سه گانه ارقام گندم مورد بررسی در این تحقیق عملکرد دانه افزایش یافت. این افزایش عملکرد عمدتا ناشی از بیشتر بودن شاخص برداشت بود و اجزای عملکرد بجز وزن هزار دانه بطور معنی داری تحت تاثیر مخلوط ارقام قرار نگرفت. مخلوط چهارگانه این ارقام افزایش عملکرد بیشتری را در مقایسه با مخلوط سه گانه به همراه نداشت که احتمالا به دلیل تشدید رقابت بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق بود.

واژه های کلیدی: تجزیه خوشه ای، شاخص برداشت، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، وزن دانه.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir

مقدمه

عدم رعایت اصول اکولوژیک در تولید محصولات زراعی و نگرش‌های تک‌بعدی با تأکید بر جنبه‌های اقتصادی در کشاورزی منجر به تخریب منابع محیطی و کاهش کارآیی استفاده از منابع شده است. بوم نظام‌های کشاورزی فشرده موجب بروز برخی اثرات جانبی نظیر فرسایش خاک، آلودگی‌های زیست‌محیطی، ظهور علف‌های هرز و آفات مقاوم به مواد شیمیایی شده و پایداری این بوم نظام‌ها را تهدید می‌کند (Koocheki *et al.,* 2011). با ساده‌سازی بوم‌نظام‌های زراعی، انتخاب تناوب‌های زراعی نامناسب و تداوم تک کشتی، مصرف علفکش‌ها و آفت‌کش‌های شیمیایی جهت کنترل آفات و علف‌های هرز، تنوع ژنتیکی کاهش یافته و آلودگی‌های زیست محیطی تشدید می‌شود. اگرچه اطلاعات موجود در مورد اثر متقابل بین تنوع و کارکردهای بوم نظام‌های زراعی اندک است، ولی توافق عمومی براین است که افزایش تنوع، پیچیدگی ذاتی بوم نظام‌های زراعی را افزایش می‌دهد و از این طریق، فرآیندهای آن را تقویت می‌کند. یکی از راه‌های افزایش تنوع در بوم نظام‌های زراعی، استفاده از انواع چندکشتی ازجمله کشت مخلوط است (Mclaughlin, 1996). در کشت‌های مخلوط با ایجاد تنوع گونه ای، مکان و آشیانه‌های موجود در محیط، توسط گونه‌های مفید اشغال می‌شود و علف‌های هرز و گونه‌های مهاجم اجازه حضور نمی‌یابند (Koocheki *et al*., 2004). البته علیرغم تایید مزایای بیشمار مخلوط‌های دو یا چند گونه ای به دلیل مشکلات فنی و عملی، مدیریت این مخلوط‌ها در زمین‌های زراعی نسبتا دشوار است. افزایش تنوع ژنتیکی از طریق مخلوط کردن ارقام یک گونه زراعی راهکار دیگری است که مشکل عملیات زراعی در مخلوط های چند گونه ای را ندارد. طی یک دهه گذشته مطالعه ابعاد اکولوژیکی مخلوط ارقام و تاثیر آنها بر چندکارکردی کردن بوم نظام و افزایش خدمات اکوسیستمی مورد توجه محققین قرار گرفته و در نتیجه نقش سازنده آنها با دیدگاهی جدید برجسته شده است (Lazzaro *et al*., 2017; Barot *et al*., 2017; Kong, *et al*., 2023; Fletcher, *et al.,* 2019). افزایش تنوع ژنتیکی از طریق کشت مخلوط ارقام موجب می‌شود که ژنوتیپ‌های مختلف با دارا بودن خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی ویژه بتوانند بهره‌برداری بهتر از محیط و منابع مانند آب، مواد غذایی و نور به عمل‌آورند (Faizabadi & Emamwardian, 2012). این شرایط موجب ارتقاء میزان تولید و ثبات عملکرد گونه‌های زراعی (از جمله گندم) خواهد شد. (Lorenzetti *et al*., 2022; Kong *et al*., 2023; Barot *et al*., 2017)

علیرغم نقش مؤثر سیستم‌های کشت مخلوط در افزایش تنوع ژنتیکی نظام‌های زراعی، توجه به این نوع الگوی کشت در نظام‌های زراعی ایران نسبتا محدود است. باوجود تعداد واریته های زیاد گندم، ۸۴ درصد سطح زیر کشت گندم کشور ایران تنها به ۱۰ واریته اختصاص داشته که این واقعیت تنوع ژنتیکی کم و آسیب‌پذیری بالای این نظام‌های تولیدی را بیشتر نشان می‌دهد(Rizvani Moghaddam *et al*., 2015).

در تحقیقی بررسی تنوع ژنتیکی ارقام گندم نشان دادکه عملکرد مخلوط ارقام نسبت به کشت خالص آن‌ها برتری داشت (Baumann *et al*., 2001). همچنین در بررسی کشت مخلوط ارقام گندم، بیشترین عملکرد دانه در مخلوط دو رقم و کمترین آن در مخلوط پنج رقم مشاهده شد (Khazaei *et al*., 2010). در مطالعه دیگر،کشت مخلوط ارقام گندم باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری مصرف آب شد (Khairkhwah *et al*., 2023). براین اساس به نظر می رسد که عملکرد کشت مخلوط ارقام گندم برکشت خالص یک رقم برتری داشته ولی با توجه به افزایش رقابت درون‌گونه‌ای باید از اختلاط بیش از دو تا سه رقم خودداری شود. مطالعات افزایش تنوع ژنتیکی ارقام گندم از طریق کشت مخلوط آنها بیانگر افزایش میزان عملکرد دانه درکشت مخلوط ارقام نسبت به کشت خالص هر یک از رقم‌ها بود (Faizabadi & Emamwardian, 2012; Afzali, 2014). هدف از تحقیق حاضر ارزیابی اثرافزایش تنوع ژنتیکی ارقام گندم ازطریق کشت ترکیبی آنها بر عملکرد و اجزای عملکرد درکشت مخلوط ارقام مختلف گندم رایج در کشور بود.

مواد و روش ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ده کیلومتری شرق مشهد (با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۱۵ تیمار و سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ اجرا گردید. تیمارها شامل کشت خالص و مخلوط‌های دوتایی، سه‌تایی و چهارتایی، چهار رقم گندم فلات، پیشگام، پیشتاز و حیدری بود. ارقام فوق از نظر تاریخ آزادسازی متفاوت بوده و به ترتیب در دهه‌های ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ به کشاورزان معرفی‌شده اند. همچنین همه آنها در گروه رسیدگی تقریبا مشابهی قرار داشته ولی از لحاظ خصوصیات رشدی با هم متفاوت می باشند. دراین آزمایش ارقام مخلوط به‌صورت سری جایگزینی کشت گردیدند.

عملیات آماده‌سازی بستر بذر در اوایل پاییز آغاز و کاشت در نیمه اول آبان به صورت خشکه-کاری انجام شد. براساس نتایج آزمایش خاک (جدول ۱)، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر سوپر فسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم قبل از کاشت با خاک مخلوط و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (یک‌سوم هنگام کاشت، یک‌سوم دیگر هنگام پنجه زدن و قسمت سوم هنگام سنبله رفتن) استفاده گردید. مقدار بذر مصرفی ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار برای کشت خالص و مخلوط در نظر گرفته شد. از آنجا که آزمایش طی دو سال در دو زمین جداگانه انجام شد، در سال دوم به دلیل بالا بودن مقدار پتاسیم در خاک مقدار کود مصرفی سولفات پتاسیم به یک چهارم تقلیل یافت. ابعاد هر کرت ۲ در ۴ متر با هشت ردیف کاشت، فاصله بین ردیف‌های ۲۵ سانتیمتر و فاصله بین کرت ها یک و نیم متر منظور گردید. کرت های خالص شامل هشت ردیف از هر

رقم ، کرت های مخلوط دوگانه (چهار ردیف از هر رقم)، کرت های مخلوط سه گانه شامل (سه ردیف + دو ردیف + سه ردیف از هر رقم) و کرت های مخلوط چهار گانه (دو ردیف از هر رقم) بصورت مخلوط ردیفی کشت شدند. بذر های گندم بعد از ضد عفونی با قارچکش ویتاواکس به نسبت دو در هزار بصورت دستی کشت گردید و بلافاصله نسبت به آبیاری اقدام شد. میزان آب مصرف‌شده در کرت‌ها برحسب مترمکعب با استفاده از کنتور در طی دوره رشد اندازه‌گیری گردید. در سال اول، مقدار آب بارندگی ۲۷۶۹ متر مکعب برهکتار و میزان آب آبیاری ۲۶۱۶ متر مکعب برهکتار و مجموع آب مصرفی ۵۳۸۵ مترمکعب آب در هکتار و در سال دوم، مقدار بارندگی ۸۷۴ مترمکعب برهکتار و میزان آب آبیاری ۴۲۵۳ مترمکعب در هکتار و مجموع آب در دسترس گیاه ۵۱۲۷ متر مکعب آب بود. پراکندگی مقدار بارندگی و درجه حرات ماهانه در طی دوسال آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.

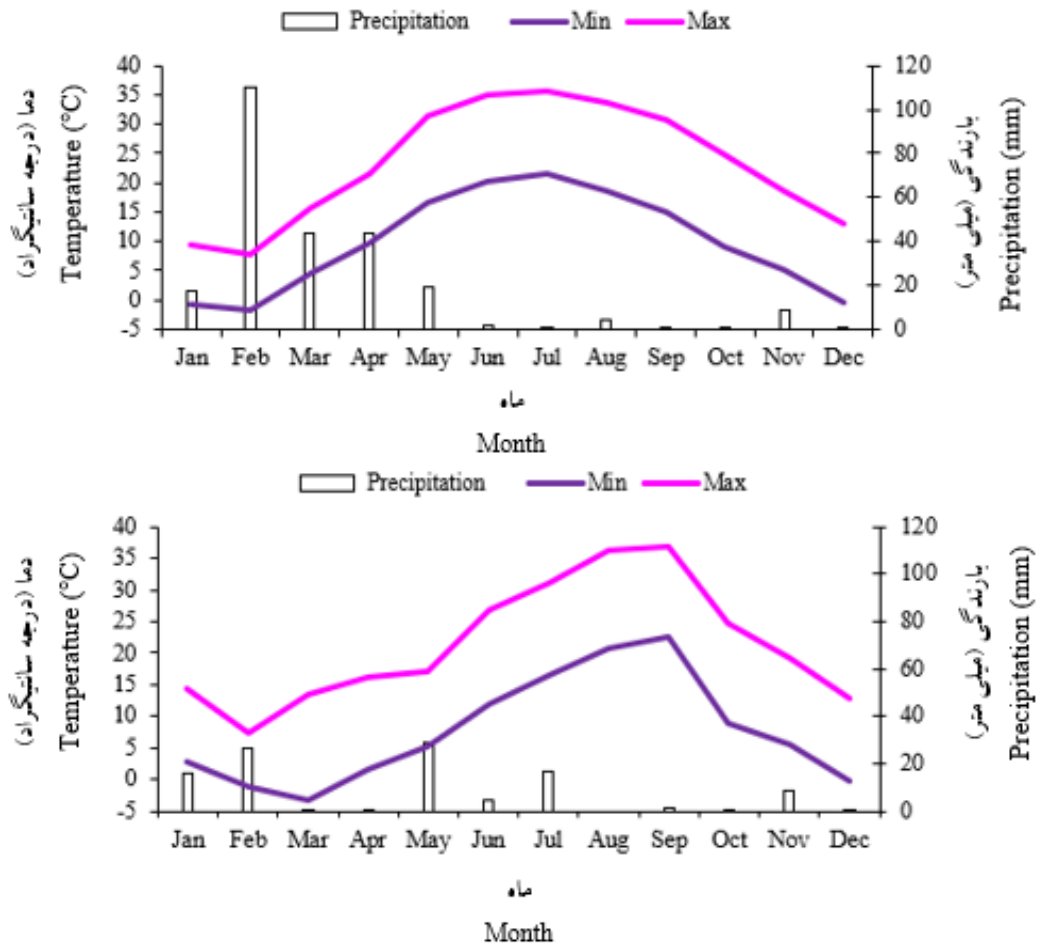
مقدار بارش از طریق مرکز هوا شناسی خراسان رضوی بدست آمد، لازم به ذکر است که ۷۵ درصد بارش سالانه بعنوان بارندگی موثر در نظر گرفته شد. در طول فصل رشد شیوع بیماری و آفت خاص در مزرعه مشاهده نشد ولی در مرحله پنجه زنی جهت جلوگیری از خسارت علف های هرز بر عملکرد، کرت ها بصورت دستی وجین شدند.

در زمان رسیدگی اقتصادی، بعد از حذف اثر حاشیه برداشت از یک متر مربع (۰/۵× ۲متر) باقیمانده صورت گرفت. لازم به ذکر است که

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک زمین آزمایش در دو سال اجرای آزمایش

Table 1. Soil physical and chemical properties at the experimental field during the two cropping seasons

سال Year	هدایت الکتریکی EC(dS m^{-1})	اسیدیته pH	پتاسیم K (mg/kg)	فسفر P (mg/kg)	نیتروژن Total N %	کربن آلی Organic carbon %	ماده آلی Organic matter %	بافت Texture
2019-2020	1.39	7.84	104.07	16.77	0.059	0.62	0.95	سیلتی لومی Silty loam
2020-2021	0.79	7.88	715.4	19.25	0.064	0.64	1.09	سیلتی لومی Silty loam



شکل ۱- حداقل و حد اکثر دما و مقدار بارندگی ماهانه. (a): در سال۱۳۹۹- ۱۳۹۸ (b): در سال ۱۴۰۰- ۱۳۹۹

Fig. 1. Minimum and maximum temperatures and monthly rainfall in (a): 2019-2020, (b): 2020-2021

نسبت ارقام کشت شده در مساحت نمونه‌برداری یک متر مربع برای تیمارهای کشت خالص، مخلوط دوگانه و چهارگانه برابر بود (زیرا تعداد ردیف های برداشت شده از هر کرت برای هر رقم باهم مساوی بودند). جهت رعایت نسبت فوق در مساحت نمونه برداری در مخلوط سه‌گانه از هر رقم (حیدری، پیشگام و پیشتاز) دو ردیف انتخاب شد و داده های آن که بیانگر ۷۵ درصد یک کرت نسبت به تیمارهای کشت خالص، مخلوط دوگانه و چهارگانه بود، ثبت گردید. سپس جهت یکسان سازی با کرت های تیمارهای دیگر اعداد حاصل در ضریب تبدیل (۱/۳۳) ضرب شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد آون به مدت ۷۲ ساعت، دانهها از سنبله جدا گردید و عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک کل اندازهگیری گردید.

داده های دو سال آزمایش به‌صورت مرکب آنالیز واریانس شد. به این منظور ابتدا واریانس خطای آزمایش در هر سال برای هر صفت تعیین شد و پس از اجرای آزمون بارتلت و اطمینان از همگنی واریانس خطای دو سال، تجزیه مرکب اجرا گردید. کلیه آنالیزهای آماری با نرم‌افزار Minitab ver. 20.0 و رسم نمودارها با استفاده

از نرم‌افزار Excel انجام شد. همچنین از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) جهت مقایسه میانگین ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

اجزای عملکرد

تعداد سنبله بارور درمترمربع و تعداد سنبلچه در سنبله

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب نشان داد که از نظر تعداد سنبله بارور در متر مربع و تعداد سنبلچه در سنبله میان تیمار های مورد آزمایش درکشت ارقام گندم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P> ۰,۰۱). همچنین اثرات متقابل بین سال و تیمارهای مورد آزمایش نیز معنی‌دار نبود (جدول ۲). با این وجود بیشترین تعداد سنبله در مترمربع متعلق به کشت مخلوط دوگانه‌ی ارقام پیشگام و فلات (بامیانگین ۳۶۲/۷ سنبله در مترمربع) و کمترین آن متعلق به کشت خالص رقم پیشگام (۲۷۶/۷ سنبله در مترمربع) بود. همچنین بیشترین تعداد سنبلچه در سنبله مربوط به کشت مخلوط سه‌گانه پیشگام همراه با پیشتاز و فلات (۱۸/۱۱) و کمترین آن در مخلوط پیشگام و فلات (۱۵/۴۴) مشاهده شد (جدول ۳).

باوجود عدم اختلاف معنی‌دار در تعداد سنبله بارور و سنبلچه در سنبله بین تیمارها، مشاهده شد که افزایش تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط دو تا سه رقم بدلیل استفاده بهتر از منابع نور بخصوص نیتروژن وآب (Khairkhwah *et al.*, 2023) ، باعث بهبود اجزای عملکرد نسبت به کشت خالص هر رقم شد. همچنین افزایش تنوع ژنتیکی ارقام مختلف در کشت مخلوط با خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت از جمله پنجه زنی عامل دیگری در افزایش تعداد سنبله بارور در تیمار های مخلوط بود.

بعلاوه تعداد سنبلچه در سنبله در مخلوط های سه گانه ارقام بیشتر از کشت خالص آنها بود. شواهد آزمایشی نشان می دهد که تعداد سنبلچه در سنبله یکی از اجزای موثر در مقدار عملکرد گندم می‌باشد (Lazzaro *et al.*, 2017). در همین ارتباط نتایج مطالعه ای بر روی کشت مخلوط ارقام عدس (Lorenzetti *et al.*, 2022) نشان داد که اگر چه اجزای عملکرد بطور معنی داری تحت تاثیر مخلوط ارقام قرار نگرفتند ولی تجمیع افزایش نسبتا اندک این اجزاء در نهایت باعث افزایش عملکرد در مخلوط ها شد. بنابراین توجه به افزایش اندک اجزای عملکرد بنوبه خود حائز اهمیت است.

در ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام گندم در الگوهای متفاوت کشت گزارش شد که بیشترین تعداد سنبله مربوط به کشت مخلوط ارقام با ۵۱۸ سنبله در مترمربع و کمترین آن درکشت خالص بود (Esmi *et al.*, 2011). همچنین در بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گندم در الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی ملاحظه شد که بیشترین و کمترین تعداد سنبله به ترتیب با (۵۸۹ و ۳۰۰ سنبله در مترمربع) در تیمارهای مخلوط ۷۵ درصد رقم فلات هراه با ۱۲۵ درصد رقم اروم و ۱۲۵ درصد رقم فلات همراه با ۷۵ درصد رقم اروم حاصل گردید (Rizvani Moghaddam *et al.*, 2015). بعلاوه در ارزیابی رقابت درون‌گونه‌ای تنوع ژنتیکی ارقام گندم

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) برای ارزیابی تاثیر تیمارهای آزمایش بر اجزای عملکرد و عملکرد گندم طی دو سال آزمایش

Table 2. Combined variance analysis (mean squares) for the evaluation of the effect of the treatments on yield and yield components of wheat over the years of the experiment

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد سنبله در مترمربع No. of spike/m^2	تعداد سنبلچه در سنبله No. of spikelet/ spike	تعداد دانه در سنبله No. of grain/spike	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year	1	277222**	225.509**	129.26 ns	484.13**	636048 ns	4929912 ns	254.25**
تکرار در سال Replication (year)	4	7472	14.159	235.21	69.9	4343076	15290103	79.08
تیمار Treatment	14	3128 ns	4.069 ns	94.55*	364.8**	1815993*	8760115**	393.5*
سال * تیمار Year x Treatment	14	2790 ns	2.772 ns	25.68 ns	23.05*	84999.5*	3117942 ns	39.37*
خطا Error	56	3389	2.464	49.77	10.28	41946.1	1889152	20.42
CV (%) ضریب اختلاف		18.05	9.23	16.54	8.23	16.19	12.29	12.05

* و **: به ترتیب نشانگر معنی دار بودن در سطوح پنج و یک درصد و ns عدم وجود اختلاف معنی دار می‌باشد.

ns, * and **: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

گزارش شد که تیمار مخلوط دوگانه فلات و پیشتاز و مخلوط سه‌گانه فلات همراه با پیشتاز و شیراز دارای بیشترین تعداد سنبله بارور نسبت به کشت خالص هریک این ارقام بود (Khazaei *et al.*, 2019). البته در برخی تحقیقات نیز عدم برتری مخلوط ارقام گزارش شده است برای مثال در مطالعه تأثیر تنوع ژنتیکی ارقام برخصوصیات زراعی وعملکرد گندم مشاهده شد که بیشترین تعداد سنبله بارور در متر مربع مربوط به تیمار خالص پیشتاز (با ۴۸۸/۸ سنبله در مترمربع) و کمترین آن مربوط به تیمار مخلوط پنج رقم فلات، شیراز، پیشتاز، توس و قدس (با ۳۱۰ سنبله در مترمربع) بود (Faizabadi *et al.*, 2012).

جدول ۳- مقایسه میانگین اجزای عملکرد در کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم طی دو سال آزمایش.

Table 3. Mean comparison for yield components in pure and row intercropping of wheat cultivars during two years of the experiment.

تیمارها Treatments	تعداد سنبله بارور در مترمربع No. of spike/m^2	تعداد سنبلچه در سنبله No. of spiklet/ spike	تعداد دانه در سنبله No. of grain/spike	وزن هزار دانه (گرم) سال اول 1000-seed weight (g) in the first year	وزن هزار دانه (گرم) سال دوم 1000- seed weight (g) in the second year
Hy	349.0	17.1	43.5	36.5	34.6
Pm	276.7	16.7	40.5	40.1	36.7
Pz	318.3	16.2	37.8	38.4	34.4
Ft	309.8	16.4	37.3	37.9	35.1
Hy+Pm	334.3	18.0	48.7	36.8	34.2
Hy+Pz	317.8	17.9	39.3	41.1	42.0
Hy+Ft	303.2	17.1	39.8	35.9	31.9
Pm+Pz	286.8	15.6	41.4	38.1	35.9
Pm+Ft	362.7	15.4	38.7	42.9	42.7
Pz+Ft	318.7	16.8	46.4	45.0	35.1
Hy+Pm+Pz	323.2	16.9	41.3	37.7	36.8
Hy+Pm+Ft	325.8	17.7	46.7	36.5	33.5
Hy+Pz+Ft	348.3	17.6	44.5	36.4	33.2
Pm+Pz+Ft	325.8	18.1	49.1	43.8	45.7
Hy+Pm+Pz+Ft	336.3	17.5	44.6	36.6	32.3
$LSD_{5\%}$	NS	NS	3.31	3.14	4.23

Pz : رقم پیشتاز، m : رقم پیشگام، Hy : رقم حیدری و Ft : رقم فلات.

Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat).

تعداد دانه در سنبله

نتایج بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار تعداد دانه در سنبله درتیمارهای مختلف آزمایش، کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم بود ($P<0.05$) اما اثر متقابل سال و تیمارهای مورد آزمایش معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسات میانگین تعداد دانه در سنبله تیمارهای مختلف نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به کشت مخلوط سه‌گانه پیشگام همراه با پیشتاز و فلات (با ۴۹/۱۲ دانه در سنبله) و کمترین آن مربوط به کشت خالص فلات (با ۳۷/۳۲ دانه در سنبله) بود. همچنین کشت مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام ، پیشتاز و فلات، نسبت به کشت خالص هر رقم به ترتیب (۱۷/۳۷، ۲۳ ۲۴ درصد)، نسبت به کشت مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز

و فلات برابر با ۶ درصد و نسبت به مخلوط چهارگانه ارقام برابر با ۹ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۳).

یکی دیگر از اجزای موثر در مقدار تولید تعداد دانه در سنبله است. عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی در تعداد دانه در سنبله موثر می‌باشد. با افزایش سرعت فتوسنتز در اثر بهبود در جذب مواد غذایی و گرده افشانی تعداد دانه در سنبله افزایش می‌یابد (Faizabadi *et al.*, 2012). هرچه رقابت بین گونه ای بین گیاهان کمتر باشد تعداد دانه در سنبله بهبود خواهد یافت (Khazaei *et al.*, 2019). همچنین به نظر می‌رسد که برتری تعداد دانه در سنبله با افزایش تنوع ژنتیکی ارقام در مخلوط ردیفی سه‌گانه ارقام پیشگام همراه با پیشتاز و فلات بدلیل افزایش کارایی استفاده از منابع باشد (Khairkhwah *et al.*, 2023). علاوه براین، شرایط محیطی نیز در تشکیل و پرشدن دانه‌ها در سنبله دارای نقش بسزایی می‌باشد. از آنجاکه با افزایش دما به بیشتر از۲۳ درجه سانتیگراد در زمان گرده افشانی و تشکیل دانه از تعداد دانه در سنبله کاسته خواهد شد (Khan *et al.*, 2012) لذا به نظر می‌رسد که افزایش دما در بهار طی دو سال انجام آزمایش و بویژه در سال اول عامل موثری بر کاهش عملکرد از طریق تاثیر آن بر گرده افشانی و تشکیل دانه بوده است (شکل ۱).

در مطالعه تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط آبیاری کامل و تنش کم‌آبی گزارش شد که بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار کشت مخلوط چهار ژنوتیپ بهرنگ + DW-92-4 + شبرنگ DW-94-14+با میانگین ۶۰/۷ در شرایط آبیاری کامل و کمترین تعداد دانه در سنبله در تیمار کشت خالص بهرنگ با میانگین ۲۵/۱ حاصل شد (Mirdoraghi *et al.*, 2020). همچنین در پژوهشی بر روی تنوع ژنتیکی ارقام گندم در الگوهای متفاوت کشت بیشترین تعداد دانه در سنبله در تیمار کشت مخلوط دو رقم پابلند و پاکوتاه گندم گزارش شد (Esmi, 2011). بعلاوه در بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد دو رقم گندم در الگوهای مختلف کشت مخلوط ردیفی مشاهده شد که حداکثر و حداقل تعداد دانه در سنبله در تیمارهای کشت مخلوط افزایشی ۱۲۵ درصد رقم فلات + ۲۵ درصد رقم اروم و کشت ۷۵ درصد رقم فلات + ۱۲۵ درصد رقم اروم با میانگین ۴۵ و ۲۸ عدد دانه در سنبله حاصل شد (Rezvani Moqadam *et al.*, 2015). محققین در آزمایش تأثیر تنوع ژنتیکی ارقام بر خصوصیات زراعی و عملکرد گندم بیان داشتند که بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به کشت خالص رقم توس با ۴۴/۵ دانه در سنبله و کمترین آن مربوط به کشت مخلوط پنج رقم فلات، شیراز، پیشتاز، قدس وتوس با ۳ دانه در سنبله بود. بعلاوه تیمار مخلوط فلات و شیراز که بیشترین عملکرد اقتصادی دانه را بعد از رقم توس داشت از تعداد دانه بیشتری در سنبلچه برخوردار بود (Faizabadi *el al.*, 2012). نتایج مطالعات محققین دیگر نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله درکشت مخلوط رقم کراس البرز همراه با آذر و رقم پیشتاز همراه با آذر و کمترین تعداد دانه در سنبله درکشت خالص رقم GEN BANK ۱۴ و مخلوط رقم البرز با سرداری در شرایط دیم و آبیاری حاصل شد (Cowger *et*

al., 2008). به‌طور کلی، تعداد دانه در سنبله بسته به شرایط محیط متفاوت می‌باشد (Lightfoot *et al*., 1987). همچنین بالا بودن تعداد دانه در خوشه ناشی از رقابت و میزان فتوسنتز در گیاه است (Calavan, 1988). نتایج این پژوهش نیز در راستای تحقیقات فوق بوده بطوریکه ملاحظه شد بیشترین تعداد دانه در سنبله از کشت مخلوط سه‌گانه ارقام گندم حاصل شد.

وزن هزار دانه

در مقایسه تیمارهای کشت ردیفی خالص و مخلوط ارقام گندم از لحاظ وزن هزاردانه تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P<0.01$). همچنین اثر متقابل سال و تیمارهای تحت آزمایش نیزمعنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسات میانگین وزن هزار دانه تیمارهای مختلف کشت ردیفی خالص و مخلوط ارقام گندم درسال اول نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه متعلق به کشت مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و فلات (با ۴۵ گرم) وکمترین آن متعلق به کشت خالص رقم حیدری (با ۳۸/۴ گرم) بود(جدول ۳). همچنین وزن هزار دانه مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و فلات نسبت به کشت خالص هر رقم به ترتیب ۵/۵ و ۹/۳ درصد نسبت به کشت مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام، پیشتاز و فلات مشاهده شدکه بیشترین وزن هزار دانه را در میان تیمارهای مخلوط سه‌گانه داشت که ۶/۶ درصد و نسبت به مخلوط چهارگانه ارقام ۹/۳ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳).

درسال دوم، در میان تیمارهای تحت آزمایش بیشترین مقدار وزن هزار دانه متعلق به کشت مخلوط ردیفی سه‌گانه ارقام پیشگام ، پیشتاز و فلات (با ۴۵/۷۰ گرم) و کمترین آن متعلق به مخلوط دوگانه حیدری و فلات (با ۳۱/۹ گرم) بود (جدول ۳). همچنین وزن هزار دانه مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام، پیشتاز و فلات نسبت به وزن هزار دانه کشت خالص هر رقم (به ترتیب ۱۹/۷، ۲۴/۶ و۲۳/۲ درصد)، نسبت به مخلوط دوگانه ارقام پیشگام و فلات که بیشترین وزن هزار دانه را در میان تیمارهای دوگانه داشت برابر با ۶/۴ درصد و نسبت به عملکرد مخلوط چهارگانه ارقام برابر با ۲۹/۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). از جمله دلایل اختلاف بین داده‌های دو سال آزمایش می‌توان به تغییرات میزان بارندگی و درجه حرارت در فصل بهار اشاره نمود که این امر به ویژه در گرده افشانی و پرشدن دانه گندم نیز تاثیر نا مطلوب داشت (شکل ۱) و قبلا نیز در مورد سایر اجزای عملکرد به اهمیت آن اشاره شد.

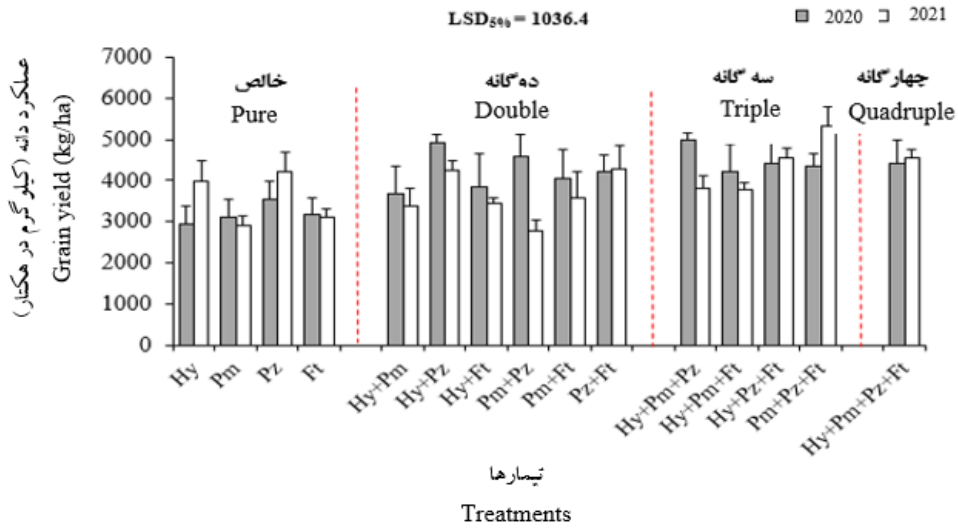
در ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام گندم در الگوهای متفاوت کشت بیشترین وزن هزاردانه (۵۰/۲گرم) در تیمار مخلوط دو رقم متوسط و پابلند گندم گزارش شد (Esmi *et al*., 2011). مطالعه تنوع ژنتیکی ارقام گندم دوروم در شرایط تنش کم‌آبی نشان داد که وزن هزاردانه در کشت‌های خالص با (۴۳/۳ گرم) تحت شرایط آبیاری مطلوب نسبت به کشت‌های مخلوط دوتایی (۴۲/۶ گرم) و چهارتایی (۳۶/۶ گرم) بیشتر بود. اما در شرایط تنش کم‌آبی کشت‌های مخلوط دوتایی (با ۳۶/۵ گرم) نسبت به دیگر تیمارها وزن هزاردانه بیشتری تولید نمودند (Mirdoraghi *et al*., 2020). بر

این اساس به نظر می‌رسد که ارقام مختلف با حساسیت‌های مختلفی با شرایط محیطی روبه‌رو میشوند و ترکیب ارقام یا افزایش تنوع ژنتیکی میتواند اثر عوامل محیطی را بر بهبود عملکرد اقتصادی تعدیل نماید. همچنین در بررسی تنوع ژنتیکی ارقام گندم گزارش شد که عملکرد کشت مخلوط ارقام بیشتر از عملکرد هر یک از ارقام به‌تنهایی بود (Swanston *et al*., 2005). به عنوان یک قاعده کلی، ژنو تیپ‌هایی که دارای وزن هزاردانه بیشتری باشند عملکرد بیشتری را تولید میکنند (Cowmer *et al*., 2016). وزن هزاردانه نشان‌دهنده‌ای توانایی گیاه برای توزیع و تقسیم مواد فتوسنتزی به دانه است. علاوه بر این وزن هزار دانه یک صفت ژنتیکی بوده که در ارقام مختلف متفاوت می‌باشد، البته مقدار آن میتواند متأثر از شرایط محیطی دوران رسیدگی باشد (Saber *et al*., 2011).

نتایج این پژوهش نیز در راستای تحقیقات فوق قرارداشت، به‌طوری‌که وزن هزاردانه تیمارهای کشت مخلوط ارقام گندم نسبت به کشت خالص بیشتر بود. ازدیاد وزن هزاردانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و همچنین عملکرد بیشتر در واحد سطح از طریق کشت مخلوط ارقام به دلیل استفاده مطلوبتر از عوامل محیطی(نور، عناصر غذایی و آب) می‌باشد، به طوری که اجزای مخلوط قادرند در کمترین زمان تمام نیچ‌های ممکن را بطور کامل اشغال کنند. آنها عناصر غذایی و آب را از اعماق مختلف خاک جذب می کنند و از تشعشع رسیده به طور موثرتری استفاده می‌کنندکه این امر بهبود وزن هزاردانه را در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص به دنبال خواهد داشت (Fletcher *et al*., 2019; Barot *et al*., 2017).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه تحت تاثیر تیمارهای آزمایش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم وجود داشت ($P<0.01$). همچنین اثر متقابل سال و تیمارهای تحت آزمایش نیز معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین عملکرد دانه در تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط ارقام گندم درسال اول نشان داد که بیشترین عملکرد دانه متعلق به مخلوط سه‌گانه ارقام حیدری، پیشگام و پیشتاز (با ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) وکمترین آن متعلق به رقم خالص حیدری (با ۲۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. ولی درسال دوم آزمایش، بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام، پیشتاز و فلات (با ۵۳۱۸/۷ کیلوگرم در هکتار) و کشت خالص پیشگام (با ۲۹۱۶/۷ کیلوگرم در هکتار) اختصاص داشت (شکل ۲). همچنین عملکرد دانه مخلوط سه‌گانه ارقام پیشگام، پیشتاز و فلات نسبت به عملکرد کشت خالص هر رقم (به ترتیب ۴۵/۱۶، ۲۰/۷۱ و۴۱/۴ درصد)، نسبت به عملکرد مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و فلات با بیشترین عملکرد دانه در میان تیمارهای دوگانه برابر با ۱۹/۴۸ درصد و نسبت به عملکرد مخلوط چهارگانه ارقام برابر با ۱۴/۳ درصد افزایش نشان داد. از دلایل اختلاف عملکرد دانه بین دوسال اجرائی آزمایش می‌توان به تغییرات میزان بارندگی و درجه حرارت به‌ویژه در فصل بهار



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه درکشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم. Pz: پیشتاز، Pm : پیشگام، Hy: حیدری و Ft : فلات. داده ها میانگین دوسال بوده و نوار خطا نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشد.

Fig 2. Mean compersion for grain yield in pure and row intercropping of wheat cultivars. Pz (Pishtaz), Pm Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat). Vertical bars show standard error of means.

و تاثیر این تفاوت آب هوایی بر اجزای عملکرد اشاره نمود (شکل ۱) که قبلا در زمینه بحث شد. در بررسی اثر تنوع ژنتیکی و مصرف کودهای نیتروژن‌دار بر رقابت علف‌های هرز در سامانه زراعی گندم گزارش شده است که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کشت مخلوط شیرودی و لاین ۹۱-۱۵ با ۵/۰۸ تن در هکتار و کمترین عملکرد دانه مربوط به تیمار کشت خالص لاین ۱۵-۹۱ با ۳/۴۱ تن در هکتار بود (Afzali *et al*., 2014). افزایش عملکرد به‌عنوان یکی از مزیت‌های کشت مخلوط در بسیاری از منابع علمی ذکرشده است. در مطالعه تنوع ژنتیکی دو رقم هیبرید ذرت مشاهده شد که میزان عملکرد دانه درکشت مخلوط دو رقم بیشتر از کشت خالص هریک از ارقام بود (Oveysi ,2005). شواهد آزمایشی نشان داده که سیستم‌های کشت خالص غلات به دلیل تشدید رقابت درون گونه‌ای معمولا منجر به کاهش عملکرد می‌شود (Weston *et al*., 2002). بنابراین کاشت ارقام گیاهان به‌صورت مخلوط میتواند موجب افزایش عملکرد گردد. بسیاری از پژوهشگران موفقیت سیستم‌های کشت مخلوط همراه با بهبود تنوع ژنتیکی درافزایش عملکرد را به وجود اختلاف ارتفاع دراجزای مخلوط نسبت داده‌اند. (Rezae & Taj bakhsh, 2000)

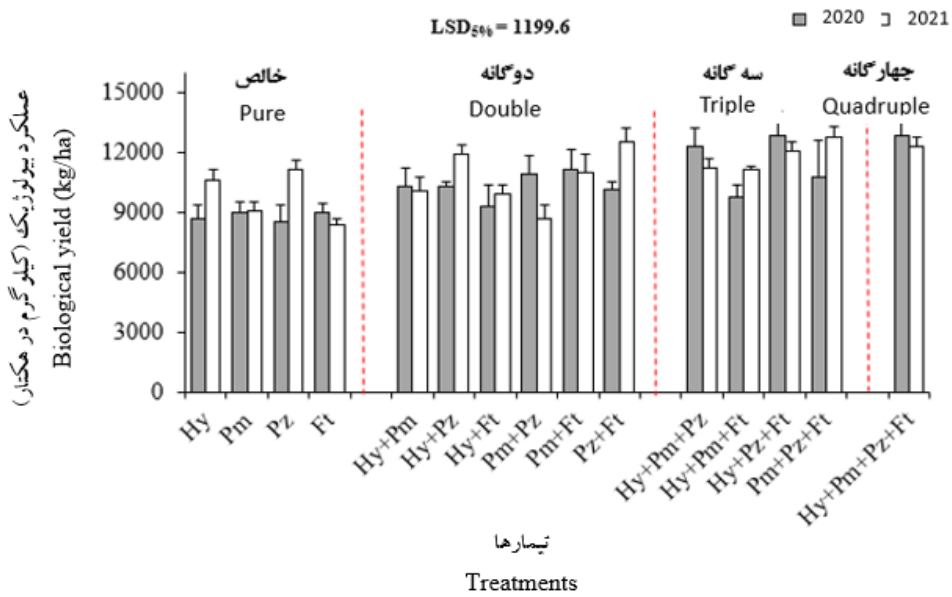
تنوع ژنتیکی ارقام سویا یک کانوپی موج‌دار و چندلایه از ردیف‌های بلند و کوتاه گیاهان زراعی را در مقایسه با کشت خالص ارقام ایجاد میکند که این ساختار پتانسیل بالاتری برای دریافت نور و افزایش تولید دارد. بنابراین انتظار می‌رود ترکیب مخلوط ارقام گیاهان زراعی کاهش عملکرد را به حداقل برساند و به‌عنوان یک گزینه مهم برای ثبات عملکرد به کار رود (Biabani *et al*., 2008). در ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام گندم در الگوهای متفاوت کشت ملاحظه

گردید که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در کشت مخلوط دو رقم گندم پاکوتاه و پابلند با ۵۴۳/۴ گرم در مترمربع و تیمار کشت خالص رقم‌های متوسط و خالص پابلند حاصل شد (Esmi *et al*., 2011). همچنین با افزایش تنوع ژنتیکی و کشت مخلوط ارقام گندم کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری مصرف آب افزایش یافت و باعث بهبود عملکرد نسبت به کشت خالص ارقام گردید (Khairkhwah *et al*., 2023). مطالعات بررسی تأثیر تنوع ژنتیکی ارقام بر خصوصیات زراعی و عملکرد گندم نشان داد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمارکشت مخلوط دو رقم فلات و پیشتاز (با ۵۴۲۵ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از تیمار کشت خالص رقم شیراز (با ۲۳۰۷ کیلوگرم در هکتار) بود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به‌جز تیمار مخلوط پنج رقم، تمامی تیمارهای کشت مخلوط ارقام دارای عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با تیمارهای خالص ارقام بودند. البته علت کاهش عملکرد دانه در تیمار مخلوط پنج رقم را می‌توان به وجود رقابت درون‌گونه‌ای در بین این ارقام نسبت داد. هرچند اگر ارقام مورداستفاده درکشت مخلوط بر اساس اصول صحیحی انتخاب نشوند، رقابت درون‌گونه‌ای باعث کاهش عملکرد میشود. نتایج این آزمایش نیز با تحقیقات پژوهشگران فوق همسو بوده بطوریکه عملکرد دانه تیمارهای کشت مخلوط ارقام گندم نسبت به تیمارهای کشت خالص بیشتر بود.

عملکرد بیولوژیک

نتایج بیانگر وجود اختلاف معنی‌داری میان تیمارهای کشت مخلوط و خالص ردیفی ارقام گندم در عملکرد بیولوژیک بود ($P<0.01$). اما تفاوت معنی‌داری بین اثر متقابل سال و تیمار مشاهده نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک متعلق به مخلوط چهارگانه ارقام حیدری، پیشگام، پیشتاز و فلات (با ۱۲۵۹۱/۸ کیلوگرم درهکتار) وکمترین آن متعلق به رقم خالص فلات (با ۸۶۸۵ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۳). همچنین عملکرد بیولوژیک مخلوط چهارگانه ردیفی نسبت به کشت خالص ارقام (به ترتیب ۲۳/۵، ۲۸/۳، ۲۱/۷ و ۳۰/۰۲ درصد)، نسبت به کشت مخلوط دوگانه ارقام پیشتاز و فلات با بیشترین عملکرد بیولوژیک درمیان تیمارهای مخلوط دوگانه (۹/۸۶ درصد) و نسبت به مخلوط سه‌گانه ارقام حیدری، پیشتاز و فلات با بیشترین عملکرد بیولوژیک در میان تیمارهای سه‌گانه (۱/۱۷ درصد) افزایش عملکرد بیولوژیک را نشان داد (شکل ۳).

عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیک نیز با افزایش تنوع ژنتیکی در کشت مخلوط ردیفی ارقام گندم بدلیل استفاده بهینه از منابع، افزایش ارتفاع و رشد رویشی گیاهان بهبود یافت. عملکرد کاه و عملکرد بیولوژیک با عملکرد دانه رابطه عکس داشت بطوریکه در کشت مخلوط ردیفی چهارگانه مقدار آن به حداکثر رسید. بطور کلی اثر تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط ارقام همواره در تولید عملکرد اقتصادی و بیولوژیک نسبت



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک درکشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم. Pz: پیشتاز، Pm: پیشگام، Hy: حیدری و Ft: فلات.
داده ها میانگین دوسال بوده و نوار خطا نشان‌دهنده خطای معیار میانگین می باشد.

Fig 3. Mean compersion for biological yield in pure and row intercropping of wheat cultivars. Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat). Vertical bars show standard error of means.

به کشت خالص ارقام افزایشی بود.

چنین به نظر می‌رسد که با افزایش تنوع ژنتیکی اختلاف ارتفاع ارقام سبب افزایش کارایی مصرف نور و نیز گسترش فضای لازم جهت توسعه سطح برگ شد. در این حالت بخش بیشتری از کانوپی در معرض نور قرارگرفته که این امر موجب افزایش رشد رویشی و درنهایت عملکردکاه وکلش و عملکرد بیولوژیک در مخلوط گردید (Faizabadi *et al.*, 2012). به‌عبارت‌دیگر، می‌توان گفت که اجزای مخلوط در طول فصل رشد از نظر جذب نور مکمل یکدیگر بودند. وجود اختلاف ارتفاع در بین ارقام موجب ایجاد نوعی کانوپی موجی در سطح مزرعه می‌شود که در واقع شامل استقرار ترکیبی از ارقام پابلند و پاکوتاه در کنار یکدیگر است. تشکیل چنین ساختاری منجر به توزیع یکنواخت‌تر برگ و نیز نفوذ بیشتر نور به درون کانوپی از طریق کاهش سایه‌اندازی بوته‌ها بر روی یکدیگر می‌شود. از طرف دیگر، نفوذ یکنواخت‌تر نور در سطح کانوپی موجب کاهش رقابت درون‌گونه‌ای در میان بوته‌ها برای جذب نور می‌گردد. این امر موجب می‌شود بخشی از انرژی دریافت شده توسط گیاه به‌جای آنکه صرف افزایش رشد طولی به جهت رقابت برای دریافت نور شود به تولید ماده خشک اختصاص یابد.

در ارزیابی تنوع ژنتیکی ارقام گندم در الگوهای متفاوت کشت ملاحظه شد که بیشترین عملکرد بیولوژیک مربوط به تیمار کشت مخلوط دو رقم گندم پاکوتاه و پابلند با ۱۲۶۲/۲ گرم در مترمربع و کمترین مقدار مربوط تیمارهای رقم خالص بود (Esmi *et al.*, 2011). همچنین مطالعه اثرات تنوع ژنتیکی و مصرف کودهای نیتروژن‌دار بر رقابت علف‌های هرز در سامانه زراعی گندم

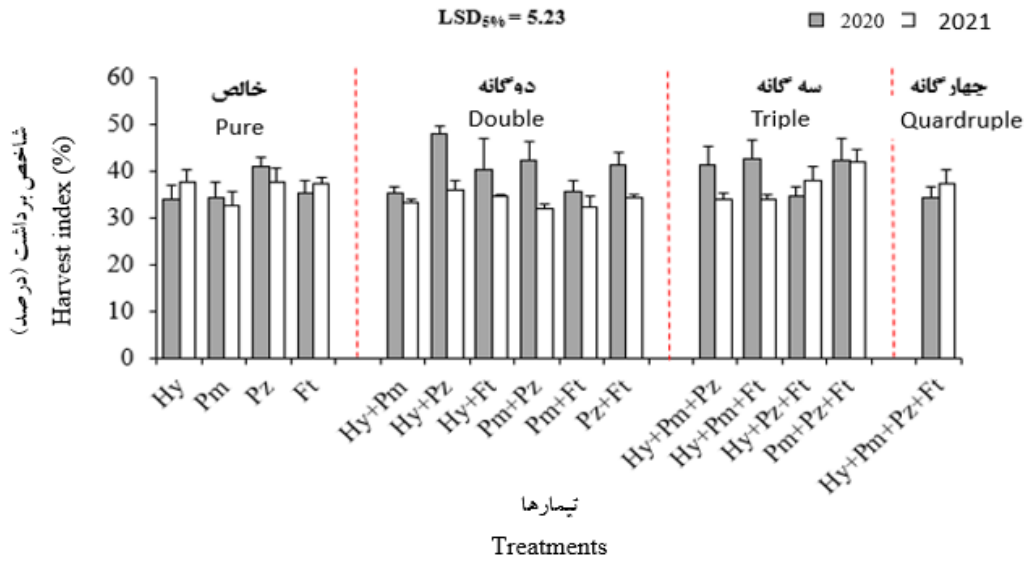
نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک در تیمار کشت مخلوط شیرودی و لاین ۱۵-۹۱ با میانگین ۱۰/۹۷ تن در هکتار و کمترین آن متعلق به تیمار تک‌کشتی لاین ۱۵-۹۱ با ۶/۸ تن در هکتار بود (Afzali *et al*., 2014). بعلاوه در بررسی عملکرد کاه و کلش درتنوع ژنتیکی ارقام گندم و نقش آن در مدیریت پسماندهای کشاورزی در کرمانشاء و بروجرد مشخص شد که بیشترین میزان عملکرد کاه و کلش در کرمانشاه مربوط به تیمار مخلوط رقم رصد (۷۰٪) + رقم آذر ۲ (۳۰٪) در تراکم ۴۵۰ بذر در مترمربع بود و در بروجرد از کشت مخلوط رقم رصد(۵۰٪) + رقم آذر ۲ (۵۰ ٪) در تراکم فوق حاصل شد (Wafa *et al*., 2012). افزایش عملکرد بیولوژیک گیاه زراعی در سیستم‌های کشت مخلوط در برخی منابع گزارش‌شده است (Eskandari *et al*., 2011).

افزایش تولید ماده خشک در کشت مخلوط می‌تواند ناشی از جذب بهتر نیتروژن در این نوع کشت باشد (Zhang *et al*., 2007; & Zhang *et al*., 2008). در پژوهشی دیگر ملاحظه گردید که حداکثر عملکرد بیولوژیک به ترتیب در کشت‌های مخلوط چهارتایی و کشت خالص تحت شرایط آبیاری کامل و تنش آبی و حداقل در کشت خالص و کشت‌های مخلوط دوتایی در شرایط آبیاری کامل و تنش آبی بدست آمد (Mirdoraghi *et al*., 2020). در پژوهش حاضر نیز بیشترین مقدار عملکرد بیولوژیک از کشت مخلوط چهارگانه ارقام گندم حاصل شد (شکل ۴).

شاخص برداشت

نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری میان تیمارهای کشت مخلوط و خالص ردیفی ارقام گندم از نظر شاخص برداشت وجود داشت (P<۰/۰۱). همچنین اثرات متقابل سال و تیمار نیز درسطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین شاخص برداشت تیمارهای مختلف کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم درسال اول نشان داد که بیشترین میزان شاخص برداشت متعلق به کشت مخلوط دوگانه ارقام حیدری و پیشتاز (با ۴۸ درصد) وکمترین آن متعلق به‌کشت خالص‌رقم حیدری(با ۳۴ درصد) بود. در حالیکه درسال دوم کشت مخلوط ردیفی سه‌گانه ارقام پیشگام همراه با پیشتاز و فلات (۴۱/۷ درصد) بیشترین مقدار و مخلوط دوگانه پیشگام و پیشتاز (۳۱/۸ درصد) کمترین مقدار شاخص برداشت را دارا بودند (شکل ۴). همچنین مخلوط سه‌گانه فوق نسبت به شاخص برداشت کشت خالص هر رقم به ترتیب (۲۲/۴، ۱۰ ۱۱/۱ درصد)، نسبت به مخلوط دوگانه حیدری و پیشتاز با بیشترین شاخص برداشت را میان تیمارهای دوگانه داشت (۱۴/۳درصد) و نسبت به تیمار مخلوط چهارگانه ارقام (۱۰/۷درصد) افزایش در شاخص برداشت را نشان داد (شکل ۴).

تحقیقات نشان داده است که بیشترین شاخص برداشت در کشت‌های مخلوط چهارتایی ارقام گندم با ۵۴ درصد و کشت خالص با ۵۲ درصد در شرایط آبیاری و تنش آبی حاصل شد. همچنین کمترین شاخص برداشت به ترتیب در کشت مخلوط چهارتایی با ۵۰ درصد و کشت



شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص برداشت درکشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم. Pz: پیشتاز، Pm: پیشگام، Hy: حیدری و Ft: فلات. داده ها میانگین دو سال بوده و نوار خطا نشان دهنده خطای معیار میانگین می باشد.

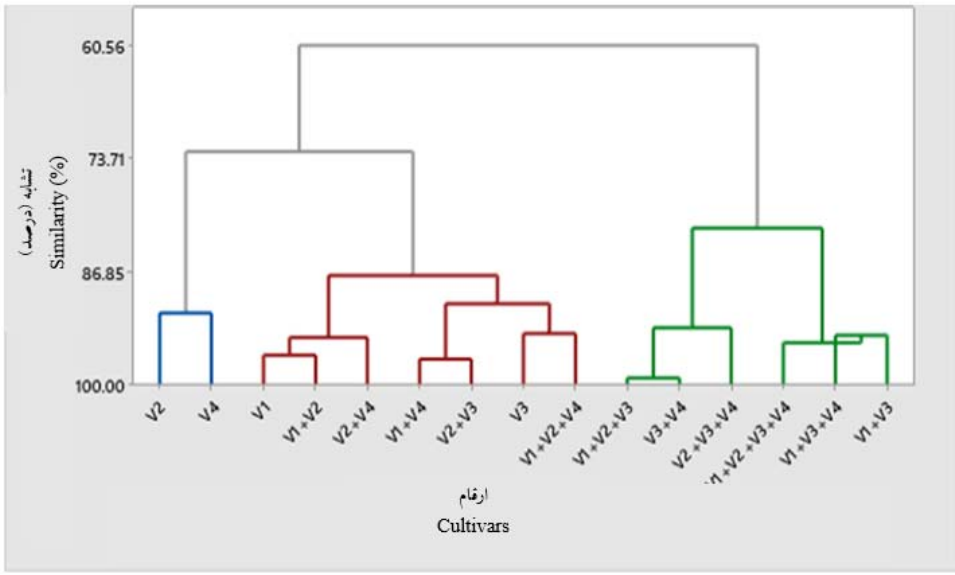
Fig 4. Mean compersion for harvest index in pure and row intercropping of wheat cultivars. Pz (Pishtaz), Pm (Pishgam), Hy (Haidari), Ft (Falat). Vertical bars show standard error of means.

خالص با ۴۳ درصد در شرایط آبیاری کامل و تنش آبی گزارش شد (Mirdoraghi *et al.*, 2020). افزایش شاخص برداشت در این تیمارها ممکن است به دلیل بیشتر بودن عملکرد دانه مربوط باشد. شاخص برداشت نشان‌دهنده سهم تخصیص مواد فتوسنتزی برای پر کردن دانه است (Emam *et al.*, 2004).

همچنین در بررسی تأثیر تنوع ژنتیکی ارقام بر خصوصیات زراعی و عملکرد گندم مشاهده شد که بیشترین میزان شاخص برداشت از تیمار کشت مخلوط فلات و پیشتاز با بیشترین عملکرد دانه، و کمترین مقدار از تیمارکشت مخلوط پنج رقم بدست آمد. تیمارهای کشت مخلوط به‌جز دو تیمار مخلوط چهار رقم و مخلوط پنج رقم افزایش قابل قبولی را از خود نشان دادند (Faizabadi *et al.*, 2012).

نتایج این پژوهش با تحقیقات محققین فوق مطابقت داشته، بطوریکه شاخص برداشت تیمارهای کشت مخلوط دوگانه و سه‌گانه نسبت به تیمارهای خالص و مخلوط چهارگانه بیشتر بود. تیمار کشت مخلوط چهار رقم به دلیل این‌که رقابت درون‌گونه‌ای این ارقام تا انتهای مرحله زایشی ادامه داشت بیشترین تأثیر منفی را روی عملکرد دانه داشت. ولی عملکرد بیولوژیک کشت مخلوط چهار رقم تولید بیشتری در مقایسه با کشت خالص همه ارقام داشتند، حال‌آنکه شاخص برداشت این تیمار مشابه تیمارهای کشت خالص ارقام بود.

نتایج تجزیه کلاستر تمام صفات مورد مطالعه در این آزمایش در کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم نشان داد که علیرغم نوسانات مشاهده شده در میان تیمار های آزمایش از نظر صفات فوق، بطور کلی تیمارها در سطح تشابه ۷۵ درصد به سه گروه (خوشه) تقسیم شدند. در گروه اول دو رقم پیشگام (V2) و فلات (V4) با عملکرد نسبتا پایین در کنار هم قرار گرفتند.



شکل ۵- تجزیه کلاستر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در کشت خالص و مخلوط ردیفی ارقام گندم طی دو سال آزمایش.

Fig 5. Cluster analysis of grain yield and yield componantes in pure and row intercropping of wheat cultivars during the two years of experiment. V1= Haidari (حیدری) V2 = Pishgam (پیشگام) V3= Pishtaz (پیشتاز) V4= Falat (فلات)

گروه دوم یا حد واسط از نظر صفات فوق شامل کشت خالص و مخلوط های دوگانه ارقام حیدری (V1) ، پیشگام (V2) و فلات (V4) بود. ولی در گروه سوم ترکیبات مختلف کشت مخلوط دوگانه، سه‌گانه و چهارگانه رقم پیشتاز (V3) مشاهده شد که دارای بی‌ش‌ترین مقدار صفات مورد بررسی بودند(شکل ۵).

نتیجه گیری

در این پژوهش دو ساله در اثر افزایش تنوع ژنتیکی با کشت مخلوط ارقام گندم بدلیل اختلاف در ارتفاع ارقام در کشت ردیفی نوعی کانوپی موجی در مزرعه ایجاد شد و این امر باعث افزایش کارایی مصرف نور در کشت مخلوط گردید که افزایش در سرعت فتوسنتز را به دنبال داشت و در نهایت مقدار عملکرد و اجزای عملکرد دانه در اثر افزایش تنوع ژنتیکی در مخلوط های دوگانه و سه گانه افزایش یافت. بیشترین عملکرد دانه در سال اول متعلق به کشت مخلوط ردیفی سه‌گانه ارقام حیدری همراه با پیشگام و پیشتاز و در سال دوم متعلق به مخلوط ردیفی سه‌گانه ارقام پیشگام همراه با پیشتاز و فلات بود. افزایش تنوع ژنتیکی باعث بهبود شاخص برداشت شد، بطوریکه بیشترین درصد شاخص برداشت در سال اول در کشت مخلوط ردیفی متعلق به مخلوط دوگانه حیدری و پیشتاز و در سال دوم متعلق به مخلوط سه‌گانه پیشگام همراه با پیشتاز و فلات بود. بعلاوه نتایج نشان داد که افزایش تنوع ژنتیکی با افزایش تعداد ارقام در مخلوط باعث افزایش رقابت درون گونه ای بین ارقام مختلف گردید، بطوریکه مقدار این رقابت در مخلوط چهارگانه اثر خود را با کاهش مقدار عملکرد ، اجزای عملکرد دانه و افزایش عملکرد بیولوژیک نمایان ساخت. در نهایت می‌توان چنین اظهار داشت که با افزایش تنوع ژنتیکی و کشت مخلوط ارقام به صورت دوگانه و سه‌گانه بدلیل داشتن سیستم ریشه ای

متفاوت و کاهش رقابت درون گونه ای، دریافت نور بیشتر و استفاده بهینه از منابع بعنوان گزینه‌ای جهت ثبات و افزایش عملکرد دانه نسبت به کشت خالص هر یک از ارقام می‌باشد.

References

Afzali, S. 2014. Effects of genetic diversity and nitrogen fertilizers on wheat competitiveness in weed farming system. M.Sc. Thesis, Faculty Agric Shiraz Uni, Iran, 86-88 (In Persian).

Baumann, D. T., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2001. Effects of intercropping on growth and reproductive capacity of late- emerging *Senecio vulgaris* L., with spatial reference to competition for light. *Annals of Botany,* 87: 209-217.

Biabani, A., Hashemi, M., and Herbert, S.J. 2008. Agronomic performance of two intercropped soybean cultivars. International Journal of Plant Production. 2(3): 215-222.

Barot, S., Allard, V., Cantarel, A., Enjalbert, J., Gauffreteau, A., Goldringer, I., Lata, J., LeRoux, X., Niboyet, A., and Porcher, E. 2017. Designing mixtures of varieties for multi-functional agriculture with the help of ecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37.

Calavan, Kay. M., and Weil, Ra. R. 1988. Peanut-corn intercrop performance as affected by within-row corn spacing at contrast row spacing. *Agronomy Journal,* 80:635-642.

Chakni, H. 2015. Investigating the effect of plant density on yield and yield components of wheat cultivars, *Journal of Agriculture,* 104:10-12.

Ciftci, V., and Ulker, M. 2005. Effectc of mixed cropping lentil with wheat and barley at different seeding ratios, *Journal of agronomy*, 4(1), 1-4.

Cowger, C., and Weisz, R. 2008. Winter wheat blends, mixtures produce a yield advantage in North Carolina, *Agronomy Journal,* 100: 169-177.

Emam, Y. 2004. Cereal cultivation. Shiraz University Press, pp 192 (In Persian).

Emam, Y. 2007. Cereal producing. Shiraz University press. Shiraz, Iran, pp 190 (In Persian).

Eskandari, H., and Kazemi, K., 2011. Weed control in maize-cowpea intercropping system related to environmental resources consumption. *Nutritional Science Biology,* 3: 57-60 (In Persian).

Eskandari, H., Ghanbari-Bonjar, A., Galavai, M., and Salari, M. 2009. Forage quality of cow pea (*Vigna sinensis*) intercropped with corn (*Zea mays*) as affected

by nutrient uptake and light interception. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 37(1), 171–174. https://doi.org/10.15835/nbha3713160*.

Esmi, A. 2011. Evaluation of mixed cultivation of wheat cultivars in different cultivation patterns. Master thesis of Shahrood University of Shahrood: 39-59 (In Persian).

Faizeabadi, A., and Emamwardian, A. 2012. Evaluation of the effect of mixed cultivation of cultivars on the agronomic characteristics of wheat yield. *Journal of Agroecology*.Vol. 4: 144-150 (In Persian).

Faramarzi, F. 2014. The effect of crop diversity on the weed population under the influence of nitrogen levels. M.Sc. Thesis, Faculty. Agri, Shiraz Uni, Iran.

Finckh, M. R., Gacek, E.S., Goyeau, H., Lannou, U., Munk, L., Nadziak, J., Newton, A.C., De Vallavielle-pope, C., and Wolfe, M.S. 2000. Cereal variety and Species mixture in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomy, 20: 813-837.*

Fletcher, A., Ogden, G., and Sharma, D. 2019. Mixing it up: wheat cultivar mixtures can increase yield and buffer the risk of flowering too early or too late. *European Journal of Agronomy,* 103:90–97.

Gaudio, N., Escobar-Gutierez, A.J., Casadebaig, P., Evers, J.B., Gerard, F., Louarn, G., Colbach, N., Munz, S., Launay, M., Marrou, H., Barillot, R., Hinsinger, P., Bergez, J.-E., Combes, D., Durand, J.-L., Frak, E., Pages, L., Pradal, C., Saint-Jean, S., van der Werf, W., and Justes, E. 2019. Current knowledge and future research opportunities for modeling annual crop mixtures. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 20.

Ghafari, G.H. 2009. Solutions to increase production in the rainfed of the country. Publication of *Agricultural Education*: 91-92.(In Persian)

Guarino, L., Ramana, V., and Rao, R. 1995. Collecting Plant Genitic Diversity. John wiley and Sone, New York.

Imam, Y., and Niknejad, M. 2004. An introduction to physiology of agronomic plants yield. Shiraz University Publication. *Second Edition. 571pp. https://daneshnegar.com/fa/product*/57580. (In Persian).

Khairkhwah, Kh., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Khorramdel, S., and

Nazarian, R., 2023. The effect of increasing genetic diversity through the mixture of wheat cultivars on nitrogen efficiencies and water productivity. *Journal of Applied Agricultural Research Volume-. 35(3): 1-27.* . (In Persian) .

Khan, A., Ahmad, M., Ahmed, M., and Iftikhar Hussain, M. 2021. Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies. *Plants,* 10(1), 43. *https://doi.org/10.3390/plants10010043*

Khazaei, H., Feizabadi, A., and Emamverdian, A. 2010. Study of interspecific competition in mixed cropping of wheat cultivars. The 3rd Iranian Weed Science Congress 616-619 (In Persian). *https://www.researchgate.net/publication/277014641*.

Kong, X., Li, L., Peng, P., Zhang, K., Hu, Z., Wang, X., and Zhao, G. 2023. Wheat cultivar mixtures increase grain yield under varied climate conditions. *Basic and Applied Ecology*, 69: 13-25.

Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2004. Contribution from College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. *Agricultural Research Center. Pajouhesh & Sazandegi*, 63 pp. 70 – 83(In Persian).

Koocheki, A., Khorramdel, S., Fallahpour, F., and Mellati, F. 2011. Evaluation of light absorption and consumption efficiency in row crop cultivation of wheat and canola. *Iranian Journal of Field Crop Research,* 11(4):534-543 (In Persian).

Kumar, N.P., Arsad, S.H., Dwivedi, R., Kumar, A., Yadav, R.K., Singh, M.P., and Yadav, S.S. 2016. Impact of heat stress on yield and yield attributing traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) lines during grain growth development. International. *Journal of Pure. Applied. Bioscience.* 4(4), 179-184.

Lazzaro, A., Costanzo, A., and Bàrberi, P. 2017. Single vs multiple agroecosystem services provided by common wheat cultivar mixtures: weed suppression, grain yield and quality. *Field Crops Research*, 221: 277-297.

Liebman, M., and Davis, A.S., 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-input farming systems. *Weed Research,* 4: 27-47. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00164.x

Lightfoot, C. W. F., and Tayler, R. S. 1987. Intercropping sorghum with cowpea in dryland farming systems in Botswana. I. Field experiments and relative

advantages of intercropping. *Experimental Agriculture, Volume 23, Issue 4, pp*. 425 – 434. DOI: https://doi.org/10.1017/S0014479700017397

Lorenzetti, E., Carlesi, S., and Bàrberi, P., 2022. Mixtures of commercial lentil cultivars show inconsistent results on agronomic parameters but positive effects on yield stability. *Agronomy, 12(9), 2107; https://doi.org/10.3390/ agronomy12092107.*

Mclaughlin, A., and Minrau, P. 1995. The impact of agricultural practices on biodiversity. Agriculture, *Ecosystems and Environment,* 55: 201-212.

Milki, G.H., Bazdar, G.H., Lutfi, Y., and Ethamasi, A .2011. The effect of Tobacter biofertilizer and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components in three varieties of bread wheat. *Scientific Research Journal of Ecology of Crop Plants and Weeds*, 4:121-134.

Mirdoraghi, M., Taghizadeh, M.S., and Behpouri, A. 2018. Characteristics of the root system in durum wheat (*Triticum durum*) genotype mixtures affected by water stress. *15th National. Iranian. Crop. Science. Congress. Karaj, Iran. (In Persian) https://www.researchgate.net/publication/351093592.*

Mirdoraghi, M., Taghizadeh, M.S., Behpoori, A., and Dastfal, M. 2020. The study of row mixed cropping in durum wheat (*Triticum durum*) genotypes on yield and yield components at postflowering water stress conditions. *Journal of Plant Production Research Volume 27(1): 179-196* . http://jopp.gau.ac.ir DOI: 10.22069/jopp.2020.16095.2452. (In Persian).

Molla, A., and Sharaiha, R.K. 2010. Competition and resource utilization in mix cropping of barley and durum wheat under different moisture stress levels. *Journal of Agricultural Sciences*, 6(6), 713-719 (In Persian).

Morris, R. A., Villegan, A. N., Polthanee, A., and Centeno, H. S. 1990. Water use by monocropped and intercropped cowpea and sorghum after rice. *Agronomy Journal*, 82:664-668.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Jahan, M. 2011. Light interception and utilization efficiency in relay intercropping of winter wheat and corn. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(6), 878-890. (In Persian).

Nazari, M., and Ezanlow, A. 2014. Evaluation of the genetic diversity of

different wheat cultivars using ISSR markers of the Karaj Seedling and Seed Breeding Research Institute of Iran, The 13th Iranian Conference on Agricultural Sciences and Plant Breeding and the 3rd Iranian Conference on Seed Science and Technology.*https://elmnet.ir/doc/20112220-91031* 2(2):4-6 (In Persian).

Osman, D.G., and Mahmoud, Z.M. 1981. Yield and yield compound of wheat and their relationships as influenced by nitrogen and seed rate in Sudan, *Journal of Agriculture Research*, 97:611-618(In Persian).

Oveysi, M. 2005. A study of the effect of intercropping and nitrogen fertilizer on agronomical and morphological traits of two corn (*Zea mays* L.) hybrids.M. Sc thesis. University of Tehran, 105 pp. (In Persian). *https://edepot.wur.nl/194749*

Rafie, M.R., Sangtrash, M.H., and Kambozia, G. 1999. Quantitative and qualitative performance of various varieties of Hirmand, Red Egg and Cross Flat wheat. The fifth Congress of Agriculture and Plant Breeding of Iran, 5-8 (In Persian*). https://icsc.areeo.ac.ir/article_21726*.html.

Rezaie, M., and Tajbakhsh, M. 2002. Study of seed yield and some agronomic characters in sole and intercropping of two soybean cultivars in Khoy condition. *Seed Plant Journal,* 3: 273-282. (In Persian).

Rezvani Moghaddam, P., Karimpor, H., and Saidi, S. 2015. Investigating the yield and yield components of two wheat cultivars in different patterns of row cultivation. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13 (2), 232-238 (In Persian).

Saber, Z., Pirdashti, H., Esmaeili, M.A., and Abbasian, A. 2011. The effect of plant growth promoting rhizobacteria, nitrogen and phosphorus on relative agronomic efficiency of fertilizers, growth parameters and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar N-80-19 in Sari. *Journal of Agroecol,* 5: 39-49 (In Persian).

Shabani, A., Qatadha, M., and Zinoorian, H .2005. Investigation and comparison of some agricultural traits and characteristics of wheat cultivars in mixed and pure crops in dry conditions in cold areas of garlic. The 8th Congress of Agricultural Sciences and Plant Breeding of Iran, Faculty of Agriculture, Guilan University, (In Persian). https://journals.areeo.ac.ir/article_110926.html

Shafiei, M., Behpouri, A., Bijanzadeh, E., and Mirdoraghi, M. 2022. Investigation of yield and yield components of different cereal mixtures to water stress in hot and dry ecological conditions. *Crop Production Journal, 15* (2), 35-52. DOI: 10.22069/EJCP.2022.19232.2435.

Singh, B.D. 1990. Plant Breeding.Kalyari Pub. India. soybean cultivars. *International Journal of Plant Production*, 2(3),17-35.

Sparkes, D. L., Holme, S.J., and Gaju, O. 2006. Does light quality initiate tiller death in wheat? *Agronomy Journal*, 24: 212-217.

Swanston, J. S., Newton, A. C., Brosnan, J. M., Fotheringham, A., and Glasgow, E. 2005. Determining the spirit yield of wheat varieties and variety mixtures. *Journal of Cereal Science*, 42: 127-134.

Wafa, M., Nabati, A., and Fargi, G. 2012. Investigating the yield of production straw and stubble in mixed cultivation of wheat cultivars and its role in agricultural waste management. The first national conference on new topics in agriculture Islamic Azad University, Saveh Branch (In Persian) , https:// civilica.com/doc/162765

Weston, E. J., King, A. J., Strong, W. M., Lehane, K. J., Cooper J. E., and Holmes, J.C. 2002. Sustaining productivity of a vertisoil at warra. Queens land, with fertilizers, no-tillage or legumes production and nitrogen benefits from annual medic in rotation with wheat. *Experimental Agriculture*, 42: 961-969

Willey, R.W., and Holliday, R. 1971. Plant Population, shading studies in wheat. *Journal of Agriculture Science,* 77: 453-461.

Willey, R.W.1990. Resource use in intercropping systems. *Agriculture Water Management*, 17: 215–231.

Woldeamlak, A. 2001. Mixed cropping barley (*Hordeum vulgare* L.) and wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces in the central highlands of Eritrea. http: // library. Wur.nl/wda.

Zhang, L., Van der Werf, S. W., Bastiaans, L., Zhang, S., and Spiertz, J.H.J. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crop Research*, 1:29-42.

Zhang, L., Van der Werf, S.W., Zhang, B., and Spiertz. J.H.J. 2007. Growth,

yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. *Field Crop Research,* 103:178-188.

The effect of genetic diversity on wheat yield and yield components in mixed cropping

Khairollah Khairkhwah[1], Alireza Koocheki[2*], Mehdi Nassiri Mahallati[2], Soroor Khorramdel[3], Ramin Nazarian[4],

1. Assistant Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Baghlan University, Afghanistan.
2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
4. Associate Professor, Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Herat University, Afghanistan.

Received: June 2023 Accepted: January 2026- DOI: 10.22092/aj.2025.362559.1652

Extended Abstract

Khairkhwah, Kh., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorramdel, S., Nazarian, R., The effect of genetic diversity on wheat yield and yield components in mixed cropping
Applied Research in Field Crops Vol 37, No.2, 2024, 10-13: 60-84(in Persian)

Introduction

Failure to observe ecological principles in crop production and one-dimensional approaches with an emphasis on economic aspects in agriculture have led to the destruction of environmental resources and a decrease in the efficiency of resource use (Koocheki *et al.,* 2011). Increasing genetic diversity by mixing varieties of a single crop species is another solution that does not have the problem of farming operations in multi-species mixtures. Over the past decade, the study of the ecological dimensions of variety mixtures and their impact on ecosystem multifunctionality and increased ecosystem services has attracted the attention of researchers, and as a result, their constructive role has been highlighted with a new perspective (Lazzaro *et al*., 2017). Despite the effective role of mixed cropping systems in increasing the genetic diversity of cropping systems, attention to this type of cropping pattern in Iranian cropping systems is relatively limited. Despite the large number of wheat varieties, 84% of the wheat cultivation area in Iran is

Email address of the corresponding author: Email: akooch@um.ac.ir

dedicated to only 10 varieties, which further demonstrates the low genetic diversity and high vulnerability of these production systems (Rizvani Moghaddam *et al.,* 2015).

Materials & Methods

To evaluate the effect of increasing genetic diversity through intercropping of wheat cultivars on yield and its yield components, an experiment was conducted based on a randomized complete block design with 3 replications and 15 treatments in two field trials during 2018-2019 and 2019-2019 at the Faculty of Agriculturt, Ferdowsi University of Mashhad research farm. The experimental treatments included pure cultivation and double, triple, and quadruple mixtures of four wheat varieties i.e Heidari, Pishgam, Pishtaz, and Flat. Cultivation was done at the beginning of November, and at the time of physiological maturity, an area of one square meter of each plot (2 X 0.5 meters) was selected and all its plants were harvested to determine the yield and yield components. Combined analysis of variance was performed over two years after testing for homogeneity of error varince of the two years and means were compared using LSD test.

Results & Discussion

The results showed that there was a significant difference between the treatments of pure and mixed cropping of wheat cultivars for 1000-seed weight, grain yield, biological yield, and harvest index. The interaction effects of treatment and year were also significant regarding the traits of 1000-seed weight, grain yield, biological yield, and harvest index. The highest number of seeds per spike (49.12 seeds), 1000-seed weight (45.70 g), grain yield (5318.7 kg/ha), and harvest index (41.70%) were achieved with the mixture of Pishgam with Pishtaz and Flat, while the highest biological yield (12591.8 kg/h) was observed in the quadruple mixture of Heiydari, Pishgam, Pishtaz, and Flat varieties.

As a result of the increase in genetic diversity through mixed cultivation of wheat cultivars, due to the difference in the height of the cultivars in row cultivation, a wave type canopy was formed which raised the efficiency of light consumption in mixed cultivation. The increase in the efficiency of light consumption was followed by an increase in the amount of photosynthesis, and finally, the amount of yield

and yield components rose due to the increase in genetic diversity in double and triple mixtures, which enhanced the intraspecific competition between different cultivars with the increase in the number of cultivars in the mixture. However, in the quadruple mixture, the competition became too intense, which reduced yield and its components but increased biological yield.

Conclusion

In general, with the increase of genetic diversity through double and triple cropping of cultivars, due to their different root systems and canopy structures, the efficiency of resource consumption was increased. This genetic diversity led to increased grain yield, biological yield and harvest index. In addition, the results showed that the increase in genetic diversity by increasing the number of cultivars in the mixture caused an increase in intraspecific competition between different cultivars, so that the amount of this competition in the quadruple mixture showed its effects by reducing grain yield, yield components and increasing biological yield.

Keywords: Biological yield, Cluster analysis, Gain yield, Harvest index, Seed weight

References

Afzali, S. 2014. Effects of genetic diversity and nitrogen fertilizers on wheat competitiveness in weed farming system. M.Sc. Thesis, Faculty Agric Shiraz Uni, Iran, 86-88 (In Persian).

Baumann, D. T., Bastiaans, L., and Kropff, M. J. 2001. Effects of intercropping on growth and reproductive capacity of late- emerging *Senecio vulgaris* L., with spatial reference to competition for light. *Annals of Botany,* 87: 209-217.

Calavan, Kay. M., and Weil, Ra. R. 1988. Peanut-corn intercrop performance as affected by within-row corn spacing at contrast row spacing. *Agronomy Journal,* 80:635-642.