

ارزیابی اکوفیزیولوژیک الگوهای مختلف تناوبی کاشت در دیم زارهای شمالغرب کشور

حاتم معروف^{۱*}، عبدالعلی غفاری^۲، امیر آینه بند^۳، قربان نورمحمدی^۴، خشنود علیزاده^۵

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز.

۲- دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

۳- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۴- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۵- استاد بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.

چکیده مبسوط

مقدمه: جاکشت گندم و عدم رعایت تناوب مناسب دیم در استان آذربایجان غربی منجر به کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش هزینه‌های تولید در این استان می‌گردد. تداوم الگوی فعلی، همانند اغلب مناطق دیم کشور، می‌تواند پایداری تولیدات زراعی در شرایط دیم را تهدید نماید. تحقیقات در داخل کشور نشان داده است که اجرای تناوب مناسب کشت، به‌ویژه استفاده از حبوبات و لگوم‌های علوفه‌ای در تناوب زراعی دیمزارهای استان، می‌تواند بسیاری از کاستی‌ها و مشکلات کشت مداوم غلات را مرتفع و به‌تدریج بهبود بخشد. ویژگی‌های اقلیمی مناطق دیم شمالغرب کشور شرایطی را فراهم آورده است که زراعت طیف وسیعی از گیاهان زراعی از قبیل حبوبات، گیاهان علوفه‌ای یک ساله و دانه‌های روغنی را در تناوب زراعی با گندم امکان‌پذیر ساخته است. تناوب‌های رایج در زراعت دیم به دلیل فقدان تنوع لازم در دراز مدت باعث کاهش حاصلخیزی خاک و نقصان کارایی استفاده از منابع می‌گردند، در حالی که افزایش تنوع زیستی در الگوهای کاشت دیم با وارد کردن حبوباتی مانند نخود و عدس در تناوب با گندم و یا استفاده از لگوم‌های علوفه‌ای یک ساله و دانه‌های روغنی متحمل به خشکی به عنوان گیاه پیش کاشت و نیز تغییر تاریخ کاشت از بهاره به انتظاری باعث افزایش بهره‌وری آب باران می‌شود که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

روش‌شناسی پژوهش: به منظور مطالعه اثر تاریخ کاشت و الگوی تناوبی گیاهان مختلف زراعی بر عملکرد و اجزای عملکرد اکوسیستم گندم و میزان بهره‌وری آب حاصل از باران (RWP)؛ آزمایشی سه ساله در قالب اسپلت پلات در زمان در پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار در دو زمان کاشت بهاره و انتظاری در ستاد موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور اجرا شد. الگوهای تناوبی عبارت بودند از: (۱) گندم - نخود (۲) گندم - عدس (۳) گندم - ماشک (۴) گندم - گلرنگ.



* نگارنده مسئول: hatam.maarouf@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۳

یافته‌های پژوهش: نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها برای هر تیمار نشان داد که زمان کاشت و نوع الگوی تناوبی اثرات متفاوتی بر اکوسیستم زراعی گندم دارد. تحلیل داده‌ها نشان داد که در تمامی الگوهای مورد بررسی؛ کشت انتظاری به لحاظ شاخص عملکرد اقتصادی؛ عملکرد بیولوژیک و بهره‌وری آب؛ بر کشت های بهاره ارجحیت دارد به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد دانه در گندم به ترتیب از تناوب نخود- گندم در کشت انتظاری و عدس-گندم در کشت بهاره به مقدار ۱۴۰۵/۷ و ۱۱۰۸/۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. نتایج اثر زمان کاشت بر بهره‌وری آب باران نشان داد که اثر سال در تیمار در زمان کاشت معنی‌دار بوده و بالاترین میزان بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیک به ترتیب در سال اول در زراعت انتظاری نخود ($ERWP=4.09$)، گلرنگ سینا ($BRWP=9.54$) و ماشک مراغه ($BRWP=8.53$) بدست آمد.

کلمات کلیدی: تناوب زراعی، بهره‌وری آب باران، الگوی کاش

مقدمه

عملکرد در اکوسیستم گندم زراعی شود (Gan et al., 2003; Abbasi et al., 2015). وجود الگوی کاشت مناسب یک راهکار قدیمی برای بهبود عملکرد در زراعت اکوسیستم گندم در دیم است. تحقیقات در این زمینه نشان می‌دهد؛ تناوب زراعی مناسب مبتنی بر الگوی کاشت بهینه حتی در شرایطی که کلیه عوامل تولید در حد بهینه نبوده باشند؛ نیز باعث افزایش در عملکرد اکوسیستم گندم زراعی شده و مشکلات ناشی از الگوهای تک کشتی را به حداقل ممکن خواهد رسانید (Baghbanyan et al., 2020). افزایش تنوع زیستی در الگوهای رایج زراعت دیم؛ علاوه بر اثرات مفید تثبیت نیتروژن جوی در حضور گیاهان تثبیت کننده نیتروژن؛ اثرات مفید دیگری مانند بهبود وضعیت آب در دسترس گیاه؛ در تغییر در ساختار و فراهمی عناصر خاک و پویایی جوامع علف‌های هرز دارد که در نهایت راندمان تولید در مقایسه با الگوهای تناوبی تک کشتی به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر خواهد کرد (Derksen et al., 2002).

الگوهای کاشت رایج و سیستم تک کشتی در دیم‌زارها به سبب تخصیص نامناسب منابع و عوامل تولید از بهره‌وری پائین و کارایی نامطلوبی برخوردار هستند. لذا ارائه ترکیب کاشت انواع مختلف گیاهان زراعی در تناوب با گندم و تغییر تاریخ کاشت این

جاکشت گندم و عدم رعایت تناوب مناسب دیم در استان آذربایجان غربی منجر به کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش هزینه های تولید در این استان می‌گردد. تداوم الگوی فعلی، همانند اغلب مناطق دیم کشور، می‌تواند پایداری تولیدات زراعی در شرایط دیم را تهدید نماید. ویژگی های اقلیمی مناطق دیم شمال غرب کشور شرایطی را فراهم آورده است که زراعت طیف وسیعی از گیاهان زراعی از قبیل حبوبات، گیاهان علوفه‌ای یکساله و دانه‌های روغنی را در تناوب زراعی با گندم امکان پذیر ساخته است (Aynehband, 2015). چنین انعطاف پذیری از یک طرف باعث کاهش اتکا به سیستم های تک کشتی شده و از سوی دیگر افزایش تنوع در الگوهای مختلف کاشت رابه دنبال خواهد داشت (Farahza et al., 2020).

ارزیابی الگوهای کاشت بهینه برای هر منطقه یک بحث چند وجهی است که آب، خاک، اقلیم و اقتصاد چند بخش مهم آن را تشکیل می دهند (Heidari et al., 2011). بررسی‌ها نشان داده است که نوع گیاه پیش کاشت و تاریخ کاشت آن بصورت بهاره یا انتظاری می‌تواند از طریق تفاوت در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک؛ پویایی جمعیت علف‌های هرز و افزایش بهره‌وری نزولات آسمانی؛ باعث بهبود

گیاهان از بهاره به کاشت انتظاری به عنوان برنامه تولیدات کشاورزی در آینده، به نحوی که برآیند مناسب و قابل اجرا از تلفیق صحیح کلیه پتانسیل‌ها، محدودیت‌ها و نیازهای زراعت دیم بوده و در عین حال پاسخگوی بخشی از نیازهای ملی باشد و ارزش افزوده بالاتری را نصیب تولید کنندگان نماید، از اهمیت خاصی برخوردار است (Esmaili et al., 2010). بنابراین هدف بهینه سازی الگوهای کاشت در این زراعت دیم باید در جهت استفاده مناسب از منابع تولید و نهاده‌ها، بویژه افزایش بهره‌وری آب و زمین باشد و این امر تنها در صورت توجه به ارزش اقتصادی آب و تغییر الگوهای کاشت امکان پذیر خواهد بود به نحوی که الگوی کاشت مناسب باعث افزایش تنوع زیستی و بهبود راندمان استفاده از منابع در اکوسیستم گندم و نهایتاً افزایش عملکرد و ثبات آن در گندم خواهد شد (Farahza et al., 2020). تناوب‌های رایج در زراعت دیم به دلیل فقدان تنوع لازم در دراز مدت باعث کاهش حاصلخیزی خاک و نقصان کارایی استفاده از منابع می‌گردند در حالی که افزایش تنوع زیستی در الگوهای کاشت دیم با وارد کردن حبوباتی مانند نخود و عدس در تناوب با گندم و یا استفاده از لگوم‌های علوفه‌ای یکساله و دانه‌های روغنی متحمل به خشکی و نیز تغییر تاریخ کاشت از بهاره به انتظاری باعث افزایش بهره‌وری آب باران می‌شود که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه (طول جغرافیایی ۴۶ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و ارتفاع ۱۷۲۰ متری از سطح دریا) طی سه سال زراعی به اجرا در آمد. این ناحیه بر اساس طبقه بندی دوماتن از یک اقلیم نیمه خشک سرد هم مرز با فراسرد برخوردار است که متوسط بارندگی بلند مدت آن ۳۶۰ میلی‌متر و

میانگین بلند مدت دمای آن ۵/۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است.

عملیات آماده‌سازی مزرعه در پائیز فصل زراعی با استفاده از گاوآهن قلمی بود که همزمان با آن استعمال کود با توجه به فرمول کودی N100,P50 برای گندم و گلرنگ و N25,P50 برای نخود، عدس و ماشک بود که بر اساس آزمون تجزیه خاک (نمونه برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری از چند مکان مختلف مزرعه گردید) بصورت جایگذاری انجام گرفت. همه بذور قبل از کاشت، با قارچ‌کش کاربوکسی تیرام ضدعفونی شدند. کاشت گندم پاییزه بوده ولی کاشت محصولات تناوبی به شیوه ردیفی در دو زمان انتظاری و بهاره بصورت جداگانه انجام شد. نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. مراقبت‌های معمول زراعی شامل کنترل آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز در طول دوره رشد در چند مرحله به عمل آمد.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو زمان کاشت بهاره و انتظاری به اجرا در آمد. در هر زمان کاشت ۹ تیمار (دو لاین نخود ILC جم، ILC482)، دو لاین گلرنگ (گلرنگ سینا، گلرنگ فرمان)، سه لاین عدس (ILL590، قزوین و ILL4400) و دو رقم ماشک (V.D2440 و ماشک مراغه) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند.

در تمام آزمایشات علاوه بر اندازه‌گیری خصوصیات زراعی، جهت بررسی بهره‌وری آب و مقایسه تیمارها، کارایی اقتصادی آب، کارایی بیولوژیک مصرف آب و کارایی انرژی تولید شده در واحد سطح به ازای میزان بارندگی‌ها در طی فصل زراعی برای هر تیمار مورد سنجش و آزمون قرار گرفتند.

جدول ۱- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری) محل اجرای آزمایش قبل از کاشت

Table 1- Results of physicochemical soil analyses (0-30 cm depth) at the experimental site before planting

کربن آلی Carbon(%)	پتاس قابل جذب Potas(ppm)	فسفر قابل جذب Phosphorus (ppm)	نیتروژن کل Nitrogen(%)	آهک Gypsum(%)	اسیدی pH	هدایت الکتریکی EC (ds/m0)
1.2	542	8.9	0.13	27.4	7.9	0.66

تا رسیدگی، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک و اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد بطوری که زراعت به شیوه انتظاری بلحاظ صفات مورد مطالعه نسبت به کاشت بهاره دارای توجیه اقتصادی بوده و در کنار آن در مقایسه بین ارقام جم و ILC482، لاین ILC482 جهت زراعت در مناطق دیم با شرایط آب و هوایی شمال غرب ایران توصیه می‌شود. نتایج این تحقیق با یافته های پزشکیور و همکاران (Pezeshkpour et al., 2005) مطابقت دارد. همچنین، یافته‌های لویز و همکاران (Lopez et al., 2008) حاکی از این است که عملکرد بیولوژیکی نخود در کشت انتظاری حدود دو برابر عملکرد بیولوژیکی آن در کشت بهاره بوده است. مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم در سال در زمان کاشت برای این صفت نشان داد که بیشترین (۱۳۴۴/۳) کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۷۲۱/۳) کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای کشت انتظاری و کاشت بهاره نخود رقم جم حاصل شده است (جدول ۲). تحقیقات نشان داده است که تاخیر در کاشت نخود و کاهش طول دوره رشد سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Lopez et al., 2008; Pezeshkpour et al., 2005).

ب: عدس

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عدس در طی دو سال نشان داد که اثرات سه جانبه سال در زمان در رقم، فقط از لحاظ تعداد غلاف در بوته معنی‌دار بودند (جدول ۳). اثرات دو جانبه سال در رقم معنی‌دار نبود ولی اثر متقابل زمان کشت و رقم از لحاظ تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد بیولوژیک،

نتایج و بحث

الف: نخود

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به نخود در کشت انتظاری و بهاره در طی دو سال نشان داد که اثرات سه جانبه سال در زمان در رقم، همچنین اثرات دو جانبه سال در رقم برای صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود ولی، اثر متقابل زمان کشت و رقم از لحاظ تعداد روز تا رسیدگی، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی‌دار بود (جدول ۱). بین دو رقم مورد بررسی نیز از لحاظ وزن صد دانه، ارتفاع بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت اختلاف بسیار معنی‌داری بدست آمد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌های سه جانبه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در آزمایش (۱۳۴۴) کیلوگرم در هکتار) متعلق به لاین ILC 482 در کاشت انتظاری در سال دوم آزمایش بود (جدول ۲). در مجموع لاین ILC 482 نخود از لحاظ خصوصیات مورد مطالعه در این پژوهش از برتری نسبی در مقایسه با رقم جم برخوردار بود (جدول ۲). این نتیجه با گزارش حیدروند و همکاران (Heidarvand et al., 2011) و کرمی و همکاران (Karami et al., 2010) مطابقت داشت. همچنین نتایج نشان داد که زراعت نخود به شیوه انتظاری دارای مزیت نسبی بوده و به دلیل استفاده بهینه از منابع با اطمینان می‌توان این شیوه زراعت را برای دیم‌زارهای منطقه سردسیر توصیه کرد. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که اثر متقابل زمان و زمان کاشت نخود اجزای عملکرد نظیر تعداد روز

۱۶ غلاف در بوته دارای کم ترین غلاف در بوته بوده است. در بین تیمارهای مورد بررسی رقم ILL 590 به ترتیب با ۱۰۵/۳ روز تا رسیدگی، ۸۶۵/۷ کیلوگرم کاه و کلش، ۷۱۳/۷ کیلوگرم دانه و ۱۵۷۸/۳ کیلوگرم عملکرد بیولوژیک در هکتار از مزیت نسبی بیشتری در قیاس با سایر تیمارها برخوردار بوده است. همچنین زمان کاشت انتظاری میزان عملکرد دانه را به صورت چشمگیری افزایش داد. در بین ارقام آزمایش شده رقم ILL4400 با تولید ۳۶۷/۷ کیلو گرم کم ترین مقدار عملکرد را در زراعت بهاره داشت (جدول ۴).

عملکرد کاه و کلش، عملکرد دانه و شاخص برداشت معنی دار بود. بین سه رقم مورد بررسی نیز از لحاظ وزن صد دانه، ارتفاع بوته، تعداد روز تا گلدهی، تعداد روز تا رسیدگی و عملکرد کاه و کلش اختلاف معنی داری بدست آمد. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۷۱۴ کیلوگرم در هکتار متعلق به لاین شماره ۲ (ILL 590) در کشت انتظاری و سال دوم آزمایش بود. مقایسه میانگین اثرات سه جانبه سال در رقم در زمان کاشت نشان داد که در بین تیمارهای مورد مطالعه لاین پیشرفته ILL 590 با تعداد ۲۶/۳ غلاف در هر بوته دارای بالاترین و لاین ILL4400 با تعداد

جدول ۱- تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش نخود در طی ۲ سال

Table 1- Combined analysis of variance for chickpea experiment data over two years

منابع تغییر Sources of Variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات						
		وزن صدانه 100 Seed Weight	روز تا گلدهی Days to Flowering	روز تا رسیدگی Days to Maturity	ارتفاع بوته Plant Height	عملکرد بیوماس Biomass Yield	عملکرد دانه Grain Yield	شاخص برداشت Harvest Index
سال (Y) Year	1	0.03	1.04	0.37	0.78	17550.04	10004.17	0.0007
زمان کشت (T) Planting Time	1	2.22	1.04	176.04	65.6	3596778.4	468721.5	0.007
سال × زمان کشت T × Y	1	1.42	0.04	5.04	1.34	6370.04	912.67	0
اشتباه ۱ Error 1	8	0.6	1.42	2.38	0.7	5388.96	719.12	0.0005
رقم (V) Cultivar	1	14.92**	0.37	2.04	104.5**	536705.1*	499393.5*	0.026**
سال × رقم V × Y	1	0	2.04	5.04	1.46	210.04	130.67	0
زمان کشت × رقم V × T	1	1.08	1.04	26.04**	12.97**	87725.1**	98816.6**	0.003**
سال × رقم × زمان کشت V × Y × T	1	0.07	3.38*	5.04	0.55	222.04	1204.17	0.0003
اشتباه ۲ Error 2	8	0.25	0.58	1.29	0.56	7342.29	532.63	0.0003

جدول ۲- میانگین اثرات متقابل رقم در سال در زمان کاشت برای صفات جداگانه در نخود

Table 2- Mean interaction effects of cultivar, year, and planting time on individual traits in chickpea

سال Year	زمان کشت Planting Time	لاین رقم Line	وزن صدانه 100-seed Weight (g)	روز تا گلدهی Days to Flowering	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	عملکرد علوفه Forage Yield (Kg/ha)	عملکرد دانه Grain Yield (Kg/ha)	شاخص برداشت Harvest index
1	بهاره Spring	نخود جم Jam	29.2	53.3	28	1664	721.3	0.43
1	بهاره Spring	ILC 482	31.1	54	29.9	1842	891	0.46

0.38	874.3	2278.7	30	54	30.6	Jam	خود جم	انتظاری Winter	1
0.46	1272.3	2710.7	35.4	54	31.9	ILC 482		انتظاری Winter	1
0.45	759.3	1685.3	28	55	29.5	Jam	خود جم	بهاره Spring	2
0.49	910	1863.7	31.5	53	31.6	ILC 482		بهاره Spring	2
0.39	908.7	2377.3	29.7	54.3	30.2	Jam	خود جم	انتظاری Winter	2
0.48	1344.3	2785.3	35.5	54.7	31.2	ILC 482		انتظاری Winter	2
0.005	66.7	120.56	3.46	0.13	0.88	LSD 5%			

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش عدس در طی ۲ سال

Table 3- Combined analysis of variance for lentil experiment data over two years

منابع تغییر Sources of Variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات						
		وزن صدانه 100 Seed Weight	روزتا گلدهی Days to Flowering	روزتا رسیدگی Days to Maturity	ارتفاع بوته Plant Height	عملکرد بیوماس Biomass Yield	عملکرد دانه Grain Yield	شاخص برداشت Harvest Index
Year (Y) سال	1	0.09	0.25	2.25	12.84	31624.69	4334.03	0.00003
Planting Time (T) زمان کشت	1	2.89	8.03	1332.25	45.56	1029210	427498	0.03547
T × Y سال × زمان کشت	1	0	0.03	0.25	5.84	9376.69	90.25	0.00122
Error 1 اشتباه ۱	8	0.02	0.89	2.17	1.37	264.58	113.22	0.00025
Cultivar (V) رقم	1	4.64**	151.08**	243.25*	66.52**	90061.03	26294.0	0.00067
V × Y سال × رقم	1	0	0.58	0.08	0.13	1252.69**	62.53*	0.0002*
V × T زمان کشت × رقم	1	0.08	0.03	45.08**	2.15	24557.5**	13623.3**	0.0007**
V × Y سال × زمان کشت T ×	1	0	0.86	0.58	0.26	105.03	31.58	0.00001
Error 2 اشتباه ۲	8	0.09	0.25	2.25	12.84	31624.69	4334.03	0.00003

بیوماس گیاه بهبود پیدا می‌کند و بر مقدار مواد فتوسنتزی افزوده می‌شود و در نتیجه تسهیم مواد فتوسنتزی به نحو مطلوب باعث افزایش عملکرد دانه و شاخص برداشت می‌شود (Majnoun Hoseini, 2014).

ج: گلرنگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به دو رقم گلرنگ در کشت انتظاری و بهاره در طی دو سال نشان داد که اثرات سه جانبه سال در زمان در رقم، فقط از لحاظ عملکرد کاه و کلش، عملکرد دانه و

از نظر شاخص برداشت نیز بین زمان‌های کاشت در سطح آماری یک درصد و ژنوتیپ‌ها در تفاوت معنی‌داری وجود داشت، اما اثر متقابل آن‌ها معنی‌دار نشد. مقایسات میانگین نشان داد که شاخص برداشت در کشت انتظاری بیشتر بود و در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ ILL 590 بیشترین مقدار شاخص برداشت به میزان ۴۵ درصد را دارا بود (جدول ۳). در کشت انتظاری به علت طولانی شدن فصل رشد گیاه، مدت استفاده از منابع محیطی نظیر انرژی خورشیدی و مواد غذایی خاک افزایش یافته،

حرارت، رطوبت، طول روز و همچنین تطابق زمان گلدهی با درجه حرارت مناسب می‌گردد. با انتخاب زمان کاشت و رقم مناسب می‌توان کاهش عملکرد محصول را به حداقل رساند. در زمان کاشت انتظاری گیاه به خوبی سبز شده، استقرار یافته و مراحل زندگی خود را در مطلوب‌ترین شرایط محیطی طی می‌کند و در ضمن با عوامل نامساعد محیطی برخورد نداشته و در این صورت است که بهترین عملکرد از کشت انتظاری در سال دوم به دست آمده است (Bedani and Jamiolahamadi, 2008).

د: ماشک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به ماشک علوفه‌ای در کشت انتظاری و بهاره در طی دو سال نشان داد که اثرات سه جانبه سال در زمان در رقم، در هیچ یک از خصوصیات مورد مطالعه معنی‌دار نبودند اثرات دو جانبه سال در رقم فقط برای وزن صد دانه و عملکرد کاه و کلش در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۷). اثر متقابل زمان کشت و رقم از لحاظ وزن صد دانه، تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد کاه و کلش، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت بسیار معنی‌دار بود (جدول ۷).

شاخص برداشت معنی‌دار بودند (جدول ۵). بطوری که بیشترین عملکرد کاه و کلش، دانه و بالاترین شاخص برداشت در سال دوم آزمایش و در کاشت انتظاری رقم سینا به ترتیب با ۲۰۹۶/۷ کیلوگرم، ۱۰۲۲/۷ کیلوگرم در هکتار و ۳۳ بدست آمد. میانگین اثرات متقابل رقم در سال در زمان کاشت نشان داد که کم‌ترین عملکرد کاه، دانه و شاخص برداشت در سال اول و در کاشت بهاره از رقم فرامان به ترتیب با ۱۲۸۱/۳ کیلوگرم، ۴۷۹/۳ کیلوگرم در هکتار و ۲۷ حاصل شد (جدول ۶). بنابراین باید اظهار داشت عملکرد گلرنگ در کشت انتظاری به علت استفاده بهینه از منابع و به ویژه نزولات آسمانی و نیز طول دوره رشد، نسبت به کشت بهاره آن بیشتر است ضمناً بهره‌وری آب باران در کشت انتظاری بیشتر از کشت بهاره است (Abbasi et al., 2015). محمدی و همکاران (2014) در مطالعه اثرات زمان کاشت و کاربرد سوپر جاذب بر عملکرد و خصوصیات فنولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط دیم سنجیدگی گزارش کردند که کاشت انتظاری به لحاظ عملکرد دانه و تعداد طبق در بوته بیشتر، نسبت به کاشت بهاره برتری نسبی دارد. زمان کاشت مناسب موجب بهره‌گیری از عوامل اقلیمی نظیر درجه

جدول ۴- میانگین اثرات متقابل رقم در سال در زمان کاشت برای صفات جداگانه در عدس

Table – Mean interaction effects of cultivar × year × sowing time on individual traits in lentil

شاخص برداشت Harvest index	عملکرد دانه Grain Yield (Kg/ha)	عملکرد علوفه Forage Yield (Kg/ha)	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	روز تا گلدهی Days to Flowering	وزن صد دانه 100-Seed Weight (g)	لاین/رقم Line	زمان کشت Planting Time	سال Year
0.36	384	1056.3	20.5	57.3	5.5	Lentil قزوین	بهاره Spring	1
0.36	392	1083	22.2	57.7	5.7	ILL590	بهاره Spring	1
0.38	367.7	983	17.3	50.7	4.6	ILL4400	بهاره Spring	1
0.43	570.7	1322	22.8	57.7	6	Lentil قزوین	انتظاری Winter	1
0.45	693.3	1494.7	25.3	58.7	6.4	ILL590	انتظاری Winter	1
0.44	543	1223.3	21	52	5.1	ILL4400	انتظاری Winter	1
0.38	405.3	1071	22.3	56.7	5.6	Lentil قزوین	بهاره Spring	2
0.38	423.7	1106.3	24.7	57.7	5.7	ILL590	بهاره Spring	2
0.38	390	1026	19	51.7	4.7	ILL4400	بهاره Spring	2
0.42	583.3	1391.3	23	58.3	6.1	Lentil قزوین	انتظاری Winter	2
0.45	713.7	1579.3	25.7	58.3	6.5	ILL590	انتظاری Winter	2

0.42	566.3	1344	21.7	52.3	5.2	ILL4400	انتظاری Winter	2
0.004	13.78	21.78	1.60	1.09	0.97		LSD 5%	

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش گلرنگ در طی ۲ سال

Table 5- Combined analysis of variance for safflower experiment data over two years

منابع تغییر Sources of Variations	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات						
		وزن صدانه 100-Seed Weight	روزتا گلدهی Days to Flowering	روزتا رسیدگی Days to Maturity	ارتفاع بوته Plant Height	عملکرد بیوماس Biomass Yield	عملکرد دانه Grain Yield	شاخص برداشت Harvest Index
Year (Y) سال	1	56.99	1.33	277.12	13.37	36300	16825.1	0.0009
Planting Time (T) زمان کشت	1	57.1	5.33	1415.56	31.15	7787037	1065648	0.007
T × Y سال × زمان کشت	1	56.26	0.15	412.23	0.04	21056.15	12892.6	0.0003
Error 1 اشتباه ۱	8	61.22	3.27	388.47	0.67	682.92	40.23	0.00002
Cultivar (V) رقم	1	56.17	161.33**	39.12	31.2**	23467.26	11949	0.0009**
V × Y سال × رقم	1	54.54	0	420.08	3	17.93	588	0.00013
V × T زمان کشت × رقم	1	55.23	0.15	310.08	1.81	10325.3**	5691.2*	0.0001
V × Y × T سال × زمان کشت × رقم	1	54.46	0.59	381.56	0.04	33.33	273.93*	0.00006*
Error 2 اشتباه ۲	8	68.87	2.24	444.99	1.14	186.67	33.43	0.00001

جدول ۶- میانگین اثرات متقابل رقم در سال در زمان کاشت برای صفات جداگانه در گلرنگ

Table 6- Mean interaction effects of cultivar × year × planting time on individual traits in safflower

سال Year	زمان کشت Planting Time	لاین رقم Line	وزن صدانه 100-Kernels Weight (g)	روزتا گلدهی Days to Flowering	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	عملکرد علوفه Forage Y (Kg/ha)	عملکرد دانه Grain Y (Kg/ha)	شاخص برداشت H index
1	بهاره Spring	فرامان Faraman	3.7	101	52	1760.7	479.3	0.27
1	بهاره Spring	سینا Sina	3.7	97	53	1783.7	497.3	0.28
1	انتظاری Winter	فرامان Faraman	3.7	108.3	53.7	2864.7	837.3	0.29
1	انتظاری Winter	سینا Sina	3.7	104.3	56	2970.7	935	0.32
2	بهاره Spring	فرامان Faraman	3.7	102	52.7	1781	489.7	0.28
2	بهاره Spring	سینا Sina	3.7	98	55.3	1802.7	501	0.28
2	انتظاری Winter	فرامان Faraman	3.8	109.3	54.7	3005.7	960.3	0.32

نشریه زراعت دیم ایران دوره ۱۵، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۵

0.33	1022.7	3120.3	58.3	104.7	16.6	Sina سینا	انتظاری Winter	2
0.004	6.68	15.78	1.23	1.27	0.05	LSD 5%		

جدول ۷- تجزیه واریانس مرکب داده‌های آزمایش ماشک در طی ۲ سال

Table 7- Combined analysis of variance for vetch experiment data over two years

میانگین مربعات								
منابع تغییر Sources of Variations	درجه آزادی Degrees of freedom	وزن صدانه 100-Seed Weight	روزتا گلدهی Days to Flowering	روزتا رسیدگی Days to Maturity	ارتفاع بوته Plant Height	عملکرد بیوماس Biomass Yield	عملکرد دانه Grain Yield	شاخص برداشت Harvest Index
Year (Y) سال	1	0.02	13.5	4.17	22.04	42504.2	6402.67	0.0001
Planting Time (T) زمان کشت	1	0.02	416.7	748.17	2501.1	1384321	865640	0.06304
T × Y سال × زمان کشت	1	0.01	0.67	13.5	3.38	6272.67	1980.17	0.00001
Error 1 اشتباه ۱	8	0.01	0.63	3.12	0.62	118.62	85.67	0.00005
Cultivar (V) رقم	1	0.26**	6.00*	10.67	2.04	88330.67**	15200.7*	0.00034
V × Y سال × رقم	1	0.013*	0.01	0.67	3.37	416.67	42.67	0.00004
V × T زمان کشت × رقم	1	0.013*	0.17	16.67**	7.04	4428.17**	3408.17**	0.0015**
سال × رقم × زمان کشت T × V × Y	1	0.002	0.17	0.67	1.04	160.17	4.17	0.00001
Error 2 اشتباه ۲	8	0.002	1.21	0.54	2.63	81.29	29.42	0.00002

جدول ۸- میانگین اثرات متقابل رقم در سال در زمان کاشت برای صفات جداگانه در ماشک علوفه‌ای

Table 8- Mean interaction effects of cultivar, year, and planting time on individual traits in forage vetch

شاخص برداشت H index	عملکرد دانه Grain Y (Kg/ha)	عملکرد علوفه Forage Y (Kg/ha)	ارتفاع بوته Plant Height (cm)	روزتا گلدهی Days to Flowering	وزن صدانه 100-See Weight (g)	لاین/رقم Line	زمان کشت Planting Time	سال Year
0.31	787.3	2524.7	40.7	76	3.6	Vd-2440	بهاره Spring	1
0.3	812	2686.7	41.3	77	3.8	Vetch ماشک مراغه	بهاره Spring	1
0.32	802.7	2511/7	59.7	84.7	3.7	Vd-2440	انتظاری Winter	1
0.39	1109	2848	61.7	85.7	3.9	Vetch ماشک مراغه	انتظاری Winter	1
0.31	836.3	2654.6	43	78	3.7	Vd-2440	بهاره Spring	2
0.31	864.7	2789.7	41.3	78.7	4	Vetch ماشک مراغه	بهاره Spring	2
0.32	813.7	2564	62.7	85.7	3.8	Vd-2440	انتظاری Winter	2
0.40	1191.3	2955	64	87	4.1	Vetch ماشک مراغه	انتظاری Winter	2
0.005	6.26	10.41	1.87	1.27	0.05	LSD 5%		

و ماشک مراغه بدست آمد. بین دو رقم مورد بررسی

از لحاظ تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری دیده شد

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در این راستا بیشترین وزن صدانه از کشت انتظاری در سال دوم

و برای زراعت و نیز استفاده در الگوی کاشتی نوین و بهینه در قیاس با الگوهای رایج و سنتی می‌تواند مفید واقع شود.

۵: مقایسه بهره‌وری آب باران در تیمارهای مختلف آزمایش

تجزیه واریانس مرکب اطلاعات بررسی بهره‌وری آب باران؛ از لحاظ ارزش تغذیه‌ای؛ بیولوژیک و اقتصادی محصولات مختلف در جدول شماره ۹ خلاصه شده است. بین سال‌ها؛ زمان‌ها و اثرات متقابل سال در زمان، اختلاف بسیار معنی‌داری از لحاظ تمام پارامترهای مورد مطالعه در سطح آماری یک درصد وجود داشت (جدول ۹). مقایسه میانگین بهره‌وری آب باران؛ انرژی تولید شده بر حسب کیلوکالری در هکتار و بهره‌وری آب باران از لحاظ ارزش تغذیه‌ای؛ بیولوژیک و اقتصادی تناوب‌های مختلف در طی دو سال آزمایش نشان داد که رابطه مستقیمی بین میزان بارش‌ها با تیمارهای مورد مطالعه (انواع بهره‌وری) وجود ندارد؛ به طوری که بیشترین میزان بهره‌وری از آب باران در سال اول آزمایش در زمانی بدست آمد که میانگین بارش‌ها در سال اول ۳۱۳/۳ میلی‌متر برآورد شد که دارای اختلاف قابل توجه با بارش‌ها در سال دوم (۴۹۸/۱ میلی‌متر) بوده است. در بررسی بهره‌وری آب باران در طی دو سال زراعی؛ سال اول هم در کاشت انتظاری و هم زراعت بهاره از بهره‌وری بالاتری برخوردار بود. نتایج نشان داد در سال اول آزمایش بیشترین بهره‌وری آب باران را نخود ILC482 به میزان ۴/۰۹ در کاشت انتظاری دارا بوده است. ارزش اقتصادی؛ بیولوژیک و تغذیه آب باران رقم فوق نسبت به سایر تیمارها در کلاس بالاتری واقع شد (جدول ۹).

با توجه به کاهش روزافزون منابع آب؛ باید در سیاست به حداکثر رساندن عملکرد محصولات کشاورزی در واحد سطح به هر قیمت؛ تجدیدنظر شود. در واقع نقطه بهینه‌ای برای بهره‌وری زمین و آب وجود دارد؛ بدین معنی که افزایش

(جدول ۸). میانگین اثرات متقابل زمان کاشت در لاین برای صفات جداگانه در دو رقم ماشک نشان می‌دهد بلحاظ تعداد روز تا رسیدگی هم در زراعت بهاره و هم کشت انتظاری، ماشک مراغه زودرس‌تر بوده و عامل زودرسی می‌تواند باعث عدم مواجهه مراحل حساس رشد این رقم با تنش‌های دمایی و رطوبتی باشد. در کنار آن اثر متقابل لاین در زمان کاشت عملکرد اقتصادی و بیولوژیک را هم در سطح آماری یک درصد معنی‌دار کرده است، بطوری که بیشترین عملکرد دانه و علوفه خشک را ماشک مراغه در کاشت انتظاری به ترتیب به میزان ۱۱۰۹ و ۲۹۵۵ کیلوگرم در هکتار تولید کرد. شاخص برداشت در ماشک مراغه در سال دوم و در کشت انتظاری ۴۰ درصد نشان داده شده است (جدول ۸). بیشترین عملکرد دانه در این آزمایش (۱۱۰۹ کیلوگرم در هکتار) متعلق به رقم شماره ۲ (ماشک مراغه) در کشت انتظاری و سال دوم آزمایش بدست آمد. ماشک‌ها از جمله سازگارترین لگوم‌های علوفه‌ای در شرایط دیم ایران به شمار می‌روند (Alizadeh et al., 2023). گونه‌های مختلف ماشک در کاهش فرسایش خاک، بهبود بافت خاک، کاهش استفاده از سموم و افزایش بهره‌وری در کشاورزی نقش دارند و تنها قابلیت هضم ماده خشک ماشک‌ها بیش از ۷۰٪ بوده و بازده وزن زنده روزانه آنها بالا است. استفاده از ماشک‌ها و تأثیر آن بر اکوسیستم مزرعه به شرایط آب و هوایی، نوع و میزان مواد آلی خاک و مدیریت کشت این گیاهان بستگی داشته و در مناطق مختلف و در سیستم‌های تناوبی گوناگون بایکدیگر متفاوت است (Alizadeh et al., 2023). ماشک مراغه از گونه داسی کارپا دارای تیپ بوته رونده و تیپ رشد بهاره است (Fakhrevaee et al., 2010). در این بررسی مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۸) نشان داد که در مجموع رقم شماره ۲ (ماشک مراغه) ماشک از لحاظ خصوصیات مورد مطالعه در این آزمایش از برتری نسبی برخوردار بوده

عملکرد برای بهبود بهره‌وری آب؛ رویکرد علمی و عملی‌تر برای دستیابی به اهداف برنامه‌های توسعه در دیم‌کاری کشور است (Heidari, 2011). در این تحقیق متوسط WP در زراعت بهاره در سال اول آزمایش ۱/۷۹ و در کشت انتظاری ۲/۲۹ بوده است؛ که بیانگر مزیت نسبی کاشت به شیوه انتظاری در مقایسه با زراعت های بهاره است. نتایج نشان می‌دهد که متوسط بهره‌وری آب باران در این آزمایش، ۱/۷۹ در زراعت بهاره و ۲/۲۹ در کشت انتظاری بوده که در قیاس با میانگین کشوری می‌تواند نقش الگوهای کاشت مناسب را بیشتر نمایان سازد.

کارایی مصرف آب ناشی از افزایش عملکرد همیشه مستقیم نیست و بعد از رسیدن به نقطه بهینه با افزایش بیشتر عملکرد؛ کارایی مصرف آب کاهش خواهد یافت. لذا جهت بهبود شاخص کارایی مصرف آب؛ باید به موازات کاهش مصرف آب (مخرج کسر)؛ عملکرد محصول (صورت کسر) نیز افزایش یابد. در واقع اثرگذاری اقدامات و فعالیت‌های بهبود کارایی مصرف آب زمانی نمایان می‌گردد که اقدامات منجر به تغییرات در صورت و مخرج کسر (افزایش صورت و کاهش مخرج) به طور هم زمان باشد؛ لذا توأم دیدن آب مصرفی و

جدول ۹- میانگین بهره‌وری آب باران (WP)؛ انرژی تولید شده بر حسب کیلوکالری در هکتار (En/ha) و بهره‌وری آب باران از لحاظ ارزش تغذیه‌ای (Nut/Cal)؛ بیولوژیک (Biol/ha) و اقتصادی (Eco/ha) محصولات مختلف در سال و زمان
Table 9 – Average rainwater productivity (WP); energy produced in kcal/ha (En/ha); and rainwater productivity in terms of nutritional value (Nut/Cal), biological yield (Biol/ha), and economic value (Eco/ha) for various crops, by year and season

سال Year	زمان کشت Planting Time	محصول Crop	RWP	En/ha	Nut/Cal	Biol/ha	Eco/ha
1	بهاره Spring	نخود جم Jam	2.32	2597	8.35	5.25	2.89
1	بهاره Spring	نخود ILC482	2.94	3207.33	10.31	5.52	3.11
1	بهاره Spring	عدس قزوين Lentil	1.23	1305.33	4.21	3.39	2.31
1	بهاره Spring	ILL590	1.26	1333	4.28	3.48	2.34
1	بهاره Spring	ILL4400	0.82	1250	4.02	3.16	2.24
1	بهاره Spring	گلرنگ فرامان Safflower	1.55	1991	6.4	5.67	3.83
1	بهاره Spring	گلرنگ سینا Safflower	1.6	2089	6.72	5.73	3.85
1	بهاره Spring	VD 2440	2.53	2598.33	8.35	8.12	3.43
1	بهاره Spring	ماشک مراغه Vetch	1.83	2680	8.62	8.64	3.62
1	انتظاری Winter	نخود جم Jam	2.81	3147.33	10.06	7.33	3.59
1	انتظاری Winter	ILC482	4.09	4580.67	14.73	8.72	5.01
1	انتظاری Winter	عدس قزوين Lentil	1.84	1940	6.24	4.25	1.83
1	انتظاری Winter	ILL590	2.23	2357.33	7.58	4.8	2.13
1	انتظاری Winter	ILL4400	1.75	1846.33	5.94	3.93	1.73
1	انتظاری Winter	گلرنگ فرامان Safflower	2.71	3517	11.31	9.21	1.4
1	انتظاری Winter	گلرنگ سینا Safflower	2.91	3927.33	12.63	9.45	1.53
1	انتظاری Winter	VD 2440	1.29	1329	4.27	9.21	2.48
1	انتظاری Winter	ماشک مراغه Vetch	1.52	1562	5.02	9.55	2.68
2	بهاره Spring	نخود جم Jam	1.52	2733.67	5.49	3.52	1.88
2	بهاره Spring	ILC482	1.82	3276	6.58	3.74	2.22
2	بهاره Spring	عدس قزوين Lentil	0.81	1378	2.77	3.76	0.85
2	بهاره Spring	ILL590	0.85	1439.67	2.89	3.22	0.92
2	بهاره Spring	ILL4400	0.79	1326	2.66	3.06	0.82
2	بهاره Spring	گلرنگ فرامان Safflower	0.98	2057	4.13	5.88	0.52
2	بهاره Spring	گلرنگ سینا Safflower	1.03	2098.96	4.22	5.69	0.53
2	بهاره Spring	VD 2440	1.68	2760	5.54	8.33	2.26

2	Spring	بهاره	Vetch	ماشک مراغه	1.73	2853.33	5.73	8.6	2.29
2	Winter	انتظاری	Jam	نخود جم	1.92	3271.33	6.57	5.44	2.47
2	Winter	انتظاری	ILC482		2.7	4839.67	9.52	6.59	3.29
2	Winter	انتظاری	Lentil	عدس قزوین	1.17	1983	3.98	3.79	1.18
2	Winter	انتظاری	ILL590		1.43	2426.67	4.87	3.17	1.41
2	Winter	انتظاری	ILL4400		1.14	1925.33	3.86	2.99	1.15
2	Winter	انتظاری	Safflower	گلرنگ فرامان	1.93	4033.67	8.1	7.54	0.98
2	Winter	انتظاری	Safflower	گلرنگ سینا	2.05	4295.33	8.63	7.87	1.03
2	Winter	انتظاری	VD 2440		0.83	1365	2.74	7.65	1.59
2	Winter	انتظاری	Vetch	ماشک مراغه	0.99	1621.33	3.25	8.53	1.71
LSD 5%		0.3		56.186	0.177	0.147	0.053		

مورد مطالعه فقط از نظر بهره‌وری بیولوژیک و اقتصادی؛ معنی‌دار نشان داد. نتایج بیانگر پایین بودن بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیک تمام تیمارها در کاشت بهاره نسبت به انتظاری بود. بیشترین بهره‌وری بلحاظ شاخص‌های مورد مطالعه به ترتیب در ماشک علوفه‌ای؛ گلرنگ و نخود ILC482 بدست آمد. پایین بودن بهره‌وری آب حاصل از بارندگی‌ها در نخود و عدس به عنوان دو گیاه اصلی و رایج در تناوب‌های سنتی دیم‌زارها در قیاس با ماشک و گلرنگ؛ تحت تاثیر عملکرد پایین این دو محصول است (Farahza et al., 2020; English and James, 1990; Baghbanyan et al., 2020).

و: میانگین خصوصیات زراعی و عملکرد گندم درالگوهای مختلف تناوبی

میانگین عملکرد دانه گندم بعد از محصولات نخود، عدس، گلرنگ و ماشک؛ اختلافات بسیار معنی‌داری را نشان داد (جدول ۱۰). علاوه بر این، بین خصوصیات زراعی گندم در زمان‌های کشت بهاره و انتظاری نیز اختلاف بسیار معنی‌داری وجود داشت؛ بطوری که زمان کاشت نه تنها عملکرد دانه گندم؛ بلکه تمام اجزای عملکرد را هم تحت تاثیر قرار داد (جدول ۱۰). مقایسه میانگین‌ها نشان داد، تناوب گندم بعد از نخود انتظاری از بیشترین عملکرد دانه و بیولوژیک (به ترتیب ۱۴۰۱/۷ و ۳۱۷۳/۳ کیلوگرم در هکتار) برخوردار است. کشت انتظاری در تمام

در واقع نتیجه بارز این تحقیق در مقایسه سال‌های اول و دوم آزمایش آن بود که شاخص بهره‌وری آب به مقدار زیادی می‌تواند در صورت کاهش مقدار آب باران افزایش یابد که با یافته‌های دهقانی؛ سانچ و همکاران (۲۰۰۶) نیز مطابقت دارد. آنها نشان دادند که بهبود شیوه‌های مدیریت‌های زراعی در سالهای اخیر حتی در حالت بارندگی‌های کم تر سبب افزایش مقادیر WP شده است. در مقایسه بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیک تیمارها در سال اول و دوم آزمایش می‌توان از جدول مقایسه میانگین‌ها نتیجه گرفت که رقم‌های ماشک مراغه؛ VD2440؛ گلرنگ سینا و گلرنگ فرامان هم در کشت بهاره و هم در زراعت انتظاری بالاترین میزان بهره‌وری از منابع نزولات آسمانی را دار بوده و دارای مزیت نسبت به سایر تیمارها می‌باشند. بین تیمارهای مورد مطالعه در سال دوم آزمایش هم بلحاظ صورت‌های مختلف بهره‌وری آب باران اختلاف معنی‌داری حاصل شده بود. در مقایسه بهره‌وری بیولوژیک و اقتصادی آب هم بین تیمارها و در زمان کشت‌های انتظاری و بهاره اختلاف معنی‌دار بود به طوری که بیشترین بهره‌وری اقتصادی از نزولات آسمانی را در سال دوم آزمایش نخود ILC482 به خود اختصاص داد (ERWP=3.29). در مقابل در همان سال مقایسه میانگین‌ها در بررسی بهره‌وری بیولوژیک آب را ماشک مراغه دارا بود (BRWP=8.53). اختلاف بین تیمارهای این آزمایش در مجموع سال و زمان‌های

متفاوتی بر اکوسیستم زراعی داشته باشند. هر چه تنوع الگوی کاشت و خصوصیات گیاهان زراعی بیشتر باشد؛ اثر تناوب بر شاخص‌های کمی و کیفی محصولات تناوبی بیشتر خواهد شد. از بین گیاهان کاشت شده اثر تثبیت کننده‌های نیتروژن از گیاهان روغنی بیشتر بود. نتایج مشابهی در

تناوب‌ها باعث افزایش طول ساقه؛ طول سنبله؛ تعداد پنجه‌های بارور؛ عملکرد دانه و بیوماس گندم شده است. این نتایج نشان داد که در شرایط دیم؛ نوع محصول و حتی زمان کشت آن در الگوی کاشت تاثیر گذار است. در مجموع براساس نتایج ارایه شده می‌توان نتیجه گرفت که شرایط تک‌کشتی و تناوبی می‌تواند اثرات

جدول ۱۰- میانگین عملکرد دانه و خصوصیات زراعی گندم بعد از محصول تناوبی

Table 10 – Mean grain yield and agronomic traits of wheat following a rotation crop

محصول/تناوب Crop/Rotation	ارتفاع بوته (cm) Plant height	طول سنبله (cm) Panicule	پنجه بارور Fertile tiller	وزن هزار دانه (g) Thousands Kernel Weight	عملکرد دانه Grain Yield (kg/ha)	عملکرد بیولوژیک Biologic Yield (kg/ha)	شاخص برداشت Harvest Index
گندم بعد از نخود بهاره	69.0	7.2	3.0	32.0	1109.7	2497.0	44.3
گندم بعد از نخود زمستانه	76.3	9.4	5.5	35.6	1405.7	3173.3	44.3
گندم بعد از عدس بهاره	69.0	7.1	3.0	32.7	1108.3	2486.3	44.0
گندم بعد از عدس زمستانه	76.0	9.2	5.3	34.7	1400.7	3170.7	44.0
گندم بعد از گلرنگ بهاره	68.3	7.0	3.0	32.3	1109.3	2488.7	44.3
گندم بعد از گلرنگ زمستانه	76.3	8.7	5.0	34.3	1391.3	3161.0	44.0
گندم بعد از ماشک بهاره	69.7	7.3	3.0	32.3	1121.3	2515.0	44.3
گندم بعد از ماشک زمستانه	77.3	9.0	5.5	35.3	1399.7	3164.0	44.0
LSD 5%	1.38	0.50	0.59	0.95	4.62	13.02	0.45

مجموع بیشترین میانگین بهره‌وری آب باران در کشت انتظاری ماشک، گلرنگ و نخود در تناوب با گندم به دست آمد. بیشترین بهره‌وری اقتصادی و بیولوژیک مصرف آب نیز به ترتیب از کشت نخود ILC482، ماشک مراغه و گلرنگ فرامان در تناوب با گندم بدست آمد.

گزارشات عزیزاده و همکاران (2013)؛ پورداد و همکاران (2008) دیده می‌شود. تاثیر ماشک و حبوبات از طریق تثبیت نیتروژن (Alizadeh et al., 2013) و گلرنگ از طریق افزایش نفوذپذیری خاک (Pourdad et al., 2008)، با تاثیر مثبت گزارش شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که الگوی کشت می‌تواند بر بهره‌وری بارش‌ها تاثیر گذار باشد و در

- Abbasi F, Naseri A, Sohrab F, Baghati J, Abbasi N, Akbari M. 2015. Investigating the role of processes in improving agricultural water productivity in Iran. *Iranian Journal of Water Research in Agriculture* 31(2): 163-180 (In Persian)
- Alizadeh K, Ghaffari A, Shiv Kumar A. 2013. Development of feed legumes as suitable crops for drylands of Iran. Working paper. ICARDA
- Alizadeh K, Kumar GM, Mohammadi R, Amri A. 2023. Dryland Agriculture: Crop adaptations, increasing yield and soil fertility. *Frontiers in Environmental Science* 11(1): 1-2
- Ayeneh-Band A. 2005. Effect of sowing history on the agro-ecological characteristics of the wheat ecosystem. *Journal of Agricultural Sciences* 28:
- Behdani MA, Jami Al-Ahmadi M. 2008. Evaluation of growth and yield safflower cultivars in different planting dates. *Iranian Journal. Field Crops Research* 6(2): 245-254 (In Persian)
- Baghbanyan M, Emamverdi G, Ghaderzadeh H, Daman Keshideh M, Amin Rashti N. 2020. A
- Derksen D, Andersson R, Blaskshaw R, Maxwell B. 2002. Weed dynamics and management strategies for cropping systems in Northern Great Plains. *Agronomy journal* 94: 174-185
- English MJ, James LG. 1990. Deficit irrigation. II: Observation on Colombia basin. *ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 116: 413-426
- Esmaili M. 2010. Investigation of the effect of different crop rotations on production in dryland farming systems. *Agronomy and Horticulture* 4: 127-135 (In Persian)
- Fakhre Vaezi A, Alizadeh K, Hassani M, Mahdih M, Ahakpaz F, Meydani J. 2010. Maragheh, a new dryland forage cultivar for cold and moderately cold regions of Iran. *Seed and Plant* 26 (1): 565-567 (In Persian)
- Farahza M, Nazari B, Akbari M, Naini MS, Merit A. 2020. Assessing the physical and economic water productivity of crops in Moghan plain and analyzing the relationship between physical and economic water productivity. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering* 11(42): 166-179 (In Persian)
- Gan Y, Miller R, Mc Conkey B, Zanter R, Stevenson F, Mc Donald C. 2003. Influence of diverse cropping sequence on durum wheat yield and protein in the semiarid Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 95: 245- 252
- Heidari N. 2011. Determination and evaluation of the water use efficiency index for crops under farmer management in the country. *Journal of Water and Irrigation Management*, 1(2):149-159 (In Persian)
- Heidarvand L, Maali miri R, Naghavi MR, Farayedi Y, Sadeghzadeh B, Alizadeh K. 2011. Physiological and Morphological characteristics of Chickpea Accessions under Low Temperature Stress. *Russian Journal of Plant Physiology* 58 (1): 157–163.
- Karami A, Sabbaghpour SH, Daneshian J, Valadabadi SA. 2010. Investigation of the effect of drought stress on yield in various genotypes and cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.); 3rd National Conference on Grain Legumes, Kermanshah, Iran
- Kato Y, Kamoshita A, Yamagishi J, Abe J. 2006. Growth of three rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply. I. Nitrogen content and dry matter production. *Plant Production Science* 9(4): 422-434
- Lopez Pereira M, Trápani N, Sadras VO. 2008. Genetic improvement of sunflower in Argentina between 1930 and 1995 III. Dry matter partitioning and grain composition. *Field Crops Research* 67(3): 215-221
- Majnoun Hoseini N. 2014. Effect of hydropriming and growth regulators on the repair and deterioration of hairy vetch (*Vicia villosa*). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 3(2): 238-246 (In Persian)
- Mousavi SK, Ahmadi AR. 2009. Response of chickpea yield and yield components to sowing date, planting density, and weed interference under rainfed conditions in Lorestan Province. *Journal of Plant Protection* 2: 1–13 (In Persian)
- Nakhforoush A, Koocheki A, Bagheri A. 1998. Investigation of morphological and physiological indices affecting yield and yield components in various lentil genotypes. *Journal of Crop Sciences* 16: 20-29 (In Persian)

- Pezeshkpour P, Daneshvar M, Ahmadi A, Majnoun Hosseini N. 2005. Effect of plant density on agronomic traits, leaf chlorophyll, and light penetration in the canopy of white chickpea cultivars. Mashhad, Research Institute of Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, pp. 202–204 (In Persian)
- Pourdad SS, Alizadeh K, Aziznejad R, Sharuati A, Eskandari M, Khariri M, Nabatee E. 2008. Study on drought resistance in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in different locations. Agriculture and Natural Resources 11(42): 403-415 (In Persian)



Ecophysiological evaluation of different crop rotation patterns in drylands of northwestern Iran

Hatam Maarouf^{1*}, Abdolali Ghaffari², Amir Aynehband³, Ghorban Normohammadi⁴, Khoshnood Alizadeh⁵

1- Ph.D. Student of Agronomy, Islamic Azad University, Ahvaz Branch.

2- West Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

3- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz.

4- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran.

5- Field Crops and Horticultural Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction. Continuous wheat cultivation and inadequate crop rotation in the dryland farming systems of West Azerbaijan Province have contributed to declining soil fertility and increasing production costs. Continuation of the current cropping pattern, as observed in many rainfed areas of the country, may threaten the long-term sustainability of crop production under dryland conditions. Previous research in Iran has demonstrated that the adoption of appropriate crop rotations, particularly the inclusion of grain legumes and annual forage legumes, can alleviate many of the limitations and constraints associated with continuous cereal cultivation and gradually improve soil productivity. The climatic conditions of the dryland areas of northwestern Iran provide opportunities for integrating a wide range of crops, including grain legumes, annual forage crops, and oilseed crops, into rotations with wheat. Conventional dryland cropping patterns, owing to insufficient crop diversity over the long term, may result in declining soil fertility and reduced resource-use efficiency. In contrast, increasing crop diversity through the inclusion of legumes such as chickpea and lentil in rotation with wheat, as well as the use of annual forage legumes and drought-tolerant oilseed crops as preceding crops, can enhance the utilization of rainfall resources. In addition, shifting sowing from spring to delayed sowing can improve rainfall water productivity. These strategies were therefore evaluated in the present study.

Methodology: A three-year field experiment was conducted to investigate the effects of sowing date and crop rotation pattern on wheat yield and yield components, as well as rainfall water productivity (RWP). The experiment was established at the Dryland Agricultural Research Institute using a split-plot arrangement within a randomized complete block design, with nine treatments evaluated under two sowing dates: spring sowing and delayed sowing. The crop rotation patterns were: (1) wheat–chickpea, (2) wheat–lentil, (3) wheat–vetch, and (4) wheat–safflower.

Research findings: Combined analysis of variance and mean comparisons across treatments showed that sowing date and crop rotation pattern had distinct effects on the wheat agroecosystem. Across all rotation patterns evaluated, delayed sowing consistently outperformed spring sowing in terms of economic yield, biological yield, and rainfall water productivity. The highest and lowest wheat grain yields were obtained under the chickpea–wheat rotation with delayed sowing (entezari) and the lentil–wheat rotation with spring sowing, reaching 1405.7 and 1108.2 kg ha⁻¹, respectively. Analysis of the effects of sowing date on rainfall water productivity indicated a significant year × sowing-date interaction. The highest economic and biological rainfall water productivity values were recorded in the first year under delayed sowing following chickpea (ERWP = 4.09), Sina safflower (BRWP = 9.54), and Maragheh vetch (BRWP = 8.53), respectively.

Keywords: Crop Rotation, Rain Water Productivity, Planting Pattern.

* Corresponding author: hatam.maarouf@gmail.com

Submit date: 2023/06/8 Accept date: 2026/08/04

