



## پاسخ عملکرد دانه و بهره‌وری آب گندم و باقلا به آبیاری جزئی ریشه در کشت مخلوط

حمداله اسکندری<sup>۱\*</sup>، کامیار کاظمی<sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

۲. استادیار گروه علمی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۱۱

### چکیده

به منظور بررسی اثر روش‌های آبیاری و الگوهای کاشت بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب گندم و باقلا آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در شهرستان شادگان اجرا شد. عامل اول شامل روش آبیاری (آبیاری کامل و جزئی سیستم ریشه‌ای) و عامل دوم شامل الگوهای مختلف کاشت (کشت خالص گندم و باقلا، کشت مخلوط ردیفی یک‌درمیان و کشت مخلوط روی یک ردیف) بود. آبیاری محدود عملکرد دانه گندم را ۲۴/۴ درصد کاهش داد. با آبیاری جزئی ریشه، وزن دانه، ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک گندم در کشت خالص ۴، ۹ و ۹ درصد، در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه ۶، ۱۳ و ۱۲ درصد و در کشت مخلوط روی یک ردیف ۹، ۱۸ و ۱۸ درصد کاهش پیدا کرد. در آبیاری جزئی ریشه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه باقلا به ترتیب ۱۷، ۴۵/۸ و ۳۵/۹ درصد کاهش یافت. عملکرد باقلا در کشت‌های مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و روی یک ردیف به ترتیب ۸۸ و ۶۲ درصد کشت خالص بود که نشان می‌دهد باقلا از کشت مخلوط منتفع شده است. بهره‌وری آب با اعمال آبیاری محدود (۲۷ درصد) و کشت مخلوط (۵۹ درصد) بهبود پیدا کرد. نسبت برابری زمین در کشت مخلوط روی یک ردیف و روی ردیف‌های جداگانه به ترتیب ۱/۶۸ و ۱/۵۵ بود که به معنی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری محدود، چندکشتی، مصرف آب، نسبت برابری زمین

### مقدمه

مخلوط است که به دلیل استفاده بهتر از منابع محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک در مقایسه با کشت خالص است (Afsharmanesh, 2013). از دیگر فواید کشت مخلوط می‌توان به کاهش خسارت آفات، کاهش رشد علف‌های هرز، افزایش حاصلخیزی خاک و افزایش کیفیت علوفه اشاره کرد (Lithourgidis et al., 2006).

کشت مخلوط غلات و لگوم، معمول‌ترین سیستم کشت مخلوط است که در آن به دلیل وجود اثرات مکملی در مصرف منابع محیطی، تولید نیز افزایش پیدا می‌کند. در کشت مخلوط ذرت-لوبیا چشم‌بلبلی (Eskandari and Javanmard, 2013)، گندم-نخود (Javanmard et al., 2016) و ذرت-سویا (Hamzei and Ghamari Rahim, 2016)

مشکلاتی که از نظر زیست‌محیطی به دلیل استفاده از سیستم‌های کشاورزی معمول و تک‌کشتی ایجاد شده است، ضرورت به‌کارگیری اصول اکولوژیک در اکوسیستم‌های کشاورزی و در نتیجه دستیابی به ثبات و پایداری در تولید را افزایش داده است (Eskandari and Ghanbari, 2012). افزایش تنوع زیستی در محیط‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن، یک راهکار کلیدی برای دستیابی به کشاورزی پایدار است. کشت مخلوط که شامل کشت دو یا چند گیاه زراعی به صورت همزمان و در یک قطعه زمین زراعی است، مهم‌ترین و مستقیم‌ترین راه برای افزایش تنوع در یک اکوسیستم کشاورزی است (Eskandari and Ghanbari, 2010). افزایش تولید در واحد سطح یکی از مهم‌ترین فواید کشت

دیگر در معرض خاک خشک قرار دارد (Kang and Zhang, 2004). در آبیاری جزئی ریشه، آبیاری متناوب در مکان و زمان باعث تولید چرخه‌های مرطوب-خشک در بخش‌های مختلف سیستم ریشه‌ای می‌شود تا علاوه بر اینکه وضعیت آبی گیاه را در بیشترین پتانسیل آبی نگه دارد، رشد رویشی گیاه را نیز کنترل کند (Sadras, 2009). اگرچه ممکن است بین نحوه اعمال آبیاری محدود و آبیاری جزئی ریشه تفاوت وجود داشته باشد، ولی هر دو روش برای بهبود کارایی مصرف آب و جلوگیری از رشد رویشی بیش‌ازحد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Adu et al., 2018). باین‌حال، در آبیاری محدود، آبیاری در بازه‌های زمانی مدیریت می‌شود به طوری که کمبود آبیاری به صورت کنترل شده (مانند قطع آبیاری یا افزایش فاصله آبیاری از طریق افزایش تبخیر از تشتک تبخیر) در یک دوره از رشد گیاه اعمال می‌شود ولی در آبیاری جزئی ریشه، در بازه مکانی مدیریت می‌شود که در آن کم‌آبیاری با استفاده از خطوط آبیاری دوگانه-که در هر مرحله آبیاری یکی از آن‌ها آبیاری می‌شود- اعمال می‌شود تا دو منطقه جداگانه از خاک مرطوب و خشک برای ریشه وجود داشته باشد (Kriedemann and Goodwin, 2003). آبیاری جزئی سیستم ریشه‌ای در کشت‌های مختلف خالص از جمله ذرت (Hu et al., 2010) و مخلوط از جمله گندم و شبدر ایرانی (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2018) و ذرت و ماش (Eskandari et al. 2019) مورد بررسی قرار گرفته است که به افزایش بهره‌وری آب منجر شده است، زیرا مقدار تولید در مقایسه با کاهش مصرف آب ناچیز بوده است. در یک پژوهش مشاهده شد که عملکرد پنبه با اعمال آبیاری جزئی ریشه تنها ۴ درصد کاهش یافت در حالی که مصرف آب ۳۰ درصد کاهش نشان داد (Tang et al., 2005). در یک تحقیق دیگر، عملکرد دانه و مصرف آب ذرت تحت تأثیر آبیاری جزئی ریشه به ترتیب ۹/۵ درصد و ۱۵/۷ درصد کمتر از آبیاری کامل بود؛ به عبارت دیگر، با اعمال آبیاری جزئی ریشه، کاهش مصرف آب در ذرت بیشتر از کاهش عملکرد دانه بود (Li et al., 2010). در یولاف نیز کاهش مصرف آب ۱۱ درصد و کاهش عملکرد در شرایط آبیاری جزئی ریشه ۷ درصد گزارش شد (Yechun et al., 2012). در کشت مخلوط نوری ذرت و گندم نیز آبیاری جزئی ریشه باعث کاهش مصرف آب به میزان ۱۸ تا ۲۴ درصد در مقایسه با کشت خالص شد (Wang et al., 2015).

(2014) افزایش تولید در مقایسه با کشت خالص گزارش شده است. در کشت مخلوط ذرت شیرین و ماش نتیجه گرفته شد که بیشترین عملکرد دانه کنسروی ذرت شیرین در کشت مخلوط به دست آمد که حدود ۱۱ درصد بیشتر از کشت خالص ذرت شیرین بود (Gholinejad et al., 2018). از طرف دیگر، اگرچه ممکن است عملکرد دانه در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص کاهش پیدا کند ولی اثرات مکملی در مصرف منابع محیطی می‌تواند در نهایت به افزایش بهره‌وری از زمین و سودمندی کشت مخلوط غلات-لگوم منجر شود. در این زمینه در کشت مخلوط ارزن دمر و ماهی و ماش، مشاهده شد که بیشترین عملکرد دانه ماش در کشت خالص به دست آمد ولی نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است (Khatamipour et al., 2014).

از جمله کشت‌های مخلوط غلات و لگوم می‌توان به کشت مخلوط گندم و باقلا اشاره کرد. گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است که بر اساس آخرین آمار، ۷۱ درصد از کل سطح برداشت غلات آبی در ایران را به خود اختصاص داده است (Ahmadi, 2018). اثر گندم بر گیاهان زراعی در کشت مخلوط به نوع گیاه همراه بستگی دارد. به طوری که در کشت مخلوط گندم و کلزا مشاهده شد که عملکرد دانه کلزا در کشت خالص تفاوت معنی‌داری با کشت‌های مخلوط ۲:۲ (دو ردیف گندم و دو ردیف کلزا) و ۳:۳ (سه ردیف گندم و سه ردیف کلزا) نداشت (Koocheki et al., 2014) در حالی که در کشت مخلوط گندم و ماش گل خوشه‌ای گزارش شد که خصوصیات ته‌جامی گندم باعث کاهش عملکرد ماش گل خوشه‌ای در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص شد (Sadrabadi Haghghi and Koocheki, 2004). مصرف کم آب، افزایش تنوع زیستی و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، فراهم نمودن عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک نیز از جمله مزایای اکولوژیکی مهم باقلا در سیستم‌های زراعی است (Eskandari and Kazemi, 2016).

از آنجایی که در سال‌های اخیر منابع آب در دسترس برای کشاورزی کاهش پیدا کرده است، تلاش‌های بسیاری برای حفاظت از منابع آبی در سیستم‌های زراعی صورت پذیرفته است. این تلاش‌ها بیشتر بر مبنای روش‌های آبیاری انجام گرفته‌اند. در این زمینه آبیاری جزئی ریشه در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Yang et al., 2011). در این روش، نیمی از سیستم ریشه‌ای آبیاری می‌شود و نیمی

بود. در تیمار آبیاری کامل، جوی و پشته‌ها به‌صورت کامل آبیاری شدند، به‌طوری‌که هر دو طرف سیستم ریشه‌ای گیاهان در معرض خاک مرطوب قرار گرفت. در روش آبیاری جزئی سیستم ریشه‌ای، جوی و پشته‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت آبیاری شدند و در نتیجه نیمی از سیستم ریشه در معرض خاک خشک و نیمی دیگر در معرض خاک مرطوب قرار گرفت. عامل دوم، الگوهای کشت شامل کشت خالص گندم، کشت خالص باقلا، کشت مخلوط گندم و باقلا روی یک ردیف و کشت مخلوط گندم و باقلا روی ردیف‌های جداگانه بود. خاک محل اجرای آزمایش از نوع سیلتی-لوم با اسیدیته ۷/۳، ۰/۵۱ درصد مواد آلی و هدایت الکتریکی ۱/۸۸ دسی-زیمنس بر متر بود. میزان عناصر غذایی خاک شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۰/۰۵۸ درصد، ۱۴ و ۲۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. برخی خصوصیات هواشناسی و خاک محل اجرای آزمایش به ترتیب در جدول ۱ و ۲ درج شده است.

از آنجا که اطلاعات کافی در مورد اثرات کاهش فراهمی آب در کشت مخلوط گندم و باقلا وجود ندارد، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر آبیاری محدود ناشی از آبیاری جزئی ریشه بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم و باقلا در کشت خالص و مخلوط انجام گرفت تا امکان کاهش مصرف آب در این سیستم تولیدی مورد ارزیابی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه‌ای در شمال غربی شهرستان شادگان استان خوزستان (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰ متر از سطح دریا) به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل اول روش آبیاری (شامل آبیاری کامل سیستم ریشه‌ای (I<sub>2</sub>) و آبیاری جزئی سیستم ریشه‌ای (I<sub>1</sub>))

جدول ۱. برخی خصوصیات اقلیمی محل اجرای آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵

Table 1. Some climatic properties of the experimental site during 2017-18 growing season.

| ماه              | حداقل دمای ماهانه<br>(درجه سانتی‌گراد) | حداکثر دمای ماهانه<br>(درجه سانتی‌گراد) | رطوبت نسبی<br>(درصد)  | میزان بارندگی<br>(میلی‌متر) | تبخیر و تعرق<br>(میلی‌متر) |
|------------------|--|---|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Month            | Monthly minimum temperature (°C)       | Monthly maximum temperature (°C)        | Relative humidity (%) | Precipitation (mm)          | Evapotranspiration (mm)    |
| آذر<br>December  | 20.5                                   | 27.6                                    | 62.7                  | 10.5                        | 6.40                       |
| دی<br>January    | 16.7                                   | 23.8                                    | 65.7                  | 12.0                        | 4.98                       |
| بهمن<br>February | 14.1                                   | 26.3                                    | 59.9                  | 0.6                         | 5.62                       |
| اسفند<br>March   | 19.9                                   | 27.6                                    | 46.6                  | 9.80                        | 0.53                       |
| فروردین<br>April | 23.8                                   | 35.6                                    | 46.4                  | 4.10                        | 12.51                      |

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Some physical and chemical properties of the soil of the experimental site

| عمق<br>(cm) | بافت<br>texture       | اسیدیته<br>pH | هدایت<br>الکتریکی<br>EC (ds cm <sup>-1</sup> ) | مواد آلی<br>Organic matter (%) | N (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>(mg kg <sup>-1</sup> ) | K<br>(mg kg <sup>-1</sup> ) |
|-------------|-----------------------|---------------|--|--------------------------------|-------|---|-----------------------------|
| 0-30        | سیلت لوم<br>Silt-loam | 7.3           | 1.88   | 0.51                           | 0.08  | 14  | 270                         |

$$WUE = [GY / WU] \quad [۱]$$

که در آن WUE: بهره‌وری آب برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، GY: عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار و WU: مصرف آب برحسب مترمکعب در هکتار است.

برای ارزیابی سودمندی کشت مخلوط، از شاخص نسبت برابری زمین (LER) استفاده گردید (Willey, 1979):

$$LER = [(YW / YWW) + (YC / YCC)] \quad [۲]$$

در این رابطه LER، نسبت برابری زمین، YW عملکرد گندم در کشت مخلوط، YWW عملکرد گندم در کشت خالص، YC عملکرد باقلا در کشت مخلوط و YCC عملکرد باقلا در کشت خالص می‌باشند.

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها، آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری صفت بکار رفت.

### نتایج و بحث

#### عملکرد دانه گندم

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که اثر روش آبیاری و الگوی کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم شامل ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر متقابل روش آبیاری با الگوی کاشت تنها بر ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳).

آبیاری محدود طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه گندم را به‌طور معنی‌داری ( $P \leq 0.01$ ) کاهش داد به‌طوری‌که با اعمال آبیاری جزئی ریشه صفات فوق‌الذکر به ترتیب ۹/۸، ۱۱/۹ و ۲۴/۴ درصد کاهش یافتند (جدول ۴). بیشترین طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و عملکرد دانه در کشت خالص گندم به دست آمد که به ترتیب ۱۳/۲، ۱۶/۵ و ۲۱/۸ درصد بیشتر از کشت مخلوط روی یک ردیف گندم و باقلا بود. بین کشت خالص گندم و کشت مخلوط روی یک ردیف گندم و باقلا از نظر طول سنبله و عملکرد دانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی تعداد دانه در سنبله در کشت خالص گندم، ۱۰/۷ درصد بیشتر از مقدار آن در کشت مخلوط روی یک ردیف گندم و باقلا بود (جدول ۵).

قبل از انجام کاشت، مزرعه آبیاری و سپس در مرحله گاورو شخم زده شد. در ادامه جوی و پشته‌ها ایجاد و کرت‌ها به‌صورت دستی آماده شدند. قبل از کاشت کودهای اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به خاک اضافه شدند. کشت گندم (رقم چمران) و باقلا (رقم محلی شادگان) به‌صورت هم‌زمان در ۲۰ آذرماه در کرت‌هایی که شامل ۶ ردیف کاشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول ۴ متر بود، انجام پذیرفت. کاشت با تراکم بالا انجام گرفت تا از سبز شدن بذرها اطمینان حاصل شود.

در کشت‌های خالص گندم و باقلا بر اساس تراکم مطلوب خود (به ترتیب با تراکم ۴۰۰ و ۱۰ بوته در مترمربع) کشت شدند. در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه، ردیف‌ها به‌صورت یک‌درمیان به گندم و باقلا اختصاص یافت، به‌طوری‌که هر کرت شامل ۳ ردیف گندم و ۳ ردیف باقلا بود. کشت هر گیاه در ردیف‌های مربوط به خود بر اساس تراکم مطلوب هر گیاه انجام گرفت. در کشت مخلوط روی یک ردیف، گندم و باقلا به ترتیب بر اساس ۶۰ و ۸۰ درصد تراکم در کشت خالص و بر روی یک ردیف کشت شدند.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و به‌صورت یکسان برای همه کرت‌ها صورت پذیرفت. بعد از استقرار گیاهچه‌ها در مزرعه، بوته‌ها تا تراکم‌های موردنظر (گندم و باقلا به ترتیب تا ۴۰۰ و ۱۰ بوته در مترمربع) تنک و سپس کرت‌ها آبیاری شدند. آبیاری‌های بعدی بر اساس تیمارهای آزمایش انجام شدند. آبیاری به‌طور معمول و بر اساس عرف منطقه انجام گرفت. در زمان آبیاری، هر دو گیاه نیاز به آب داشتند؛ زیرا برداشت آب توسط غلات و لگوم در کشت مخلوط، تقریباً مشابه است (Eskandari and Alizadeh-Amraie, 2016). روش آبیاری به‌صورت جوی و پشته (نشت آب از داخل جوی به سمت محل قرارگیری بذر روی پشته) بود. میزان آب ورودی به کرت‌ها با استفاده از یک کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

در مرحله برداشت (پنجم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷)، در کلیه تیمارها پس از حذف اثرات حاشیه‌ای شامل دو ردیف انتهایی و نیم متر ابتدایی و انتهایی هر کرت، بوته‌های موجود بقیه کرت از نزدیک‌ترین ارتفاع از سطح زمین (تقریباً دو سانتی-متری) برداشت و عملکرد و اجزای عملکرد دانه دو گیاه ثبت گردید. با تقسیم عملکرد دانه بر حجم آب مصرفی، بهره‌وری آب اندازه‌گیری شد:

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم در الگوهای کاشت تحت روش‌های متفاوت آبیاری

Table 3. Analysis of variance of wheat yield and yield components in planting patterns under different irrigation methods.

| S.O.V                | منبع تغییر        | درجه آزادی<br>df | Mean Square        |                     |                     |                     |                       |                       |
|----------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
|                      |                   |                  | PH                 | SL                  | GS                  | GW                  | BY                    | GY                    |
| Replication          | تکرار             | 2                | 5.72 <sup>ns</sup> | 0.807 <sup>ns</sup> | 0.665 <sup>ns</sup> | 0.017 <sup>ns</sup> | 23751 <sup>ns</sup>   | 11201 <sup>ns</sup>   |
| Irrigation (I)       | آبیاری            | 1                | 321 <sup>**</sup>  | 3.38 <sup>**</sup>  | 22.9 <sup>**</sup>  | 25.9 <sup>**</sup>  | 7575129 <sup>**</sup> | 2968672 <sup>**</sup> |
| Cropping pattern (C) | الگوی کاشت        | 2                | 561 <sup>**</sup>  | 2.24 <sup>**</sup>  | 16.2 <sup>**</sup>  | 7.24 <sup>**</sup>  | 5538178 <sup>**</sup> | 775205 <sup>**</sup>  |
| C×I                  | آبیاری×الگوی کاشت | 2                | 28.4 <sup>*</sup>  | 0.020 <sup>**</sup> | 0.541 <sup>ns</sup> | 0.952 <sup>**</sup> | 673068 <sup>**</sup>  | 331 <sup>ns</sup>     |
| Error                | خطا               | 10               | 5.72               | 0.275               | 0.168               | 0.043               | 49800                 | 57242                 |
| CV (%)               | ضریب تغییرات      |                  | 4.28               | 6.24                | 2.29                | 0.54                | 2.44                  | 8.18                  |

PH: ارتفاع بوته؛ SL: طول سنبله؛ GS: تعداد دانه در سنبله؛ GW: وزن هزار دانه؛ BY: عملکرد بیولوژیک؛ GY: عملکرد دانه؛

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

PH: Plant height; SL: spike length; GS: grain number per spike; GW: 1000-grain weight; BY: biological yield; GY: grain yield;

\* and \*\* indicate significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively. ns: not significant

جدول ۴. اثر آبیاری کامل و جزئی ریشه بر عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله گندم

Table 4. Effect of conventional and partial root zone irrigation on grain yield, grain per spike and spike length of wheat.

| روش آبیاری   | عملکرد دانه<br>Grain yield<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | تعداد دانه در سنبله<br>Grain number per<br>spike | طول سنبله<br>Spike length (mm) |
|--|--|--|--------------------------------|
| آبیاری کامل سیستم ریشه<br>Conventional irrigation      | 3332 <sup>a</sup>                                    | 18.98 <sup>a</sup>                               | 88.67 <sup>a</sup>             |
| آبیاری جزئی سیستم ریشه<br>Partial root zone irrigation | 2520 <sup>b</sup>                                    | 16.72 <sup>b</sup>                               | 80.0 <sup>b</sup>              |

بر اساس آزمون دانکن، در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد است.

In each column, different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's test

جدول ۵. اثر الگوی کاشت بر عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و طول سنبله گندم

Table 5. Effect of planting pattern on grain yield, grain per spike and spike length of wheat.

| الگوی کاشت  | عملکرد دانه<br>Grain yield<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | تعداد دانه در سنبله<br>Grain number per<br>spike | طول سنبله<br>Spike length<br>(mm) |
|---|--|--|-----------------------------------|
| کشت خالص گندم<br>Sole wheat                                   | 3297 <sup>a</sup>                                    | 19.63 <sup>a</sup>                               | 91 <sup>a</sup>                   |
| کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه<br>alternate-row intercropping | 2904 <sup>ab</sup>                                   | 17.52 <sup>b</sup>                               | 83 <sup>ab</sup>                  |
| کشت مخلوط روی یک ردیف<br>within-row intercropping             | 2579 <sup>b</sup>                                    | 16.40 <sup>c</sup>                               | 79 <sup>b</sup>                   |

بر اساس آزمون دانکن، در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد است.

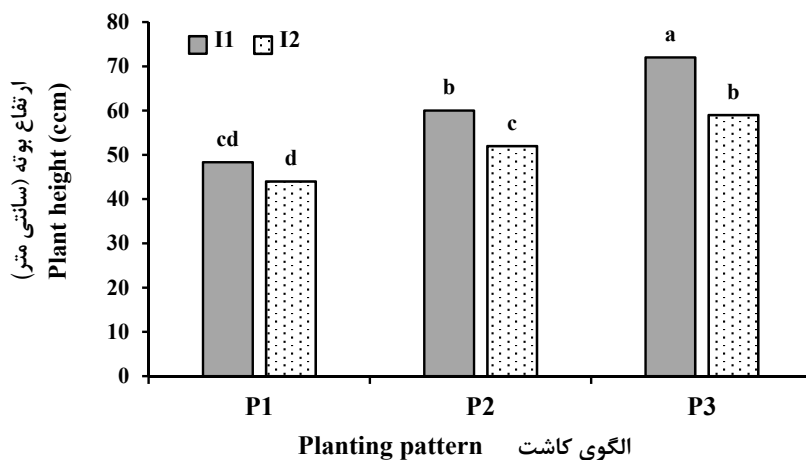
In each column, different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's test

مخلوط روی ردیف‌های جداگانه در روش آبیاری معمول تعلق داشت. کمترین ارتفاع بوته گندم در (۴۴ سانتی‌متر) در کشت خالص گندم در روش آبیاری جزئی ریشه به دست آمد (شکل ۱) که نسبت به بیشترین مقدار ثبت شده، ۳۸/۹ درصد کاهش

بیشترین ارتفاع بوته گندم (۷۲ سانتی‌متر) در کشت مخلوط روی یک ردیف گندم و باقلا در روش آبیاری معمول به دست آمد که بعداز آن، بیشترین ارتفاع بوته گندم به کشت مخلوط روی یک ردیف در روش آبیاری جزئی ریشه و کشت

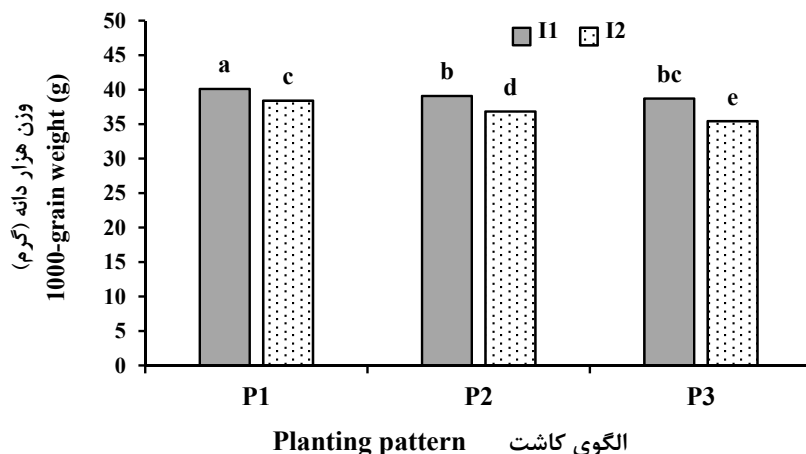
جزئی ریشه) بود (شکل ۲). در شرایط آبیاری معمول، از نظر وزن هزار دانه تفاوت معنی‌داری بین کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و کشت مخلوط روی یک ردیف وجود نداشت ولی با اعمال آبیاری جزئی ریشه، وزن هزار دانه گندم در کشت مخلوط روی یک ردیف به میزان ۳/۸ درصد کاهش یافت (شکل ۲).

داشت. در کشت خالص، اعمال آبیاری جزئی ریشه، ارتفاع بوته گندم را به‌طور معنی‌داری کاهش نداد (شکل ۱). وزن هزار دانه گندم تحت تأثیر الگوی کاشت و روش آبیاری قرار گرفت، به‌طوری‌که بیشترین وزن هزار دانه گندم (۴۰/۱ گرم) در کشت خالص و روش آبیاری معمول به دست آمد که ۱۱/۶ درصد بیشتر از کمترین مقدار به‌دست‌آمده (۳۵/۴ گرم) در کشت مخلوط روی یک ردیف در روش آبیاری



شکل ۱. اثر متقابل الگوی کاشت و روش آبیاری بر ارتفاع بوته گندم. P<sub>1</sub>: کشت خالص گندم؛ P<sub>2</sub>: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P<sub>3</sub>: کشت مخلوط روی یک ردیف؛ I<sub>1</sub>: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I<sub>2</sub>: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Fig. 1. Interaction of planting pattern and irrigation method on plant height of wheat. P<sub>1</sub>: Sole wheat; P<sub>2</sub>: alternate-row intercropping; P<sub>3</sub>: within-row intercropping. I<sub>1</sub>: conventional irrigation; I<sub>2</sub>: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at P≤0.05 according to Duncan's test

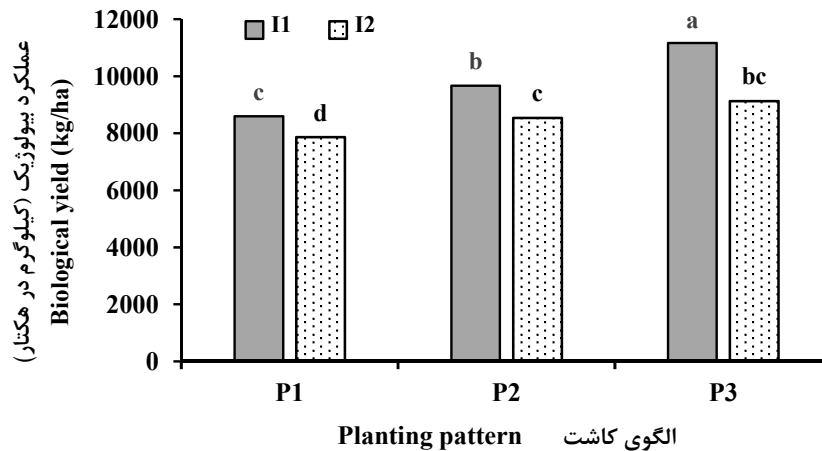


شکل ۲. اثر متقابل الگوی کاشت و روش آبیاری بر وزن هزار دانه گندم. P<sub>1</sub>: کشت خالص گندم؛ P<sub>2</sub>: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P<sub>3</sub>: کشت مخلوط روی یک ردیف. I<sub>1</sub>: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I<sub>2</sub>: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Fig. 2. Interaction of planting pattern and irrigation method on 1000-grain weight of wheat. P<sub>1</sub>: Sole wheat; P<sub>2</sub>: alternate-row intercropping; P<sub>3</sub>: within-row intercropping. I<sub>1</sub>: conventional irrigation; I<sub>2</sub>: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at P≤0.05 according to Duncan's test

به‌دست‌آمده در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و کشت خالص در شرایط آبیاری کامل، تفاوت معنی‌داری نداشت و از عملکرد بیولوژیک به‌دست‌آمده در کشت خالص و روش آبیاری جزئی ریشه به‌طور معنی‌داری (۱۶/۱ درصد) بیشتر بود (شکل ۳).

گندم در شرایط آبیاری معمول و کشت مخلوط روی یک ردیف دارای بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۱۱۷۰ کیلوگرم در هکتار) بود در حالی‌که با اعمال آبیاری جزئی ریشه عملکرد بیولوژیک آن حدود ۱۸ درصد کاهش یافت (شکل ۳). با این حال، عملکرد بیولوژیک گندم در شرایط آبیاری جزئی ریشه و کشت مخلوط روی یک ردیف با عملکرد بیولوژیک



شکل ۳. اثر متقابل الگوی کاشت و روش آبیاری بر عملکرد بیولوژیک گندم. P1: کشت خالص گندم؛ P2: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P3: کشت مخلوط روی یک ردیف. I1: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I2: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Fig. 3. Interaction of planting pattern and irrigation method on biological yield of wheat. P1: Sole wheat; P2: alternate-row intercropping; P3: within-row intercropping. I1: conventional irrigation; I2: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  according to Duncan's test

شد که کاهش عملکرد دانه گندم در شرایط تنش خشکی بیشتر ناشی از کاهش وزن دانه است (Emam et al., 2007) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد که این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت‌های ژنتیکی ارقام مورد استفاده باشد. همچنین مشاهده شد که با اعمال آبیاری جزئی ریشه، وزن دانه گندم در الگوهای کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص کاهش پیدا کرد (در کشت خالص گندم، کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و کشت مخلوط روی یک ردیف میزان کاهش وزن دانه به ترتیب ۴، ۶ و ۹ درصد بود) که نشان می‌دهد در کشت مخلوط و در شرایط کمبود آب، گندم در جذب آب در رقابت با باقلا ضعیف‌تر عمل کرده است که اثر آن بر رشد (ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک) و اجزای عملکرد (تعداد دانه و وزن دانه) گندم نمود پیدا می‌کند. نتایج مشابهی در مورد روند کاهش ارتفاع بوته و عملکرد بیولوژیک گندم در شرایط آبیاری جزئی ریشه مشاهده شد. به‌طوری‌که ارتفاع

عملکرد دانه گندم در تیمارهای آبیاری و الگوهای کشت تحت تأثیر تعداد دانه در بوته و وزن دانه قرار گرفت. آبیاری جزئی ریشه با کاهش تعداد دانه و وزن دانه باعث کاهش عملکرد دانه گندم به میزان ۳۳ درصد نسبت به آبیاری معمول شد. در این مورد در یک پژوهش مشاهده شد که اعمال تنش در مرحله ساقه‌دهی موجب تولید گیاهان کوتاه‌تر و کاهش عملکرد بیولوژیک و دانه در گندم می‌شود (Behdad et al., 2009). این محققین همچنین گزارش کردند که وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه باعث بروز اختلال در پر شدن دانه و کاهش وزن و عملکرد دانه گندم می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر هماهنگی دارد. با این حال، به نظر می‌رسد که در مطالعه حاضر، عملکرد دانه گندم بیشتر از تعداد دانه متأثر شده باشد چراکه با اعمال آبیاری جزئی ریشه، درصد کاهش تعداد دانه (۱۲ درصد) بیشتر از میانگین کاهش وزن دانه (۹/۵ درصد) بوده است. در این مورد در گندم گزارش

وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک باقلا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. روش آبیاری و الگوی کاشت بر تعداد دانه در غلاف، اثر معنی‌داری نداشتند. اثر متقابل روش آبیاری و الگوی کاشت بر ارتفاع بوته (در سطح احتمال پنج درصد) و عملکرد بیولوژیک (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود ولی بر سایر صفات شامل تعداد دانه در غلاف، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

بوته و عملکرد بیولوژیک گندم در کشت خالص، کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و کشت مخلوط روی یک ردیف به ترتیب ۹، ۹، ۱۳، ۱۲، ۱۸ و ۱۸ درصد کاهش پیدا کرد.

### عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا

تجزیه آماری داده نشان داد که اثر روش آبیاری و الگوی کاشت بر ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته،

جدول ۶. تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد دانه باقلا در الگوهای کاشت تحت تأثیر روش‌های مختلف آبیاری

Table 6. Analysis of variance of faba bean yield and yield components in different planting patterns under different irrigation methods.

| S.O.V                | منبع تغییر        | درجه آزادی df | Mean Square |                     |                     |                    | میانگین مربعات    |            |                    |
|----------------------|-------------------|---------------|-------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------|--------------------|
|                      |                   |               | PH          | GP                  | PP                  | GPL                | GW                | BY         | GY                 |
| Replication          | تکرار             | 2             | 66.67**     | 0.375 <sup>ns</sup> | 0.027 <sup>ns</sup> | 1.72 <sup>ns</sup> | 3750**            | 167139**   | 10980**            |
| Irrigation (I)       | آبیاری            | 1             | 1405**      | 0.534 <sup>ns</sup> | 8.0**               | 277**              | 198450**          | 7790924**  | 423682**           |
| Cropping pattern (C) | الگوی کاشت        | 2             | 518**       | 1.134 <sup>ns</sup> | 8.39**              | 255.3**            | 1250**            | 17487698** | 2422934**          |
| I×C                  | آبیاری×الگوی کاشت | 2             | 38.0**      | 0.588 <sup>ns</sup> | 0.095**             | 2.25 <sup>ns</sup> | 150 <sup>ns</sup> | 803524**   | 7998 <sup>ns</sup> |
| Error                | خطا               | 10            | 3.47        | 3.4                 | 0.011               | 0.565              | 150               | 6943       | 7663               |
| CV (%)               | ضریب تغییرات      |               | 3.28        | 19.08               | 1.72                | 4.18               | 1.09              | 1.55       | 5.22               |

PH: ارتفاع بوته؛ GP: تعداد دانه در غلاف؛ PP: تعداد غلاف در بوته؛ GPL: تعداد دانه در بوته؛ GW: وزن هزار دانه؛ BY: عملکرد بیولوژیک؛ GY: عملکرد دانه؛ \* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

PH: Plant height; GP: grain per pod; PP: pod per plant; GPL: grain per plant; GW: 1000-grain weight; BY: biological yield; GY: grain yield; \* and \*\* indicate significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively. ns: not significant

مخلوط روی یک ردیف و کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه بود (جدول ۸).

بیشترین ارتفاع بوته باقلا (۷۶ سانتی‌متر) در کشت مخلوط روی یک ردیف و روش آبیاری معمول به دست آمد و بعد از آن تیمار کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه دارای بیشترین ارتفاع بوته (۶۸ سانتی‌متر) بود (شکل ۴). بین تیمارهای کشت خالص باقلا در آبیاری معمول و الگوهای کشت مخلوط در آبیاری جزئی ریشه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کمترین ارتفاع بوته باقلا در کشت خالص و آبیاری جزئی ریشه به دست آمد که ۴۷ درصد کمتر از مقدار آن در کشت مخلوط روی یک ردیف و روش آبیاری معمول بود (شکل ۴).

نتایج نشان داد که با اعمال آبیاری جزئی ریشه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه باقلا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، به‌طوری‌که مقدار آن‌ها در آبیاری معمول به ترتیب ۱۷، ۴۵/۸ و ۳۵/۹ درصد بیشتر از آبیاری جزئی ریشه به دست آمد (جدول ۷). کشت خالص باقلا دارای وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط بود (جدول ۸). وزن هزار دانه باقلا در کشت مخلوط ۲/۲ درصد کاهش یافت. کشت خالص باقلا در مقایسه با کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و روی یک ردیف به ترتیب به میزان ۳۳/۹۸ و ۵۱/۱۴ درصد از تعداد دانه بیشتری در بوته برخوردار بود. عملکرد دانه باقلا در کشت خالص نیز حدود ۱۲ و ۳۸ درصد به ترتیب بیشتر از کشت



جدول ۷. اثر آبیاری کامل و جزئی ریشه بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه باقلا

Table 7. Effect of conventional and partial root zone irrigation on 1000-grain weight, grain per plant and grain yield of faba bean.

| روش آبیاری<br>Irrigation method                        | عملکرد دانه                           |                                       | وزن هزار دانه<br>1000-grain weight (g) |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--|
|  | Grain yield<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | تعداد دانه در بوته<br>Grain per plant |  |
| آبیاری کامل سیستم ریشه<br>Conventional irrigation      | 2044 <sup>a</sup>                     | 21.9 <sup>a</sup>                     | 1233 <sup>a</sup>                      |
| آبیاری جزئی سیستم ریشه<br>Partial root zone irrigation | 1311 <sup>b</sup>                     | 14.0 <sup>b</sup>                     | 1023 <sup>b</sup>                      |

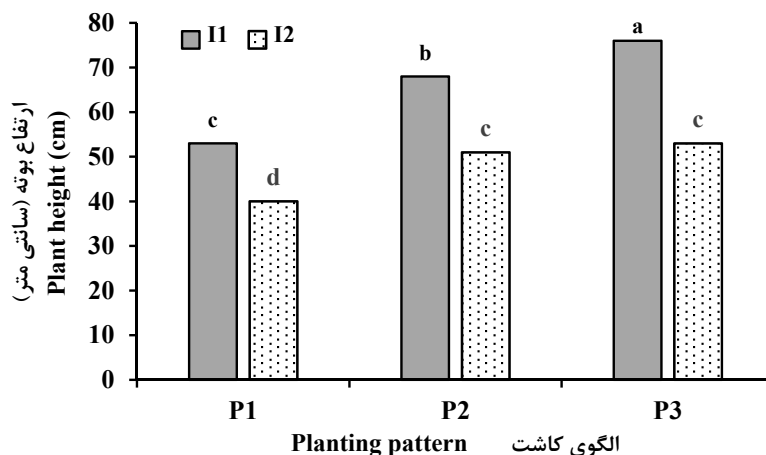
بر اساس آزمون دانکن، در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد است.  
In each column, different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's test

جدول ۸. اثر الگوی کاشت بر وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه باقلا

Table 8. Effect of planting pattern on 1000-grain weight, grain per plant and grain yield of faba bean

| الگوی کاشت<br>Planting pattern                                | عملکرد دانه                           |  | تعداد دانه در بوته<br>Grain per plant |
|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
|   | Grain yield<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | وزن هزار دانه<br>1000-grain weight (g) |                                       |
| کشت خالص گندم<br>Sole wheat                                   | 1922 <sup>a</sup>                     | 1145 <sup>a</sup>                      | 25.1 <sup>a</sup>                     |
| کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه<br>Alternate-row intercropping | 1717 <sup>b</sup>                     | 1120 <sup>b</sup>                      | 16.6 <sup>b</sup>                     |
| کشت مخلوط روی یک ردیف<br>Within-row intercropping             | 1395 <sup>c</sup>                     | 1120 <sup>b</sup>                      | 12.3 <sup>c</sup>                     |

بر اساس آزمون دانکن، در هر ستون، حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد است.  
In each column, different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's test



شکل ۴. اثر متقابل الگوی کاشت و روش آبیاری بر ارتفاع بوته باقلا. P<sub>1</sub>: کشت خالص باقلا؛ P<sub>2</sub>: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P<sub>3</sub>: کشت مخلوط روی یک ردیف. I<sub>1</sub>: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I<sub>2</sub>: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح یک درصد است.

Fig. 4. Interaction of planting pattern and irrigation method plant height of faba bean. P<sub>1</sub>: Sole faba bean; P<sub>2</sub>: alternate-row intercropping; P<sub>3</sub>: within-row intercropping. I<sub>1</sub>: conventional irrigation; I<sub>2</sub>: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.01$  according to Duncan's test

این کاهش در کشت خالص باقلا و کشت‌های مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و روی یک ردیف به ترتیب ۱۶/۵، ۱۷/۲ و

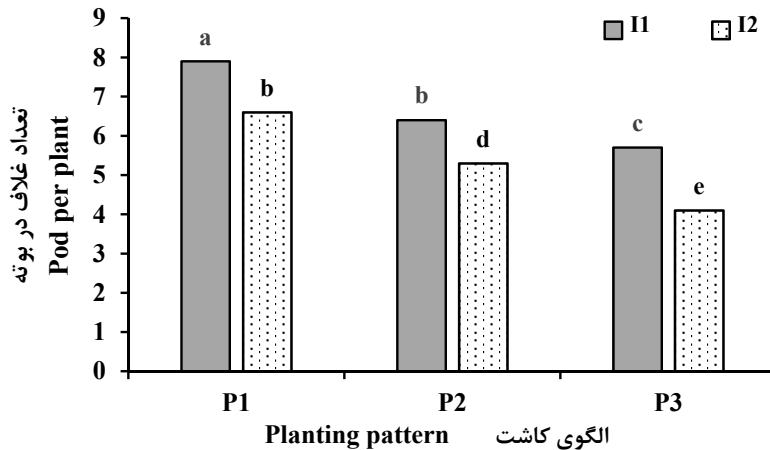
در کلیه الگوهای کاشت، با اعمال آبیاری جزئی ریشه، تعداد غلاف در بوته باقلا کاهش معنی‌داری داشت که مقدار

افزایش ارتفاع بوته در باقلا (با که افزایش عملکرد بیولوژیک همراه است) اگرچه تا حدودی بر افزایش گره‌های تولیدکننده غلاف مؤثر است ولی عمدتاً از طریق افزایش طول میانگره که تأثیری بر تولید غلاف ندارد رخ می‌دهد (Golchin et al., 2013) که با یافته‌های این پژوهش مبنی بر کمتر بودن تولید دانه در کشت مخلوط روی یک ردیف نسبت به کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه (علی‌رغم بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک) مطابقت دارد.

بیشتر بودن عملکرد دانه باقلا در کشت خالص در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط، به دلیل تعداد بیشتر بوته در واحد سطح در کشت خالص بود. اگرچه تعداد بوته در واحد سطح باقلا در کشت مخلوط ردیفی، نصف تراکم آن در کشت خالص بود ولی عملکرد باقلا در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه ۸۸ درصد و در کشت مخلوط روی یک ردیف ۶۲ درصد کشت خالص (بیش از نصف) بود. این موضوع نشان می‌دهد که در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه، باقلا از سایه‌اندازی گندم در کشت مخلوط برای تولید دانه‌ی بیشتر در واحد سطح، سود برده است. این یافته با نتایج سایر محققین (Nasrolahzadeh et al., 2011) که گزارش دادند میانگین عملکرد دانه باقلا در واحد سطح برای بوته‌های تحت سایه باقلا بیشتر از بوته‌های بدون سایه است، همخوانی دارد. همچنین گزارش شده است که میوه‌های باقلا که در سایه قرار می‌گیرند طول دوره پر شدن بیشتری دارند که می‌تواند به افزایش عملکرد دانه منجر شود (Nasrolahzadeh et al., 2007). علی‌رغم اینکه در کشت مخلوط روی یک ردیف، تعداد بوته بیشتری نسبت به کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه وجود داشت ولی عملکرد دانه کمتر از کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه بود. این امر نشان می‌دهد که در کشت مخلوط روی یک ردیف، اثرات منفی رقابت بین گندم و باقلا در کاهش عملکرد دانه باقلا بیشتر از اثرات مثبت سایه-اندازی گندم روی باقلا برای تولید دانه بوده است. در یک تحقیق دیگر نیز کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط درهم جو و ماشک به افزایش رقابت بین‌گونه‌ای نسبت داده شد (Kahrarian et al., 2018) که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. با این حال، نتایج نشان داد که در یک تراکم مشخص، عملکرد دانه باقلا در کشت مخلوط روی یک ردیف بیشتر از کشت خالص بود که حاکی از مزیت کشت مخلوط در تولید دانه باقلا است.

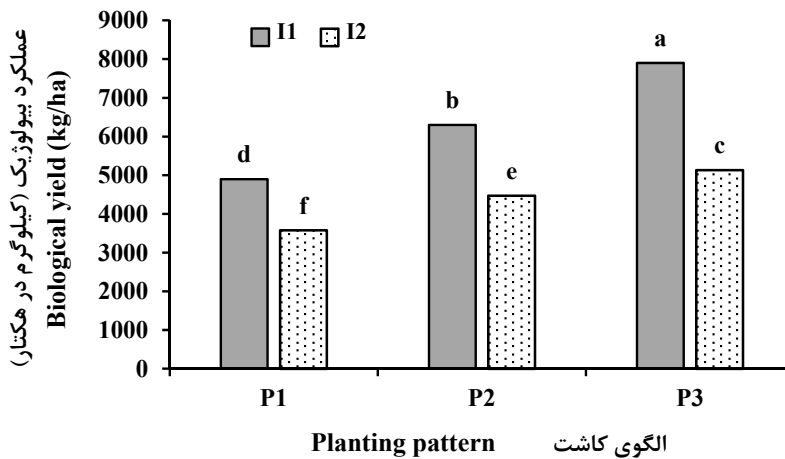
۲۸/۱ درصد بود (شکل ۵). باقلا در کشت خالص در شرایط آبیاری معمول، بیشترین تعداد غلاف در بوته را داشت. همچنین باقلا در روش آبیاری جزئی ریشه تعداد غلاف در بوته بیشتری نسبت به سایر تیمارها (به جز کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه در شرایط آبیاری معمول) داشت (شکل ۵). باقلا، بیشترین عملکرد بیولوژیک را در کشت مخلوط روی یک ردیف و سپس کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه داشت. علی‌رغم اینکه اعمال آبیاری جزئی ریشه باعث کاهش ۳۵ درصدی عملکرد بیولوژیک باقلا در کشت مخلوط روی یک ردیف شد ولی عملکرد بیولوژیک باقلا در این تیمار از عملکرد بیولوژیک به دست آمده در کشت خالص گندم در هر دو روش آبیاری و کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه در روش آبیاری جزئی ریشه بیشتر بود (شکل ۶). کمترین عملکرد بیولوژیک باقلا (۳۵۷۷ کیلوگرم در هکتار) در کشت خالص و در شرایط آبیاری جزئی ریشه تولید شد که ۵۵ درصد کمتر از حداکثر مقدار عملکرد بیولوژیک ثبت شده بود (شکل ۶).

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد دانه در باقلا تحت تأثیر هر دو جزء عملکرد دانه (تعداد دانه و وزن دانه) قرار گرفت (جدول ۶ و جدول ۷) که نتایج گزارش شده در مورد تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه باقلا (Katerji et al., 2011) مطابقت دارد. این محققین مشاهده کردند که تنش خشکی از طریق کاهش تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه باعث کاهش عملکرد دانه باقلا می‌شود. با این حال، نتایج تحقیق حاضر نشان داد کاهش تعداد دانه در بوته در شرایط تنش خشکی ناشی از آبیاری جزئی ریشه، به دلیل کاهش تعداد غلاف در بوته است و از تعداد دانه در غلاف متأثر نیست. کشت‌های مخلوط که دارای ارتفاع بوته (شکل ۴) و عملکرد بیولوژیک (شکل ۶) بیشتری نسبت به کشت خالص بودند، بر اساس تعداد بوته در واحد سطح، عملکرد دانه بیشتری نیز داشتند؛ زیرا بالاتر بودن عملکرد بیولوژیک باعث افزایش پتانسیل تولید دانه در گیاه نیز می‌شود (Kianbakht et al., 2015). با این حال، کمتر بودن عملکرد دانه باقلا در کشت مخلوط روی یک ردیف نسبت به کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه، نشان داد که اگرچه بیشتر بودن عملکرد بیولوژیک در بالا بردن عملکرد دانه مؤثر است (بیشتر بودن عملکرد دانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص) ولی در این مورد نیز محدودیت وجود دارد. گزارش شده است که



شکل ۵. اثر متقابل الگوی کاشت و روش آبیاری بر تعداد غلاف در بوته باقلا. P<sub>1</sub>: کشت خالص باقلا؛ P<sub>2</sub>: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P<sub>3</sub>: کشت مخلوط روی یک ردیف. I<sub>1</sub>: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I<sub>2</sub>: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Fig. 5. Interaction of planting pattern and irrigation method on pod number per plant of faba bean. P<sub>1</sub>: Sole faba bean; P<sub>2</sub>: alternate-row intercropping; P<sub>3</sub>: within-row intercropping. I<sub>1</sub>: conventional irrigation; I<sub>2</sub>: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at P≤0.05 according to Duncan's test



شکل ۶- اثر متقابل الگوی کاشت و روش آبیاری بر عملکرد بیولوژیک باقلا. P<sub>1</sub>: کشت خالص باقلا؛ P<sub>2</sub>: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P<sub>3</sub>: کشت مخلوط روی یک ردیف. I<sub>1</sub>: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I<sub>2</sub>: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Figure 6- Interaction of planting pattern and irrigation method on biological yield of faba bean. P<sub>1</sub>: Sole faba bean; P<sub>2</sub>: alternate-row intercropping; P<sub>3</sub>: within-row intercropping. I<sub>1</sub>: conventional irrigation; I<sub>2</sub>: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at P≤0.05 according to Duncan's test

برابری زمین اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۹). اثر متقابل روش آبیاری و الگوی کاشت بر بهره‌وری آب و نسبت برابری زمین معنی‌دار نبود (جدول ۹).

**بهره‌وری آب و نسبت برابری زمین**

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این است که روش آبیاری و الگوی کاشت بر بهره‌وری آب معنی‌دار بود (جدول ۹) ولی بر نسبت

جدول ۹. نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری آب و نسبت برابری زمین در الگوهای مختلف کاشت تحت تأثیر روش‌های مختلف آبیاری

Table 9. Analysis of variance for water use efficiency and land equivalent ratio in planting patters under different irrigation condition.

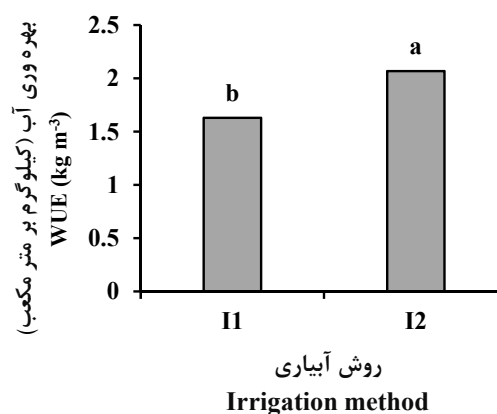
| S.O.V                | منبع تغییر        | درجه آزادی<br>df | میانگین مربعات                      |   |
|----------------------|-------------------|------------------|-------------------------------------|---|
|                      |                   |                  | بهره‌وری آب<br>Water use efficiency | نسبت برابری زمین<br>Land equivalent ratio |
| Replication          | تکرار             | 2                | 0.196*                              | 0.017 <sup>ns</sup>                       |
| Irrigation (I)       | آبیاری            | 1                | 0.159**                             | 0.098 <sup>ns</sup>                       |
| Cropping pattern (C) | الگوی کاشت        | 3                | 0.417**                             | 0.050 <sup>ns</sup>                       |
| I×C                  | آبیاری×الگوی کاشت | 3                | 0.078 <sup>ns</sup>                 | 0.010 <sup>ns</sup>                       |
| Error                | خطا               | 14               | 0.048                               | 0.026                                     |
| CV (%)               | ضریب تغییرات      |                  | 11.9                                | 9.99                                      |

\*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

\* and \*\* indicate significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$ , respectively. ns: not significant

در پژوهش حاضر اعمال آبیاری جزئی ریشه منجر به افزایش بهره‌وری آب شد. آبیاری جزئی ریشه باعث کاهش حدود ۵۰ درصدی مصرف میزان آب (برحسب مترمکعب) شد، درحالی‌که مقدار کاهش عملکرد دانه کمتر از این مقدار بود؛ به عبارت دیگر، کاهش مصرف آب با آبیاری یک‌درمیان پشته‌ها بیش از کاهش عملکرد دانه ناشی از کم‌آبیاری بود که در نتیجه‌ی آن، بهره‌وری آب بهبود یافت. این موضوع با یافته‌های سایر محققین (Due et al., 2006) که آبیاری یک‌درمیان جوی و پشته‌ها را روش مناسبی برای بهبود بهره‌وری آب معرفی کردند، تطابق دارد. بر این اساس، اعمال آبیاری جزئی ریشه می‌تواند ضمن حفظ عملکرد مطلوب گیاهان زراعی، به کاهش قابل‌توجه آب مصرف‌شده برای آبیاری نیز کمک کند (Yang et al., 2011). گزارش شده است که چنانچه سهم آب مصرفی در تعرق از کل آب تلف‌شده در طول دوره رشد افزایش پیدا کند، بهره‌وری آب افزایش پیدا خواهد کرد (Gholinezhad et al., 2011). به نظر می‌رسد در الگوهای کشت مخلوط این امر محقق شده است، چراکه در کشت مخلوط روی یک ردیف، به دلیل اینکه تعداد کل بوته‌ها (مجموع گندم و باقلا) نسبت به کشت‌های خالص بیشتر بود، تراکم بیشتری از ریشه نیز در عمق‌های مختلف خاک وجود داشته است که به جذب بیشتر آب از خاک و افزایش سهم تعرق از آب تلف‌شده در مزرعه منجر می‌شود. به علاوه، به نظر می‌رسد چنین روندی در کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه نیز وجود داشته باشد، چراکه در کشت مخلوط ردیفی یک‌درمیان ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی نیز مصرف آب بیشتر در مقایسه با کشت خالص گزارش شده است

بهره‌وری آب با اعمال آبیاری محدود بهبود پیدا کرد به طوری‌که بهره‌وری آب در تیمار آبیاری جزئی ریشه ۲۷ درصد بیشتر از روش آبیاری معمول بود (شکل ۷). همچنین بهره‌وری آب در کشت‌های مخلوط بیشتر از کشت‌های خالص گندم و باقلا بود. تفاوت معنی‌داری بین الگوهای مختلف کشت مخلوط از نظر بهره‌وری آب وجود نداشت (شکل ۸). بهره‌وری آب بین کشت خالص گندم و باقلا تفاوت معنی‌داری نداشت. به‌طور میانگین بهره‌وری آب در کشت مخلوط حدود ۵۹ درصد بیشتر از کشت‌های خالص بود (شکل ۸).



شکل ۷. اثر روش آبیاری بر بهره‌وری آب. I1: آبیاری کامل سیستم ریشه؛ I2: آبیاری جزئی سیستم ریشه. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

Fig. 7. Effect of irrigation method on water use efficiency I1: conventional irrigation; I2: partial root zone irrigation. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  according to Duncan's test

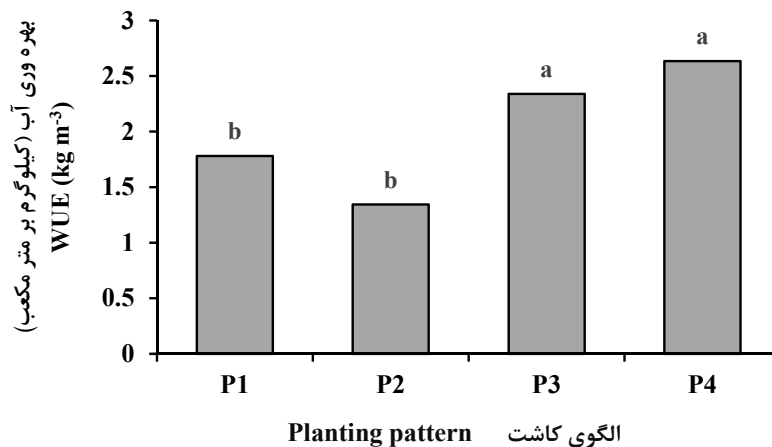
کشت خالص از نظر بهره‌برداری از زمین را تحت تأثیر قرار نداد و کشت مخلوط گندم و باقلا در شرایط آبیاری جزئی ریشه نیز نسبت به کشت خالص دو گیاه دارای مزیت است. نتایج مشابهی توسط سایر محققین (Eskandari et al., 2019) در مورد مزیت کشت مخلوط ذرت و ماش نسبت به کشت خالص آن‌ها در شرایط آبیاری کامل و جزئی ریشه گزارش شده است.

#### نتیجه‌گیری

آبیاری جزئی ریشه عملکرد دانه گندم و باقلا را کاهش داد. با این حال، با توجه به اینکه میزان کاهش عملکرد دانه گندم و باقلا در مقایسه با کاهش میزان مصرف آب ناچیز بود، آبیاری جزئی ریشه با افزایش بهره‌وری آب در کشت خالص و مخلوط گندم منجر شد. در نهایت، در مناطقی که در تأمین منابع آب دارای محدودیت هستند، کشت مخلوط گندم و باقلا را می‌توان برای بهبود بهره‌وری از آب و زمین بکار برد.

(Eskandari and Javanmard, 2013). بر این اساس، بهره‌وری آب در کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص گندم و باقلا بود (شکل ۸).

اگرچه نسبت برابری زمین در کشت مخلوط تحت تأثیر روش آبیاری قرار نگرفت و بین تیمارهای مختلف کشت مخلوط تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ولی هر دو الگوی کشت مخلوط بالاتر از یک بود که نشان‌دهنده‌ی مزیت کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از نظر بهره‌برداری زمین است. به طوری که نسبت برابری زمین در کشت مخلوط روی یک ردیف و روی ردیف‌های جداگانه به ترتیب  $1/68$  و  $1/55$  به دست آمد که به معنی مزیت  $68$  و  $55$  درصدی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص است. یافته‌های نسبت برابری زمین در کشت مخلوط نشان می‌دهد که در کشت خالص برای تولید عملکرد مشابه با کشت مخلوط، نسبت به کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه و کشت مخلوط روی یک ردیف، به ترتیب به  $68$  و  $55$  درصد زمین بیشتری مورد نیاز است. عدم معنی‌دار بودن اثر آبیاری بر نسبت برابری زمین (جدول ۹) نشان می‌دهد که محدودیت آبیاری، مزیت کشت مخلوط نسبت به



شکل ۸. اثر الگوی کاشت بر بهره‌وری آب. P1: کشت خالص باقلا؛ P2: کشت مخلوط روی ردیف‌های جداگانه؛ P3: کشت مخلوط روی یک ردیف. حروف متفاوت بر اساس آزمون دانکن بیانگر اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج درصد است.  
 Fig. 6. Effect of planting pattern on water use efficiency. P1: Sole faba bean; P2: alternate-row intercropping; P3: within-row intercropping. Different letters indicate significant difference at  $P \leq 0.05$  according to Duncan's test

#### منابع

Adu, M.O., Yawson, D.O., Armah, F.A., Asare, P.A., 2018. Meta-analysis of crop yields of full, deficit and partial root zone drying irrigation. *Agricultural Water Management*. 197, 79-90.

Afsharmanesh, G.R., 2013. Effect of maize and potato intercropping on yield and yield components in early spring planting in Jiroft

- region. Iranian Journal of Crop Sciences. 14(4), 333-345. [In Persian with English Summary].
- Ahmadi, K., 2018. Agricultural statistics of 2016-17 growing season. Publication of Jahade-Agriculture. [In Persian].
- Behdad, M., Paknejad, F., Vazan, S., Ardakani, M.R., Nasri, M., 2009. Effect of drought stress on yield and yield components at different growth stages of wheat cultivars. Journal of Crop Production Research. 1(2), 143-157. [In Persian with English Summary].
- Due, T.S., Kang, S.Z., Zhang, J.H., Li, F.S., 2006. Yield and physiological responses of cotton to partial root-zone irrigation in the oasis of northwest China. Agricultural Water Management. 84, 41-52.
- Emam, Y., Ranjbar, A.M., Bahrani, M.J., 2007. Evaluation of yield and yield components in wheat genotypes under post-anthesis drought stress. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 11(1), 317-327. (In Persian with English Summary).
- Eskandari, H., Alizadeh-Amraie, A., Kazemi, K., 2019. Effect of drought stress caused by partial root zone irrigation on water use efficiency and grain yield of maize (*Zea mays* L.) and mung bean (*Vigna radiata* L.) in different intercropping planting patterns. Environmental Stresses in Crop Sciences, 12(1), 387-399. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Alizadeh-Amraie, A., 2016. Dry matter production and weeds growth in additive series of maize and cowpea intercropping in the consumption of some environmental resources under north Khuzestan climatic conditions. Research in Field Crops. 2(2): 46-57. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Alizadeh-Amraie, A., 2018. Effect of planting pattern and alternate furrow irrigation on productivity of water and land under wheat and Persian clover intercropping. Journal of Water Research in Agriculture. 32, 179-187. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Ghanbari, A., 2010. Influence of different intercropping pattern of corn and cowpea on light interception, forage yield and weed biomass. Production Science. 1(20), 49-57. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Ghanbari, A., 2012. Evaluation of competition and complementarity of corn and cowpea intercropping for nutrient consumption. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 2(21), 67-75. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Javanmard, A., 2013. Evaluation of forage yield and quality in intercropping patterns of maize and cowpea. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 4(23), 101-111. [In Persian with English Summary].
- Eskandari, H., Kazemi, K., 2016. The ecological role and importance of faba bean in agronomical systems. Proceedings of the 3th national Conference on new findings in environmental and agricultural ecosystems. Tehran, Iran. Pp. 1-6.
- Gholi Nejad, A., Yadavi, A., Movahhedi Dehnavi, M., Farajee, H., 2018. The effect of additive intercropping on yield and yield components of sweet corn and mung bean and weed biomass. Journal of Agroecology. 10(1), 120-134. [In Persian with English Summary].
- Gholinezhad, E., Ayenehband, A., Hassanzadeh Ghourt tapeh, A., Noormohammadi, G., Bernousi, I., 2010. Effect of irrigation regime on water and nitrogen use efficiency in sunflower at various levels of n-application and plant density under Urmia climate conditions. Journal of Soil and Water Science. 1(20), 27-45. [In Persian with English Summary].
- Golchin, E., Zeinali, E., Pouri, K., 2013. Studying grain and green pod yield, and grain yield components as affected by inter- and intra- row spacing in faba bean, Barakat cultivar. Iranian Journal of Pulses Research. 4, 9-20. [In Persian with English Summary].
- Hamzei, J., Ghamari Rahim, N., 2014. Evaluation of corn-soybean intercropping advantages using agronomic and weed control efficiency indices. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 3(24), 61-74. [In Persian with English Summary].
- Hu, T., Yuan, L., Wang, J., Shaozhong, K., Fusheng, L., 2010. Antioxidation responses of maize roots and leaves to partial root zone irrigation. Agricultural Water Management. 98, 164-171.
- Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., Gharekhany, G., 2016. Agronomical, ecological and economical evaluation of wheat-chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production. 1(26), 19-37. [In Persian with English Summary].

- Kahrarian, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., Rashidi, V., 2018. Evaluation of barley and vetch intercropping. *Journal of Crop Echophysiology*. 12(4), 651-670. [In Persian with English Summary].
- Kang, S.Z., Zhang, J. H., 2004. Controlled alternate partial root zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*. 55, 2437-2446.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., Lahmer, F.Z., Maalouf, F., Oweis, F., 2011. Faba bean productivity in saline-drought conditions. *European Journal of Agronomy*. 35, 2-12.
- Khatamipour, M., Asgharipour, M.R., Sirosmehr, A., 2014. Intercropping benefits of foxtail millet with mung bean as influenced by application of different manure levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 3(24), 75-86. [In Persian with English Summary].
- Kiyanbakht, M., Zeinali, E., Siahmarguee, A., Sheikh, F., Pouri, G.M., 2015. Effect of sowing date on grain yield and yield components and green pod yield of three faba bean cultivars in Gorgan climatic conditions. *Journal of Crop Production*. 1(8), 99-119. [In Persian with English Summary].
- Kriedemann, P., Goodwin, I., 2003. Irrigation insights- No 4: regulated-deficit irrigation and partial root-zone drying- an information package on two new irrigation methods for high-input horticulture. National Program for Sustainable Irrigation, Canberra, Australia.
- Koocheki, A.R., Fallahpour, F., Khorramdel, S., Jafari, L., 2014. Evaluation of wheat and rapeseed intercropping effect on yield and yield component and density and diversity of weeds. *Journal of Agroecology*. 6(1), 11-20. [In Persian].
- Li, F.S., Yu, J.M., Nong, M.I., Kang, S.Z., Zhang, J.H., 2010. Partial root-zone irrigation enhanced soil enzyme activities and water use of maize under different ratios inorganic to organic nitrogen fertilizers. *Agricultural Water Management*. 97, 231-239.
- Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dordas, C.A., Yiakoulaki, M.D., 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*. 99, 106-113.
- Nasrollah-zadeh, S., Ghassemi-Golezani, K., Raey, Y., 2011. Effect of shading on rate and duration of grain filling and yield of faba bean cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 3(21), 47-56. [In Persian with English Summary].
- Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K., Javanshir, A., Shakiba, M.R., Mohammadi, S.A., 2007. Effects of shade stress on ground cover and grain yield of faba bean. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 5(1), 337-340. [In Persian with English Summary].
- Sadrabadi Haghighi, R., Koocheki, A.R., 2004. Intercropping of wheat and hairy vetch with complementary irrigation in a low input dry land farming system. *Journal of Agricultural Sciences*. 2(9), 105-118. [In Persian].
- Sadras, V.O., 2009. Does partial root-zone drying improve irrigation water productivity in the field? A meta-analysis. *Irrigation Science*. 27, 183-190.
- Tang, L.S., Li, Y., Zhang, J., 2005. Physiological and yield responses of cotton under partial root-zone irrigation. *Field Crops Research*. 94 (2), 214-223.
- Wang, Z., Zhao, X., Chen, X., 2015. Effects of water limitation on yield advantage and water use in wheat/maize strip intercropping. *European Journal of Agronomy*. 71, 149-159.
- Willey, R.W., 1979. Intercropping: Its Importance and Research Needs. Part 1, Competition and Yield Advantages. Commonwealth Agricultural Bureaux Press., Farmhand.
- Yang, C., Huang, G., Chai, Q., Luo, Z., 2011. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. *Field Crops Research*. 124, 426-432.
- Yechun, L., Zhaohai, Z., Changzhong, R., Yuegao, H., 2012. Water use efficiency and physiological responses of oat under alternate partial root zone irrigation in the semiarid areas of northeast China. *Procedia Engineering*. 28, 33-42.



*Original article*

## Response of grain yield and water use efficiency of wheat and faba bean to partial root-zone irrigation in intercropping

H. Eskandari<sup>1\*</sup>, K. Kazemi<sup>2</sup>

1. Associate Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received 11 February 2019; Accepted 31 March 2019

### Abstract

In order to evaluate the effect of irrigation method and planting patterns on grain yield and water use efficiency (WUE) of wheat and faba bean, a field experiment in factorial based on RCBD with three replications was carried out in Shadegan during 2018 growing season. The first factor included irrigation method (conventional and partial root-zone irrigation) and the second factor was different planting patterns (sole wheat and faba bean, alternate and within row intercropping of wheat and faba bean). Deficit irrigation reduced grain yield of wheat by 24.4%. With partial root-zone irrigation, grain weight, plant height and biological yield of wheat in reduced in sole cropping by 4%, 9%, 9%, in alternate intercropping by 6%, 13%, 12% and in within-row intercropping by 9%, 18%, 18%, respectively. In partial root-zone irrigation, grain weight, grain per plant and grain yield of faba bean reduced by 17%, 45.8% and 35.9%, respectively. Grain yield of faba bean in alternate-row and within-row intercropping was 88% and 62% of those achieved in sole cropping, indicating the advantage of intercropping for faba bean. WUE improved by partial root-zone irrigation (27%) and intercropping (59%). Land equivalent ratio of alternate and within row intercropping was 1.68 and 1.55, indicating the advantage of intercropping.

**Keywords:** Deficit irrigation, Land equivalent ratio, Multiple cropping, Water use