Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۳/ شماره ۲/ پیاپی ۳۳/ تابستان ۱۳۹۸ (۸۱-۹۰)

بررسی بهبود بهره‌وری آب با به کارگیری سامانه استحصال آب باران و آبیاری تکمیلی برای گیاه جو

مهدی علی‌خاصی[۱*]، مهدی کوچک‌زاده[۲]، علیرضا توکلی[۳] و رمضان طهماسبی[۴]

چکیده

با توجه به کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیرکشت محدودیت دارد و باید رویکرد استفاده بهینه از بارش و آبیاری برای افزایش بهره‌وری آب مدنظر قرار گیرد. به‌منظور تعیین تأثیر سیستم‌های جمع‌آوری آب باران و آبیاری تکمیلی بر شاخص‌های بهره‌وری آب بر گیاه جو زمستانه (*Hordeum vulgare* L.) آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۰-۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس به اجرا درآمد. این بررسی در قالب طرح کرت‌های خرد شده به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری تکمیلی در پنج سطح (دو مرتبه با آب، دو مرتبه با فاضلاب، یک مرتبه با آب، یک مرتبه با فاضلاب و عدم آبیاری تکمیلی) به‌عنوان کرت اصلی و تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران در سه سطح (کوبیده شده، کوبیده نشده و طبیعی) به‌عنوان کرت فرعی و کشت دیم جو رقم آبیدر به‌عنوان شاهد تعریف شده‌اند. نتایج نشان داد اعمال یک مرتبه اعمال آبیاری تکمیلی بیشینه بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد زیست توده و عملکرد دانه را به دنبال داشته است و به‌ترتیب سبب افزایش ۶/۳ و ۱۳/۲ درصدی نسبت به عدم اعمال آبیاری تکمیلی شد. همچنین، استفاده از سطوح کوبیده‌شده جمع‌آوری آب باران به سبب افزایش بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده به‌ترتیب به میزان ۱۵/۸، ۱۴/۹ درصد نسبت به سطوح طبیعی شد.

واژه‌های کلیدی: جمع‌آوری آب باران، عملکرد، فاضلاب تصفیه شده، *Hordeum vulgare* L.

ارجاع: علی‌خاصی م. کوچک‌زاده م. توکلی ع. و طهماسبی ر. ۱۳۹۸. بررسی بهبود بهره‌وری آب با به کارگیری سامانه استحصال آب باران و آبیاری تکمیلی برای گیاه جو. مجله پژوهش آب ایران. ۳۳: ۸۱-۹۰.

۱- دانش‌آموخته دکتری رشته آبیاری و زهشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۲- دانشیار گروه آبیاری و زهشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
۳- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان (شاهرود).
۴- استادیار گروه آبیاری، مؤسسه علمی-کاربردی جهاد کشاورزی.
نویسنده مسئول: mahdi.alikhasi@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۱۳

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

یکی از عوامل اصلی و محدودکننده توسعه بخش کشاورزی ایران، کمبود آب است. ناکافی بودن رطوبت خاک در طول دوره رشد در بیشتر مناطق ایران، گیاهان را تحت تنش کم‌آبی قرار می‌دهد (طهماسبی، ۱۳۸۵). در مناطق خشک، آب نسبت به زمین، عامل محدود کننده‌تری در بهبود و افزایش تولیدات کشاورزی است (اویس و هاکوم، ۲۰۰۴). در پژوهش‌های مختلف مشخص شد که عملکرد در واحد سطح، شاخص مناسبی برای ارزیابی تیمارهای آبیاری به ویژه در شرایط محدودیت آب به شمار نمی‌رود (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰) و شاخص بهره‌وری آب معیار مناسبی برای برنامه‌ریزی آبیاری بهینه غلات محسوب می‌شود (ژانگ و اویس، ۱۹۹۹). براساس آمار، عملکرد جو دیم طی پنج سال در سطح کشور، مقدار میانگین شاخص بهره‌وری بارش برای مناطق با بارش متوسط سالانه ۲۵۰ میلی‌متر، بین ۱/۷ تا ۴/۵ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار (۰/۱۷ تا ۰/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب) گزارش شده است (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). مسأله کم بودن بهره‌وری بارش، معضل کشورهای منطقه است به طوری که متوسط بهره‌وری بارش در غرب آسیا و شمال آفریقا در تولید غلات دیم حدود ۳/۵ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار است و با مدیریت زراعی و توزیع مناسب بارش تا ۱۰ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار افزایش می‌یابد (اویس و هاکوم، ۲۰۰۴). در منطقه نیمه‌خشک شمال غربی کشور چین که ۸۰ درصد از اراضی به کشت دیم اختصاص دارد، تولید گیاهی فقط ۲۵ تا ۳۳ درصد از پتانسیل تولید است و مقدار شاخص بهره‌وری آب در این منطقه بین ۵-۶ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار در شرایط تنش گیاه است (لی و همکاران، ۲۰۰۰؛ لی و همکاران، ۲۰۰۱).

در پژوهش‌های مختلف تأثیر مثبت آبیاری تکمیلی بر بهره‌وری آب گزارش شده است (اویس و همکاران، ۲۰۰۱، دنگ و همکاران، ۲۰۰۲، فاکس و روکستروم، ۲۰۰۳، تدین و همکاران، ۲۰۱۲). انجام آبیاری تکمیلی، سبب افزایش بهره‌وری آب در کشت دیم گیاه جو به میزان ۱۸/۶ درصد شد (صبوحی و همکاران، ۲۰۱۲). با اعمال حد بهینه آبیاری، مقدار بهره‌وری آب مصرفی (مجموع بارش و آبیاری) غلات دیم از ۳/۵ به ۲۲/۱ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار رسید (اویس و همکاران، ۱۹۹۹).

عواملی مانند انتخاب رقم مناسب، تاریخ کاشت مناسب، برنامه‌ریزی آبیاری، کم آبیاری، مقدار و توزیع بارش، مدیریت‌های زراعی و مصرف بهینه نهاده‌ها نیز در بهبود شاخص بهره‌وری آب در کشت دیم مؤثر است (توکلی و اویس، ۲۰۰۴؛ کانترو مارتینز و همکاران، ۲۰۰۷؛ گیرتز و رایز، ۲۰۰۹). افزایش کارایی مصرف آب در نتیجه احداث سامانه‌های جمع‌آوری آب باران در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است (نوازخان و همکاران، ۲۰۰۷؛ کو و همکاران، ۲۰۱۲؛ روکستروم و همکاران، ۲۰۰۲؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۱۳؛ کاهیندا و همکاران، ۲۰۰۶؛ تمیسگن، ۲۰۱۲). هدف از این پژوهش بررسی بکارگیری سامانه استحصال آب باران در افزایش بهبود بهره‌وری آب در سطوح آبگیر مختلف با به‌کارگیری هم‌زمان از آبیاری تکمیلی است.

مواد و روش‌ها

این طرح در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس در فاصله ۱۶ کیلومتری غرب شهر تهران در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ اجرا شد. اراضی مورد نظر در طول جغرافیایی ′۱۰ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۵ °۳۵ شمالی با ارتفاع ۱۲۶۹ متر از سطح دریا است. بافت خاک منطقه تا عمق ۳۰ سانتی متری، لومی شنی و به‌ترتیب با درصد شن، سیلت و رس ۶۷، ۱۹ و ۱۴ درصد و مقدار ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی (PWP) به‌ترتیب ۲۱ و ۹ درصد حجمی است. در جدول ۱ توزیع ماهانه مقدار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل در طول دوره رشد در ایستگاه سینوپتیک چیتگر در فاصله ۲ کیلومتری از محل طرح ارائه شده است.

این پژوهش در قالب طرح کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آبیاری تکمیلی شامل زمان، کمیت و کیفیت آب آبیاری در پنج سطح به‌عنوان کرت اصلی و تیمارهای سطوح رواناب در استحصال و جمع‌آوری آب باران در سه سطح به‌عنوان کرت فرعی تعریف شده‌اند. تیمارهای آبیاری شامل دو نوبت آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده (2W)، دو نوبت آبیاری تکمیلی با آب معمولی (2F)، یک نوبت آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده (1W)، یک نوبت آبیاری تکمیلی با آب معمولی (1F) و عدم اعمال آبیاری تکمیلی (0F) بود. تیمارهای سطوح

www.SID.ir

Archive of SID

رواناب در استحصال و جمع‌آوری آب باران شامل سطح کوبیده شده (S2)، سطح کوبیده نشده (S1) و سطح طبیعی (S0) است. همچنین، کشت دیم جو رقم آبیدر (RF) به‌عنوان شاهد برای محاسبه شاخص‌های بهره‌وری آب در مجاورت کرت‌ها درنظر گرفته شد.

جمع‌آوری آب باران به روش سطوح نواری انجام شد. در این روش، زمین به دو بخش تقسیم‌بندی می‌شود، بخش بالادست به‌عنوان سطح جمع‌آوری کننده آب درنظر گرفته می‌شود و بخش پایین‌دست به کشت محصول اختصاص داده می‌شود که بازدهی آن تحت تأثیر میزان رواناب از سطح بالادست خواهد بود. شیب‌بندی سطوح جمع‌آوری آب باران با استفاده از شیلنگ تراز انجام شد و در فاکتورهای خاک کوبیده شده و خاک کوبیده نشده عملیات سطح‌سازی با شیب ۵ درصد انجام و سطح کرت یکنواخت شد. همچنین در کرت‌های خاک کوبیده شده، کوبیدن خاک با استفاده از غلطک دستی انجام و کشت گیاه جو (رقم آبیدر) در تاریخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۰انجام شد. اندازه هر کرت ۳×۶ متر به‌صورت طولی با نسبت سطح کاشت به سطح رواناب برابر ۱:۱ درنظر گرفته شد. فاصله یک متری بین سطوح جمع‌آوری آب باران برای عدم تأثیر گذاری تیمارها روی یکدیگر درنظر گرفته شد. آبیاری تکمیلی در زمان پر شدن دانه انجام شد. حجم آب اضافه شده براساس کمبود رطوبت خاک تا عمق ۴۵ سانتی‌متری خاک محاسبه شد. مقدار حجم آب اعمال شده در هر کرت با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. آبیاری تکمیلی اول در تاریخ ۱۳۹۱/۰۲/۰۱ و آبیاری تکمیلی دوم در تاریخ ۱۳۹۱/۰۲/۱۵ اعمال شد. آبیاری تکمیلی در تیمارهای 1F و 1W در نوبت اول و در تیمارهای 2F و 2W در هر دو نوبت اول و دوم انجام شد.

جدول ۱- آمار بارندگی و دما در طول دوره رشد

ماه	بارش (میلی‌متر)	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	ماه	بارش (میلی‌متر)	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر)
آبان*	۳۹/۸	۱۱/۸	اسفند	۶/۰	۷۷/۱
آذر	۷/۲	۲۹/۱	فروردین	۵۴/۰	۱۳۴/۹
دی	۱۵/۹	۳۶/۰	اردیبهشت	۹/۲	۱۸۳/۸
بهمن	۵۲/۰	۴۷/۴	خرداد	۰/۲	۱۰۴/۷
			طول دوره	۱۸۴	۶۲۴/۸

* داده‌ها از ۲۱ آبان (زمان کاشت) درنظر گرفته شده است.

فاضلاب تصفیه شده از تصفیه‌خانه شهرک قدس تهران تأمین شد. ویژگی‌های آب و فاضلاب تصفیه شده در جدول ۲ ارائه شده است. نگهداری و مراقبت‌های زراعی از گیاه جو در طول دوره رشد با حذف علف‌های هرز و کاربرد کود اوره به میزان ۸۵ کیلوگرم در هکتار (نیمی در زمان کاشت و نیمی در بهار) انجام شد.

برداشت جو در تاریخ ۱۳۹۱/۰۳/۱۴ و به‌صورت دستی انجام شد. نمونه‌گیری از نیم متر کناره‌های کرت برای حذف اثر حاشیه‌ای انجام نشد. برداشت جو در هر یک از کرت‌ها از سه قسمت ابتدایی، میانی و انتهایی کرت در مساحت دو متر مربع انجام شد. مقدار عملکرد زیست‌توده و دانه، با استفاده از نمونه‌های برداشت شده از کرت اندازه‌گیری و شاخص‌های بهره‌وری آب مصرفی با توجه به مقدار آب در اختیار قرار گرفته در هر یک از تیمارها و با استفاده از معادلات (۱) تا (۴) تعیین شد.

$$TWP_{gy} = \frac{GY}{TWU} \quad (۱)$$

$$TWP_{ty} = \frac{TY}{TWU} \quad (۲)$$

$$IWP_{gy} = \frac{GY - GY_{RF}}{TWU - R} \quad (۳)$$

$$IWP_{ty} = \frac{TY - TY_{RF}}{TWU - R} \quad (۴)$$

که در آن TWP_{gy} بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد دانه؛ TWP_{ty} بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد زیست توده؛ IWP_{gy} بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد دانه؛ IWP_{ty} بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد زیست توده؛ GY عملکرد دانه؛ TY عملکرد زیست توده؛ GY_{RF} عملکرد دانه در تیمار شاهد؛ TY_{RF} عملکرد زیست توده در تیمار شاهد؛ TWU مقدار کل آب کاربردی؛ R مقدار بارش.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- ویژگی‌های آب آبیاری و فاضلاب تصفیه شده

پارامتر	فاضلاب تصفیه شده	آب آبیاری	پارامتر	فاضلاب تصفیه شده	آب آبیاری
pH	۷/۵	۷/۲	نیتریت ($mg\ L^{-1}$)	۱۸/۲	۲/۴
شوری ($dS\ m^{-1}$)	۱/۳	۰/۸	نیاز اکسیژن خواهی بیولوژیکی ($mg\ L^{-1}$)	۷/۸	-
پتاسیم ($mg\ L^{-1}$)	۲۱/۳	۱/۴	نیاز اکسیژن خواهی شیمیایی ($mg\ L^{-1}$)	۱۳/۵	-
فسفر ($mg\ L^{-1}$)	۳/۶	۰/۶	کلیفرم مدفوعی ($MPN\ 100\ ml^{-1}$)	۷۶۵	-
نیترات ($mg\ L^{-1}$)	۱/۹	۰/۳	مواد معلق کل ($mg\ L^{-1}$)	۴/۸	۱/۳

آب کاربردی

اجزای آب کاربری شامل بارش، تخلیه رطوبتی خاک، آبیاری تکمیلی و رواناب رسیده به کرت است. مقدار بارش و آبیاری تکمیلی اعمال شده در قسمت قبل توضیح داده شد. مقدار رطوبت خاک در عمق‌های مختلف در ابتدا و انتهای دوره رشد در جدول ۳ ارائه شده است.

مقدار رواناب رسیده در هر یک از سطوح جمع‌آوری آب باران با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه سینوپتیک چیتگر و مقدار آستانه و ضریب رواناب به‌دست آمده از نتایج پژوهش‌های انجام شده قبلی تعیین شد (توکلی، ۱۳۹۲؛ هادسون، ۱۹۸۷؛ کی و همکاران، ۲۰۰۸؛ ژایویان و همکاران، ۲۰۰۴؛ شارما، ۱۹۸۶، بوئر، ۱۹۹۴؛ اویس و هکوم، ۲۰۰۴؛ اویس و همکاران، ۱۹۹۸). با توجه به بررسی‌های انجام شده در خصوص مقدار آستانه و ضریب رواناب در پژوهش‌های مختلف، مقادیر ضریب و آستانه رواناب درنظر گرفته شده در تیمارهای مختلف در جدول ۴ ارائه شده است.

مقدار آب آبیاری تکمیلی براساس مقدار رطوبت خاک تا عمق توسعه ریشه محاسبه و اعمال شد که مقدار رطوبت خاک قبل از انجام آبیاری تکمیلی و مقدار آب آبیاری تکمیلی در جدول ۵ ارائه شده است.

با توجه به مقدار بارش، رطوبت اولیه خاک، رواناب رسیده به کرت و آبیاری تکمیلی اعمال شده، مقدار آب کاربردی در هر یک از تیمارهای بدون آبیاری تکمیلی، یک نوبت آبیاری تکمیلی و دو نوبت آبیاری تکمیلی به‌ترتیب در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر رطوبت اولیه و نهایی در عمق‌های مختلف خاک

شرح	عمق (سانتی‌متر)		
	۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵
رطوبت اولیه (درصد حجمی)	۲۲/۸	۲۱/۹	۲۲/۱
رطوبت نهایی (درصد حجمی)*	۹/۰	۹/۰	۱۰/۳
مقدار تفاوت رطوبت (میلی‌متر)		۵۷/۹	

* درصورتی که رطوبت نهایی کمتر از مقدار PWP بوده مقدار PWP جایگزین شده است.

جدول ۴- مقادیر رواناب ایجاد شده در سطوح جمع‌آوری آب باران

تیمار	آستانه رواناب (میلی‌متر)	ضریب رواناب (درصد)	مقدار بارش بیش از آستانه رواناب (میلی‌متر)	مقدار رواناب رسیده به کرت (میلی‌متر)
سطح طبیعی	۵/۰	۲۵	۱۲۲/۴	۳۰/۶
سطح کوبیده نشده	۴/۲	۳۵	۱۳۲/۴	۴۶/۳
سطح کوبیده شده	۳/۵	۴۵	۱۵۲/۶	۶۸/۶

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقدار رطوبت قبل از اعمال تیمارهای آبیاری تکمیلی و مقدار آب اعمال شده

آبیاری تکمیلی اول		آبیاری تکمیلی دوم	
رطوبت حجمی (%)	آب اعمال شده (mm)	رطوبت حجمی (%)	آب اعمال شده (mm)
۹/۷	۵۱	۱۰/۳	۴۸

جدول ۶- مقادیر آب کاربردی در تیمارهای مختلف- میلی‌متر

تیمار	بدون آبیاری تکمیلی	یک نوبت آبیاری تکمیلی	دو نوبت آبیاری تکمیلی
سطح طبیعی	۲۷۲/۵	۳۲۳/۵	۳۷۱/۵
سطح کوبیده نشده	۲۸۸/۲	۳۳۹/۲	۳۸۷/۲
سطح کوبیده شده	۳۱۰/۵	۳۶۱/۵	۴۰۹/۵

تحلیل آماری

تجزیه واریانس از طریق مدل خطی تعمیم یافته (GLM) و بعد از حصول اطمینان از نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

اثر آبیاری تکمیلی، سطوح جمع‌آوری آب باران و اثر متقابل آبیاری تکمیلی در سطوح جمع‌آوری آب باران بر عملکرد دانه معنی‌دار شد (جدول ۷). در سطوح آبیاری تکمیلی بیشترین میزان عملکرد دانه مربوط به تیمار 2W (۲۳۳۷ کیلوگرم بر هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار 0F (۱۴۶۴ کیلوگرم بر هکتار) است (جدول ۸). همچنین آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده سبب افزایش عملکرد دانه شد ولی این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌داری نیست. اعمال یک و دو بار آبیاری تکمیلی به طور متوسط به‌ترتیب سبب افزایش ۳۵/۶ و ۵۳/۵ درصدی عملکرد دانه نسبت تیمار 0F شده است (جدول ۸). همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، اعمال دو نوبت آبیاری تکمیلی به طور متوسط سبب افزایش ۱۳ درصدی در عملکرد دانه نسبت به اعمال یک نوبت آبیاری تکمیلی شد که با نتایج قبلی هماهنگی دارد (ابوراشد و همکاران، ۲۰۰۸؛ صفاری و مددی‌زاده، ۱۳۹۱؛ توکلی، ۱۳۹۱a).

دلیل پایین‌تر بودن مقدار علمکرد دانه در تیمار 0F نسبت به بقیه تیمارها وجود تنش خشکی در آخر دوره رشد گیاه (مصادف با دوره پر شدن دانه) است. تنش از مرحله گلدهی تا مرحله رسیدگی، به ویژه اگر با دمای زیاد همراه باشد، پیری برگ را تسریع و دوره پر شدن دانه و به دنبال آن عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (تاتاری و همکاران، ۱۳۸۸، رویو و همکاران، ۲۰۰۰). وجود تنش کم‌آبی و دمای بالا (بیشتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد) روی رشد و نمو سلول‌های آندوسپرم تأثیر گذاشته و با افزایش سرعت تمایز، سبب کوچک ماندن این سلول‌ها می‌شود و با اختلال در فرآیند انتقال و تجمع نشاسته در داخل دانه، سبب کاهش وزن آن‌ها می‌شود (کافی و همکاران، ۱۳۷۸) در حالی‌که انجام آبیاری در مرحله پر شدن دانه از طریق افزایش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه در افزایش عملکرد دانه مؤثر است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۲).

پر شدن دانه (رشد دانه بعد از گرده افشانی) به دو عامل سرعت و طول دوره پر شدن دانه از مواد پرورده که نتیجه آن افزایش وزن خشک دانه است بستگی دارد (آلوارو و همکاران، ۲۰۰۸). افزایش دوره پر شدن دانه می‌تواند در شرایط مطلوب محیط (عدم محدودیت) از طریق طولانی‌تر کردن دوره رشد و اختصاص مواد فتوسنتزی بیشتر به دانه‌ها، زمینه افزایش عملکرد دانه را فراهم آورد (احمدی و حسین‌پور، ۱۳۹۲). در نتیجه، اعمال آبیاری تکمیلی در اواخر دوره رشد گیاه، سبب افزایش دوره پرشدن دانه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه شده است.

در تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران، بیشترین عملکرد دانه در تیمار S2 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S1 و S0 دارد (جدول ۸). استفاده از سطوح کوبیده شده سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به سطوح کوبیده نشده و طبیعی به‌ترتیب به میزان ۱۰/۱ و ۲۲/۱ درصد شده است که با بررسی‌های قبلی هماهنگی دارد (نوازخان و همکاران، ۲۰۰۷؛ صالح اسماعیل، ۲۰۰۶). دلیل افزایش عملکرد دانه در تیمار S2 نسبت به تیمارهای

www.SID.ir

Archive of SID

S1 و S0، بیشتر بودن مقدار رواناب در این تیمار نسبت با سایر تیمارها در اثر بارش‌های مختلف است. در پژوهش‌های مختلف تأثیر مثبت تأمین رطوبت برای گیاه در زمان کاشت و قبل از سرد شدن هوا برای بهبود شرایط زمان کاشت، ایجاد ذخیره رطوبت کافی، حصول عملکرد مطلوب و تثبیت کشت گندم و جو پاییزه گزارش شده است (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰، توکلی و اویس، ۲۰۰۴). حتی آیش گذاشتن زمین سبب افزایش رطوبت خاک در زمان کاشت شده و در نتیجه موجب افزایش عملکرد گیاه جو شده است (لمپورلانز و همکاران، ۲۰۰۲).

جدول ۷- تجزیه واریانس صفات و شاخص‌های مورد بررسی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		عملکرد زیست‌توده	عملکرد دانه	TWP_{gy}	TWP_{ty}	IWP_{gy}	IWP_{ty}
		(کیلوگرم بر هکتار)		(کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار)			
بلوک	۲	۱۵۲۵۷۸ ns	۵۳۶۸۵ ns	۰/۵ ns	۱/۵ ns	۲/۹ ns	۹/۷ ns
آبیاری تکمیلی (SI)	۴	۲۴۱۹۲۳۴ **	۸۳۸۹۱۸ **	۱/۲ *	۲/۰ ns	۶/۷ ns	۱۷/۵ ns
خطای a	۸	۷۷۱۱۴	۳۱۷۶۷	۰/۴	۰/۹	۲/۶	۷/۰
سطوح جمع‌آوری آب باران (S)	۲	۱۹۱۵۹۲۴ **	۵۷۴۶۹۷ **	۳/۳ **	۱۰/۹ **	۱۶/۱ **	۶۴/۵ **
SI×S	۸	۷۹۹۰۴ ns	۳۱۱۵۴ ns	۰/۳ ns	۰/۶ ns	۱/۲ ns	۳/۰ ns
خطای b	۲۰	۵۶۰۸۶	۱۳۲۳۱	۰/۱	۰/۵	۰/۷	۳/۱
ضریب تغییرات (درصد)		۶/۱	۵/۸	۵/۸	۶/۱	۱۱/۷	۱۵/۴

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱%، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵% و ns غیر معنی‌دار.

TWP_{gy}: بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد دانه، TWP_{ty}: بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد زیست توده، IWP_{gy}: بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد دانه، IWP_{ty}: بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد زیست توده.

جدول ۸- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی

تیمار		عملکرد زیست‌توده	عملکرد دانه	TWP_{gy}	TWP_{ty}	IWP_{gy}	IWP_{ty}
		(کیلوگرم بر هکتار)		(کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار)			
آبیاری تکمیلی	2W	۴۴۳۳ a	۲۳۳۷ a	۶/۳ ab	۱۲/۱	۷/۱	۱۱/۶
	2F	۴۲۶۵ ab	۲۱۵۳ a	۶/۰ ab	۱۱/۹	۶/۶	۱۱/۲
	1W	۴۰۳۰ bc	۲۰۶۰ ab	۶/۷ a	۱۳/۰	۸/۴	۱۳/۶
	1F	۳۷۳۵ c	۱۹۰۹ b	۶/۲ ab	۱۲/۱	۷/۱	۱۱/۲
	0F	۳۰۵۶ d	۱۴۶۳ c	۵/۷ b	۱۱/۸	۶/۱	۹/۸
سطوح جمع‌آوری آب باران	S2	۴۲۵۷ a	۲۱۶۱ a	۶/۶ a	۱۳/۱ a	۸/۱ a	۱۳/۷ a
	S1	۳۸۴۹ b	۱۹۶۳ b	۶/۲ b	۱۲/۱ b	۷/۰ b	۱۱/۳ b
	S0	۳۵۴۵ c	۱۷۷۰ c	۵/۷ c	۱۱/۴ c	۶/۰ c	۹/۵ c
شاهد	RF	۲۳۱۵	۱۰۰۸	۴/۲	۹/۶	-	-

میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک باشند در سطح احتمال ۵% آزمون LSD معنی‌دار نیستند. میانگین‌ها در هر تیمار و هر صفت به‌صورت جداگانه مقایسه شده‌اند.

TWPgy: بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد دانه، TWPty: بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد زیست توده، IWPgy: بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد دانه، IWPty: بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد زیست توده.

2W: دو نوبت آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده، 2F: دو نوبت آبیاری تکمیلی با آب معمولی، 1W: یک نوبت آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده، 1F: یک نوبت آبیاری تکمیلی با آب معمولی، 0F:عدم اعمال آبیاری تکمیلی، RF: کشت دیم، S2: سطح کوبیده شده، S1: سطح کوبیده نشده، S0: سطح طبیعی.

www.SID.ir

Archive of SID

عملکرد زیست‌توده

اثر آبیاری تکمیلی و سطوح جمع‌آوری آب باران و همچنین اثر متقابل آبیاری تکمیلی در سطوح جمع‌آوری آب باران بر عملکرد زیست‌توده معنی‌دار شد (جدول ۷). در سطوح آبیاری تکمیلی بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده مربوط به تیمار آبیاری 2W و کمترین آن مربوط به تیمار آبیاری 0F است که افزایش ۱۳۷۷ کیلوگرم در هکتار معادل ۴۵/۱ درصد را نشان می‌دهد (جدول ۸). نتایج بررسی‌های عبادی و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد قطع آبیاری در زمان گلدهی موجب کاهش عملکرد زیست توده می‌شود و طباطبایی یزدی و همکاران (۱۳۸۹)عدم معنی‌داری عملکرد زیست‌توده در اثر اعمال آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه را گزارش کرده‌اند. همچنین استفاده از فاضلاب تصفیه شده سبب بروز اختلاف معنی‌داری در عملکرد زیست‌توده گیاه نشد.

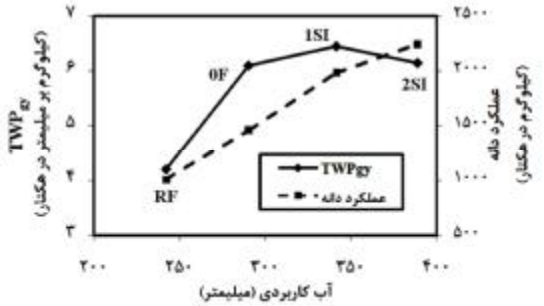
در تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران، بیشترین عملکرد زیست‌توده در تیمار S2 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S1 و S0 دارد. استفاده از سطوح کوبیده شده نسبت به سطوح کوبیده نشده و طبیعی به‌ترتیب سبب افزایش عملکرد زیست‌توده به میزان ۱۰/۶ و ۲۰/۱ درصد شده است که با نتایج پژوهش‌های قبلی هماهنگی دارد (ابوراشد و همکاران، ۲۰۰۸؛ نوازخان و همکاران، ۲۰۰۷؛ صالح اسماعیل، ۲۰۰۶).

بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد دانه (TWP_{gy})

اثر آبیاری تکمیلی و سطوح جمع‌آوری آب باران بر TWP_{gy} معنی‌دار شد (جدول ۷). در سطوح آبیاری تکمیلی بیشترین میزان TWP_{gy} مربوط به تیمار 1W (۶/۷ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار 0F (۵/۷ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) است همچنین آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده سبب افزایش TWP_{gy} شده ولی این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشد (جدول ۸).

اعمال یک مرتبه آبیاری تکمیلی توانست مقدار TWP_{gy} را نسبت به عدم آبیاری تکمیلی به طور متوسط ۱۳/۲ درصد افزایش دهد و سبب ایجاد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد شود (جدول ۸). براساس بررسی‌های انجام شده انجام یک مرتبه آبیاری تکمیلی در مراحل انتهایی رشد برای افزایش راندمان آب مصرفی در عملکرد دانه توصیه شده است (توکلی، ۱۳۹۱b). در تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران، بیشترین مقدار TWP_{gy} در تیمار S2 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S1 و S0 دارد (جدول ۸). استفاده از سطوح کوبیده شده سبب افزایش TWP_{gy} نسبت به سطوح کوبیده نشده و طبیعی به‌ترتیب به میزان ۶/۵ و ۱۵/۷ درصد شده که بیان‌گر تأثیر بالای سطوح کوبیده شده در افزایش TWP_{gy} است. با اجرای سیستم‌های جمع‌آوری آب باران مقدار کارایی مصرف آب در عملکرد دانه در گیاه سورگوم به میزان ۳۹ درصد و در گیاه ذرت به میزان ۴/۵ درصد افزایش پیدا کرد (روکستروم و همکاران، ۲۰۰۲).

در شکل ۱ تغییرات افزایش آب کاربردی بر میزان عملکرد دانه و TWP_{gy} ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش آب کاربردی مقدار عملکرد دانه روند صعودی دارد ولی مقدار TWP_{gy} ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. بیشترین مقدار TWP_{gy} با یک بار آبیاری تکمیلی حاصل شد و افزایش آبیاری تکمیلی از یک نوبت به دو نوبت، سبب کاهش مقدار TWP_{gy} شده است و این بدان معناست که اعمال آبیاری تکمیلی دوم نتوانست مقدار عملکرد دانه را به اندازه‌ای افزایش دهد که موجب افزایش TWP_{gy} نسبت به یک بار آبیاری تکمیلی شود.



شکل ۱- تأثیر افزایش آب کاربردی بر عملکرد دانه و TWP_{gy}

2SI: دو نوبت آبیاری تکمیلی (میانگین آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده)، 1SI: یک نوبت آبیاری تکمیلی (میانگین آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده)، 0F: عدم آبیاری تکمیلی، RF: کشت دیم و TWP_{gy}: بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد دانه.

بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد زیست توده (TWP_{ty})

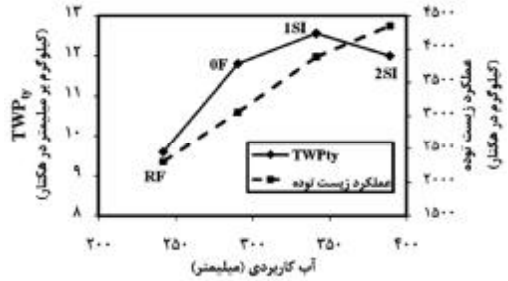
اثر سطوح جمع‌آوری آب باران بر TWP_{ty} معنی‌دار شد (جدول ۷). در سطوح آبیاری تکمیلی بیشترین میزان TWP_{ty} مربوط به تیمار 1W (۱۳/۰ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار 0F (۱۱/۸

www.SID.ir

Archive of SID

کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) است (جدول ۸). اعمال یک مرتبه آبیاری تکمیلی نتوانست مقدار TWP_{ty} را نسبت به تیمار 0F آنقدر افزایش دهد که در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شود. دلیل این موضوع اعمال آبیاری تکمیلی در زمان پر شدن دانه است که موجب تأثیر کم در افزایش عملکرد زیست توده شده است. همچنین آبیاری تکمیلی با فاضلاب تصفیه شده سبب افزایش TWP_{ty} شده ولی این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌داری نشد. در تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران، بیشترین TWP_{ty} در تیمار S2 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S1 و S0 دارد (جدول ۸). استفاده از سطوح کوبیده شده سبب افزایش TWP_{ty} نسبت به سطوح کوبیده نشده و طبیعی به‌ترتیب به میزان ۸/۳ و ۱۴/۹ درصد شده که بیانگر تولید رواناب بیشتر در طول فصل رشد در سطوح کوبیده شده و در نتیجه افزایش TWP_{ty} است.

در شکل ۲ تغییرات افزایش آب کاربردی بر میزان عملکرد زیست توده و TWP_{ty} ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود با افزایش آب کاربردی مقدار عملکرد زیست توده روند صعودی دارد ولی مقدار TWP_{ty} ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. بیشترین مقدار TWP_{ty} با یک بار آبیاری تکمیلی حاصل شد و افزایش آبیاری تکمیلی از یک نوبت به دو نوبت، موجب کاهش مقدار TWP_{ty} شده است.



شکل ۲- تأثیر افزایش آب کاربردی بر عملکرد زیست توده و TWPty

2SI: دو نوبت آبیاری تکمیلی (میانگین آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده)، 1SI: یک نوبت آبیاری تکمیلی (میانگین آب معمولی و فاضلاب تصفیه شده)، 0F: عدم آبیاری تکمیلی، RF: کشت دیم و TWP_{ty}: بهره‌وری کل آب مصرفی در عملکرد زیست توده

بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد دانه (IWP_{gy})

اثر سطوح جمع‌آوری آب باران بر IWP_{gy} معنی‌دار شد ولی اثر آبیاری تکمیلی معنی دار نشد (جدول ۷). وجود بارش مناسب به میزان ۵۴/۰ میلی‌متر در فروردین ماه موجب افزایش عملکرد دانه در تیمار 0F شد و در نتیجه افزایش عملکرد دانه در اثر آبیاری تکمیلی نتوانست مقدار IWP_{gy} را به اندازه‌ای افزایش دهد که سبب معنی داری اثر آبیاری تکمیلی بر IWP_{gy} شود. در سطوح آبیاری تکمیلی بیشترین میزان IWP_{gy} مربوط به تیمار 1W (۸/۴ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) و کمترین آن مربوط به تیمار 0F (۶/۱ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) است (جدول ۸). در تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران، بیشترین IWP_{gy} در تیمار S2 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S1 و S0 دارد (جدول ۸). استفاده از سطوح کوبیده شده سبب افزایش IWP_{gy} نسبت به سطوح کوبیده نشده و طبیعی به‌ترتیب به میزان ۱۵/۷ و ۳۵/۰ درصد شده که بیانگر تأثیر بالای سطوح کوبیده شده در افزایش IWP_{gy} است.

بهره‌وری آب آبیاری در عملکرد زیست توده (IWP_{ty})

اثر سطوح جمع‌آوری آب باران بر IWP_{ty} معنی‌دار شد ولی اثر آبیاری تکمیلی معنی‌دار نشد. عدم تأثیر آبیاری تکیملی بر IWP_{ty} به‌دلیل اعمال آبیاری تکمیلی در زمان پر شدن دانه است. در تیمارهای سطوح جمع‌آوری آب باران، بیشترین IWP_{ty} در تیمار S2 مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با تیمار S1 و S0 دارد (جدول ۸). استفاده از سطوح کوبیده شده سبب افزایش IWP_{ty} نسبت به سطوح کوبیده نشده و طبیعی به‌ترتیب به میزان ۲۱/۲ و ۴۴/۲ درصد شده که بیانگر تأثیر بالای سطوح کوبیده شده در افزایش IWP_{ty} است.

نتیجه‌گیری

استفاده از سامانه جمع‌آوری آب باران موجب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به شرایط دیم شد. در بین تیمارهای جمع‌آوری آب باران، تیمار S2 به‌دلیل تولید رواناب بیشتر سبب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب نسبت به تیمارهای S1 و S0 شد. همچنین انجام یک مرتبه آبیاری تکمیلی موجب شد که بیشترین مقدار بهره‌وری آب در بین تیمارهای مختلف به‌دست آمد و انجام آبیاری تکمیلی دوم نتوانست مقدار عملکرد را به اندازه‌ای افزایش دهد که موجب بیشتر شدن بهره‌وری اب نسبت به انجام یک بار آبیاری تکمیلی شود. پس اجرای سیستم جمع‌آوری آب باران و انجام یک مرتبه آبیاری تکمیلی در زمان پر شدن دانه، می‌تواند در افزایش بهره‌وری آب

www.SID.ir

Archive of SID

کاربردی در مناطقی که امکان تولید پایدار کشت دیم وجود ندارد مؤثر باشد. همچنین فاضلاب تصفیه شده می‌تواند منبع آب مناسب برای انجام آبیاری تکمیلی اراضی مجاور شهرهای کوچک و روستاها در کنار منابع سطحی و زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱. احمدی ع. و حسین‌پور ط. ۱۳۹۲. بررسی اثر تراکم بوته بر روند رشد دانه ژنوتیپ‌های جو (*Hordeum Vulgare* L.) در شرایط دیم. فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۵(۱۷): ۸۹-۱۰۲.

۲. تاتاری م. کوچکی ع. و نصیری محلاتی م. ۱۳۸۸. پیش‌بینی عملکرد گندم دیم به وسیله داده‌های بارندگی و خاک‌شناسی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی. پژوهش‌های زراعی ایران. ۷: ۱۳۱-۱۴۸.

۳. توکلی ع. ۱۳۹۲. تعیین مشخصه‌های فنی سامانه استحصال و جمع‌آوری آب باران برای بادام دیم. محله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۴(۲): ۱-۱۶.

۴. توکلی ع. ۱۳۹۱a. به گزینی برنامه تک آبیاری و تاریخ کاشت برای جو در شرایط دیم مراغه و تخمین تابع تولید. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۳(۲): ۳۹-۵۶.

۵. توکلی ع. ۱۳۹۱b. تعیین اجزای شاخص بهره‌وری آب تحت مدیریت تک آبیاری و تاریخ کاشت برای ارقام جو دیم. مجله تحقیقات آب و خاک. ۴۳(۲): ۱۰۳-۱۱۳.

۶. توکلی ع. لیاقت ع. و علیزاده الف. ۱۳۹۲. نقش ارتفاع و عرض جغرافیایی بر بهره‌وری بارش و عملکرد جو دیم. نشریه زراعت دیم ایران. ۱(۳): ۸۵-۱۰۱.

۷. صفاری م. و مددی‌زاده م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر سطوح مختلف کود ازته و آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد جو رقم سهند در منطقه بافت.مجله علوم کشاورزی دیم ایران. ۱(۱): ۹۲-۱۰۷.

۸. طباطبایی یزدی ج. حقایقی مقدم س. الف. قدسی م. و افشار ه. ۱۳۸۹. استحصال آب باران برای آبیاری تکمیلی گندم دیم در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۴(۲): ۱۹۸-۲۰۷.

۹. طهماسبی ر. ۱۳۸۵. جمع‌آوری آب باران، موسسه آموزش عالی علمی- کاربردی جهاد کشاورزی. ۲۵۰ ص.

۱۰.عبادی ع. ساجد ک. و سنجری الف. ۱۳۹۰. تاثیر قطع آبیاری بر انتقال مجدد ماده خشک و برخی صفات زراعی در جو بهاره. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴(۴): ۱۹-۳۷.

۱۱.کافی م. گنجعلی الف. ناظمی ع. و شریعتمدار ف. ۱۳۷۸. آب و هوا و عملکرد، انشارات دانشگاه مشهد. مشهد، ایران. ۳۱۱ ص.

12. Abourached C. G. Yau S. K. Nimah M. N. and Bashour I. I. 2008. Deficit Irrigation and Split N Fertilization on Wheat and Barley Yields in a Semi-Arid Mediterranean Area. The Open Agriculture Journal. 2: 28-34.
13. Alvaro F. Isidro J. Villegas D. Corcia del mor L. F. and Royo C. 2008. Breeding Effects on Grain Filling, Biomass Partitioning, and Remobilization in Mediterranean Durum Wheat., agronomy journal. 100: 361-370.
14. Anderson J. Zehnder A. Wehrile B. Jewitt G. Abbaspour K. and Yang H. 2013. Improving crop yield and water productivity by ecological sanitation and water harvesting in South Africa. Environ Sci Technol. 47: 4341-4348.
15. Boers T. M. 1994. Rainwater harvesting in arid and semi-arid zones. Ph. D Thesis. Wageningen. 127 p.
16. Cantero-Martínez C. Angás P. and Lampurlanés J. 2007. Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions. Annals of Applied Biology. 150: 293-305.
17. Deng X. Shan L. Shinobu I. 2002. High efficient use of limited supplement water by dryland spring wheat. Transactions of the CSAE. 18(5): 84-91.
18. Fox P. and Rockström J. 2003. Supplemental irrigation for dry-spell mitigation of rainfed agriculture in the Sahel. Agricultural Water Management. 61(1): 29-50.
19. Geerts S. and Raes D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96:1275-1284.
20. Hudson N. 1987. Soil and water conservation in semi-arid areas. FAO Soil Resources Management and Conservation Service. 172 p.
21. Kahinda J. M. Roskström J. Taighena A. and Dimes J. 2006. Rainwater harvesting to enhance water productivity of rainfed agriculture in semi-arid Zimbabwe. 7th waternot warfsa GWP symposium Malawi 1-3 November.
22. Lampurlanés J. Angás P. and Cantero-Martínez C. 2002. Tillage effects on water

www.SID.ir

Archive of SID

storage during fallow, and on barley root growth and yield in tow contrasting soils of the semi-arid Segarra region in Spain. Soil and Tillage Research. 65: 207-220.

23. Li X. Y. Gong J. D. and Wei X. H. 2000. In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for crop production in the dry semiarid region of China. Journal of Arid Environments. 46: 371-382.
24. Li X. Y. Gong J. D. Gao Q. Z. and Li F. R. 2001. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions. Agricultural Water Management. 50(3):173-183.
25. Mohammadi M. Sharifi P. Karimizadeh R. and Shefazadeh M. K. 2012. Relationships between grain yield and yield components in bread wheat under water availability (dryland and supplemental irrigation conditions). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici . 40(1): 195-200.
26. Nawaz Khan R. Khalil S. K. and Iqbal A. 2007. Water harvesting techniques and its impact on the Yield and Other Characters of Wheat (*cv. Haider 2000*) under Rainfed Conditions of Peshawar (NWFP). American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 1(1): 77-82.
27. Oweis T. and Hachum A. 2003. Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement CAB International. 179 p.
28. Oweis T. and Hachum A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. 4th international crop science congress 26th. September to 1st October 2004, Queensland Australia.
29. Oweis T. Hachum A. and Kijne J. 1999. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water use efficiency in dry areas. International Water Management Institute Colombo Sri Lanka SWIM paper 7. 38p.
30. Oweis T. Oberle A. and Prinz D. 1998. Determination of potential sites and methods for water harvesting in central Syria. Advances in GeoEcology. 31: 83-88.
31. Oweis T. Salkini A. Zhang H. Ilbeyi A. Hustun H. Dernek Z. and Erdem G. 2001. Supplemental irrigation potential for wheat in the central Anatolian plateau of Turkey, ICARDA. 37 p.
32. Qi W. Enhe Z. Fengmin L. Fengrui L. 2008. Runoff Efficiency and the Technique of Microwater Harvesting with Ridges and Furrows for Potato Production in Semi-arid Areas. Water Resource Management, 22:1431-1443.
33. Qu Y. Su W. Zhang P. Li C. Gao J. Gao X. Wang P. Jiang S. and Feng B. 2012. Effects of Different Water Harvesting on Soil Water Growth and Yield of the Proso Millet (Panicum miliaceum L.) in a Semiarid Region of Northwest China. Journal of Agricultural Science. 4(9): 106-113.
34. Rockström J. Barron J. and Fox P. 2002 Rainwater management for increased productivity among smallholder farmers in drought prone environments. Physics and Chemistry of the Earth. 27: 949-959.
35. Royo, C., Abaza, M., Blanco, R. and Garcia Del Moral, F. 2000. Triticale grain growth and morphometry as affected by drought stress, late sowing date simulated drought stress. Australian Journal of Plant Physiology. 27: 1051-1059.
36. Sabouhi M. Asadi H. and Tavakoli A. 2012. Economical assessment of supplemental irrigation in different agronomicmanagements of rainfed barley production. International Journal of Agriculture. 2: 949-954.
37. Saleh Ismail S.A. 2006. Evaluation of water harvesting in some wadis at west of Marsa Matruh North-western coastal zone Egypt. Ph.D. thesis. Benha University Egypt. 229 p.
38. Sharma K. D. 1986. Run off behavior of water harvesting micro catchments. Agricultural Water Management. 11: 137-144.
39. Tadayon M. R. Ebrahimi R. and Tadayon A. 2012. Increased Water Productivity of Wheat under Supplemental Irrigation and Nitrogen Application in a Semi-arid Region. Journal of Agricultural Science. 14: 995-1003.
40. Tavakkoli A. R. and Oweis T. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. Agricultural Water Management. 65(3): 225-236.
41. Tavakoli A. R. Oweis T. Ashrafi Sh. Asadi H. Siadat H. and Liaghat A. 2010. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. ICARDA. Aleppo. Syria. 123 p.
42. Temesgen B. B. 2012. Rainwater harvesting for dryland agriculture in the Rift Valley of Ethiopia PhD Thesis Wageningen University, Wageningen. 152 p.
43. Xiao-Yan L. Zhong-Kui X. Xiang-Kui Y. 2004. Runoff characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semiarid regions of China. Agricultural Water Management. 65: 211-224.
44. Zhang H. and Oweis T. 1999. Water– yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agricultural Water Management. 38(3): 195-211.

www.SID.ir