تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۱/ شماره ۷۴/ بهار و تابستان ۱۳۹۹/ص ۹۶-۸۳

بررسی بهره‌وری آب و عملکرد سویا در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی

محمداسماعیل اسدی[1]* و حمیدرضا صادق‌نژاد[2]

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار؛ و مربی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱

چکیده

امروزه سطح کشاورزی حفاظتی در جهان بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار و یکی از مزایای اصلی آن بهبود بهره‌وری آب است. این تحقیق در بارهٔ کاشت سویا تحت مدیریت‌های مختلف میزان بقایا و روش‌های خاک‌ورزی روی بقایای گندم است که به صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان اجرا شد. تیمارهای اصلی در سه سطح مدیریت بقایا، شامل R1: سوزاندن، R2: حفظ ۵۰ درصد بقایا و تیمار R3: حفظ ۱۰۰ درصد بقایا و تیمارهای فرعی نیز در سه سطح روش‌های خاک‌ورزی، شامل T1: خاک‌ورزی مرسوم (شخم + دیسک + کشت با ردیف‌کار)، T2: کم خاک‌ورزی (خاک‌ورزی حداقل با دستگاه خاک‌ورز مرکب+ کشت با ردیف‌کار) و T3: بی‌خاک‌ورزی (کشت با کارندهٔ بی‌خاک‌ورز) است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تیمار اصلی R2 و تیمار فرعی T3 بهترین بازده را از نظر تولید داشته‌اند و عملکرد محصول ۴۲/۷ و ۱۷/۴ درصد به ترتیب نسبت به R1 و T1 افزایش داشته است. بیشترین و کمترین میزان حجم آب مصرفی به مقدار ۳۹۵۰ و ۲۶۹۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب متعلق به تیمار R1 و R3 و حداکثر و حداقل بهره‌وری آب سویا به ترتیب مربوط به تیمارهای R2 وR1 به میزان ۱/۱۳ و ۰/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب بوده است. کاشت در شرایط بی‌خاک‌ورزی موجب بهبود بهره‌وری آب سویا نسبت به روش مرسوم به مقدار ۱۵/۳ درصد شده است.

واژه‌های کلیدی

آبیاری بارانی، بی‌خاک‌ورزی، کشاورزی حفاظتی، گرگان

مقدمه

سویا بزرگ‌ترین منبع تأمین‌کنندهٔ پروتئین و روغن در دنیا و بیشترین سطح زیرکشت و تولید را در بین دانه‌های روغنی داراست (Anon, 2018). بزرگ‌ترین تولیدکنندهٔ سویا در جهان آمریکاست با ۳۵ درصد تولید جهانی (تولید ۱۱۹/۵ میلیون تن سویا از ۳۶/۵ میلیون هکتار) و بعد از آن کشورهای برزیل و آرژانتین قرار دارند. در ایران، در سال زراعی ۱۳۹۴-۹۵ سطح زیرکشت سویا ۵۲۴۰۶ هکتار بود که تقریبا ۸۶ درصد آن آبی و مابقی به صورت دیم بوده است. در این سال زراعی، استان گلستان ۶۲ درصد از سطح زیرکشت و ۶۰ درصد تولید سویای کل کشور را داشته است (Anon, 2017).

آب فراوان لازمهٔ زراعت سویای آبی است که در زمان مناسب در اختیار گیاه قرار گیرد. میزان نیاز آبی سویا و تعداد دفعات آبیاری آن به شرایط آب و هوایی، جنس خاک، روش آبیاری، ظرفیت نگهداری آب در خاک و عمق نفوذ ریشه بستگی دارد. در استان گلستان با توجه به شرایط اقلیمی، سویا به دو صورت بهاره و تابستانه کشت می‌شود که

*نویسنده مسئول: Email: iwc977127@yahoo.com

http://doi: 10.22092/erams.2018.123528.1274

بیشترین کشت سویای استان به صورت تابستانه است و در حدود ۹۰ درصد زراعت تابستانه این محصول نیز به صورت هیرم‌کاری است. سویا گیاهی حساس به میزان آب است، به زیاد و کم بودن آب در خاک واکنش نشان می‌دهد. در زمان جوانه‌زنی نباید اجازه داد که رطوبت خاک به کمتر از ۵۰ تا ۶۰ درصد رطوبت قابل استفادهٔ گیاه کاهش یابد. سویا گیاه مقاوم به خشکی نیست ولی نیاز آبی آن نیز زیاد نیست. آبیاری بیش از حد لزوم در اوایل رشد سویا موجب می‌شود ریشه‌ها تنبل شوند و به خوبی توسعه پیدا نکنند. آبیاری زمانی لازم می‌شود که حدود ۷۵ درصد رطوبت قابل استفادهٔ گیاه تخلیه شده باشد. میزان آب مصرفی سویا (ET_{cr}) در فصل رشد بین ۴۵۰ تا ۸۲۵ میلی‌متر متغیر و اوج مصرف آن در دورهٔ گل‌دهی و غلاف‌بندی دانه است که حساس‌ترین مراحل رشد در برابر کمبود آب هستند (Asadi, 2012).

خاک‌ورزی سطح خاک را به هم می‌زند و باعث افزایش میزان تبخیر آب خاک، در مقایسه با خاک دست نخورده، می‌شود. یکی از راهکارهای مدیریتی برای افزایش بهره‌وری آب (CWP) و کاهش میزان تبخیر خاک، نگهداری بقایای گیاهی بر سطح زمین است (Asadi & Sadeghi, 2017). این امر موجب معتدل نگه‌داشتن دمای خاک، حفظ رطوبت خاک و کاهش تبخیر آب و کاهش فرسایش خاک می‌شود (Adem *et al.*, 1984; Al-Darby & Lowery, 1984; Cruse & Ressler, 2004).

برخی محققان می‌گویند سوزاندن پیوسته بقایای گیاه قبلی موجب کاهش حاصلخیزی و میزان مواد آلی خاک در دراز مدت می‌شود (Blackshaw *et al.*, 1994; Cruse & Ressler, 2004; Bolliger *et al.*, 2006; Farooq & Siddique, 2015). شوارتز و همکاران (Schwartz *et al.*, 2010) گزارش کرده‌اند که خاک‌ورزی مرسوم (به عمق ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر)، در مقایسه با بی‌خاک‌ورزی در خلال یک دورهٔ ۱۱۴ روزه از ماه آوریل تا جولای، میزان خالص آب ذخیره شده در عمق بالای ۳۰ سانتی‌متری خاک را به طور معنی‌دار به میزان ۱۲ میلی‌متر کاهش می‌دهد. داهیا و همکاران (Dahiya *et al.*, 2007) نیز در بررسی حفظ بقایای گندم به عنوان مالچ، در مقایسه با زمین بدون بقایا در کشور آلمان، گزارش دادند که حفظ بقایا توانسته است به میزان ۰/۳۹ میلی‌متر در روز میزان هدررفت آب (نفوذ عمقی) را دو هفته بعد از برداشت گندم و در یک خاک لسی کاهش دهد. همچنین، درصد حجمی رطوبت خاک در تیمارهای حفظ بقایای گیاهی در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک، در مقایسه با حذف بقایا، دارای بالاترین مقدار بوده است. کاسا و همکاران (Casa & Lo Cascio, 2008) در دو سال متوالی ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ و در خلال ماه‌های آوریل تا اکتبر در ناحیه‌ای نزدیک رم ایتالیا به آزمایشی دست زدند تا بهترین نوع مدیریت خاک‌ورزی را از نظر بهره‌وری آب آبیاری ذرت و سویا پیدا کنند. تیمارهای خاک‌ورزی شامل شخم مرسوم، حداقل‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی پشته‌ای و بی‌خاک‌ورزی بود. نتایج آزمایش نشان داد به جز ذرت و آن هم در سال ۱۹۹۴، نوع خاک‌ورزی روی بهره‌وری آب (IWUE) و عملکرد دانه اثر معنی‌داری ندارد. اما عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری در سویا در حدود ۵۹ درصد در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بالاتر بود تا در تیمار خاک‌ورزی مرسوم. در سال ۱۹۹۴ بهره‌وری آب آبیاری سویا برای تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و مرسوم به ترتیب برابر ۱۰/۱ و ۹/۵ کیلوگرم در هکتار میلی‌متر بوده است. این محققان روش خاک‌ورزی حفاظتی را در مقایسه با سیستم

خاک‌ورزی مرسوم به دلیل عملکرد برابر یا بهتر برای سیستم کشت ویژه پیشنهاد کرده‌اند. بر اساس آخرین آمار سال زراعی ۱۶-۲۰۱۵، سامانهٔ کشاورزی حفاظتی که مبتنی بر سه اصل به هم پیوستهٔ دست‌کاری نکردن خاک، حفظ پوشش زمین با بقایای گیاهی و حفظ تنوع زیستی با استفاده از اصل تناوب زراعی است در بیش از ۱۸۰ میلیون هکتار اراضی زراعی جهان یعنی حدود ۱۲/۵ درصد اراضی کل زراعی استفاده می‌شود (Kassam *et al*., 2018).

این پژوهش برای بررسی و تعیین بهره‌وری آب آبیاری در زراعت سویای استان گلستان تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی و میزان بقایای گیاهی به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گرگان در فاصلهٔ ۶ کیلومتری شمال شهرستان گرگان و در۵۴ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۶ متر از سطح دریا اجرا شد. میزان بارندگی آن حدود ۴۵۰ میلی‌متر در سال و خاک ایستگاه، از نوع لوم رسی به عمق حدود ۳۰ سانتی‌متر است. بعضی از مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقهٔ آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های نواری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و از تابستان ۱۳۸۹ به مدت دو سال در کرت‌هایی به ابعاد ۵۰×۶ متر اجرا شده است. تیمارهای اصلی شامل سه سطح مدیریت بقایای گیاهی (R) به‌ترتیب R1: سوزانیدن کل بقایا پس از خارج کردن کاه گندم (صفر درصد بقایا)، R2: خارج کردن بقایا پس از برداشت گندم با کمباین توسط بسته‌بند (۵۰ درصد بقایا) و R3: باقی گذاشتن کل بقایا (۱۰۰ درصد بقایا) و تیمارهای فرعی شامل سه سطح خاک‌ورزی (T) به ترتیب T1: خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار + ۲ بار دیسک + کاشت)، T2: کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورزی با خاک‌ورز مرکب + کاشت) و T3: بی‌خاک‌ورزی (کاشت در بقایای گیاهی با ردیف‌کار مخصوص) در نظر گرفته شد. ادوات مورد استفاده برای تیمار خاک‌ورزی مرسوم شامل گاوآهن برگردان‌دار سه خیش و دیسک کششی ۳۶ پره و برای تیمار کم خاک‌ورزی شامل خاک‌ورز مرکب پنج شاخه با تیغه‌های بال‌دار و برای کاشت تیمارهای خاک‌ورزی مرسوم و کم خاک‌ورزی یک دستگاه ردیف‌کار پنج ردیفه و برای کاشت تیمار بی‌خاک‌ورزی کارنده چهار ردیفه بی‌خاک‌ورز مترمک به کار گرفته شد. از کود ریزمغذی با نام تجاری اکشن بالانس به میزان ۲۷۵ گرم در ۲۵۰ لیتر آب به صورت محلول پاشی برای ۰/۸ هکتار طی دو مرحله استفاده شد. برای کنترل علف‌های هرز از گالانت سوپر و بازاردان به ترتیب به میزان ۴/۲ و ۱/۵ لیتر در هکتار و برای مبارزه با کرم برگ خوار از پریمور و آوانت به ترتیب به میزان ۰/۵ کیلوگرم و ۰/۵ لیتر در هکتار استفاده گردید.

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1. Some of soil physical and chemical properties

تیمار Treatment	عمق (سانتی‌متر) Depth (cm)	بافت Texture	طرفیت مزرعه (درصد) Field capacity (%)	نقطه پژمردگی(درصد) (%)	دانسیته توده (گرم بر سانتی مترمکعب) Bulk density (gr cm^{-3})	هدایت الکتریکی(دسی زیمنس بر میلی‌متر) EC (ds mm^{-1})	PH	نیتروژن کل Total N (%)	کاتیون های تعویض پذیز (میلی اکی والان در صد گرم) Exchangeable Cations (meq/100 g)
	0-20	A	26.4	13.1	1.31	1.7	7.7	0.16	20
سوزاندن Burning (R1)	20-40	B	27.7	15.2	1.53	1.7	7.7	0.16	20
	40-60	A	27.6	13.7	1.46	1.5	7.8	0.17	13.5
	60-80	C	28.4	13.9	1.52	1.5	7.7	0.12	9
حفظ ۵۰ درصد از بقایا Retaining 50% of residues (R2)	0-20	D	26.2	15.7	1.5	1.8	7.9	0.05	8.5
	20-40	D	25.7	12.3	1.58	1.1	7.9	0.17	19
	40-60	E	23.1	10.2	1.54	1.4	7.8	0.16	12
	60-80	A	22.4	14.5	1.57	1.6	7.8	0.17	11.5
حفظ کل بقایا Maintaining 100% of residues (R3)	0-20	A	28	15.3	1.2	1.8	7.7	0.09	9
	20-40	B	29.3	12.1	1.53	1.6	7.9	0.15	21
	40-60	A	26.2	13.5	1.4	2.8	7.8	0.17	14.5
	60-80	C	27	15.8	1.43	2.2	7.8	0.18	17

A: Silt clay loam سیلت رسی لومی, B: Silt clay سیلت رسی , C: Silt loam سیلت لومی, D: Loam لومی, E: Clay loam رسی لومی

برای آبیاری کرت‌ها از روش آبیاری بارانی کلاسیک با جابه‌جایی تناوبی استفاده گردید. قطر لوله‌های اصلی و فرعی سه اینچ و از جنس آلومینیم و آب‌پاش‌هایی که همزمان در هر نوبت آبیاری می‌کردند ۲۷ عدد بود. فاصلهٔ بین آب‌پاش‌ها ۶ در ۱۲ متر تنظیم شد؛ نوع آب‌پاش‌ها F-33 دو افشانه، متعلق به شرکت نلسون، با قطر نازل ۲/۴ در ۴/۳ میلی‌متر و از نوع فشار متوسط (بین ۲۰۲ تا ۴۰۵ کیلو پاسکال) و قطر پراکنش ۲۴ متر بود. در هر بار آبیاری، فشار کار سه آب‌پاش در ابتدا، وسط و انتهای خط با استفاده از فشارسنج و دبی مربوط از طریق حجمی اندازه‌گیری شد.

دبی هر آب‌پاش برابر ۰/۳۴ لیتر در ثانیه برای آب‌پاش‌های ابتدای خط و ۰/۳۰ لیتر در ثانیه برای آب‌پاش‌های انتهای خط تعیین گردید که میزان پخش آب هر آب‌پاش ۱۶ میلی‌متر در ساعت بود. عمق خالص آبیاری بر اساس پایش رطوبت خاک قبل از آبیاری بوده و آبیاری تا زمان رسیدن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی مزرعه ادامه داده شد. بیست و چهار ساعت بعد از آبیاری، رطوبت خاک با استفاده از روش وزنی تعیین شد. بهره‌وری آب آبیاری (CWP) برای هر تیمار به صورت جداگانه با استفاده از رابطهٔ ۱ محاسبه و تعیین شد (Howell, 2008).

$$CWP = \frac{Y}{I} \qquad (۱)$$

که در آن،

CWP= بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، I= حجم آب آبیاری کاربردی در طول فصل رشد (مترمکعب)، و Y= عملکرد دانه سویا (کیلوگرم).

برای تجزیه واریانس و تجزیه مرکب دو ساله داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات و تجزیه و تحلیل آنها، از نرم‌افزار آماری SAS و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

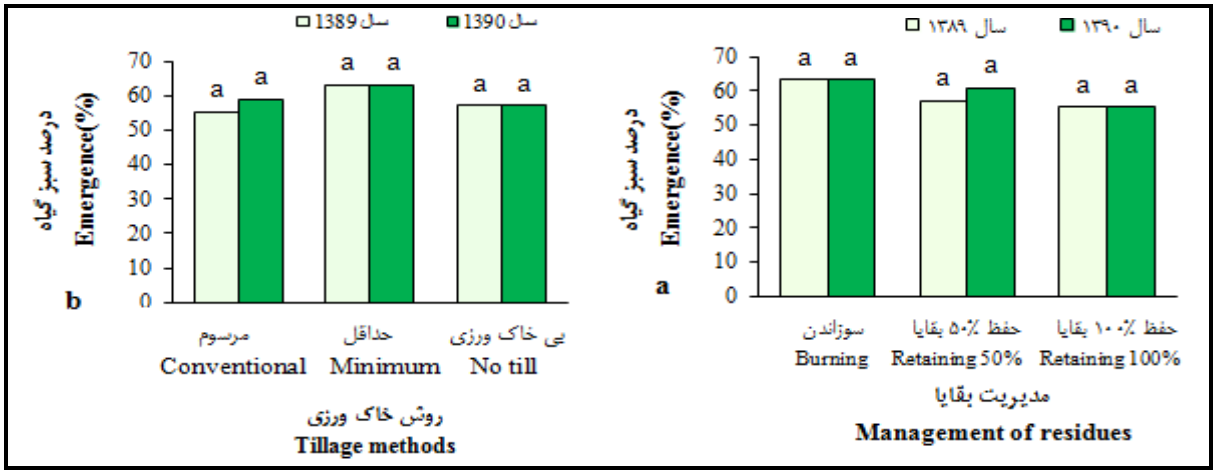
میزان بقایای گندم روی سطح خاک بر حسب وزن تر در سال اول برابر ۴/۵ و در سال دوم برابر ۵/۵ تن در هکتار برآورد و در تیمار ۱۰۰ درصد بقایا در نظر گرفته شد. با جمع‌آوری بقایا با بیلر یا بسته‌بند و اعمال تیمار خاک‌ورزی، میزان متوسط بقایای گیاهی بر حسب وزن تر در تیمارهای ۵۰ درصد بقایا در سال اول و بعد از عملیات کاشت برابر ۲/۹ و در سال دوم برابر ۳/۱ تن در هکتار تعیین شد. میزان بقایای گندم در آزمایش باروت و چلیک (Barut & Celik, 2010) که روی اثر تیمارهای مختلف خاک‌ورزی بر میزان سبز شدن و عملکرد ذرت بعد از کشت گندم در ترکیه تحقیق کرده‌اند برابر ۳/۴ تن در هکتار محاسبه شده است. میزان بقایا در تیمارهای ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد به اندازه‌ای بوده است تا از فرسایش خاک با آب یا باد در مدت زمان آزمایش جلوگیری کند؛ این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات هالورسون و ریول (Halvorson *et al.*, 2006)، سسیز و همکاران (Sessiz *et al.*, 2010)، و وش و همکاران (Vetsch *et al.*, 2002) مطابقت دارد.

حداقل میزان بقایا که برای جلوگیری از فرسایش خاک توصیه شده است ۳۰ درصد یا حداقل ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بعد از کشت و در زمان‌های بحرانی فرسایش است (Anon, 2000; Vetsch *et al.*, 2002). با توجه به سیل‌خیز بودن منطقه بعد از بارش‌های ناگهانی، به ویژه در فصل تابستان که گیاهانی چون ذرت و سویا به عنوان کشت دوم (بعد از گندم) کاشته می‌شوند، حفظ بقایا

می‌تواند در کاهش خاک‌شویی و آثار زیان‌آور سیلاب‌ها بسیار موثر باشد. حفظ بقایا روی خاک به دلیل حفظ ساختمان خاک و خاکدانه‌ها، اضافه شدن مواد آلی (بقایا) و کاهش میزان اکسیداسیون مادهٔ آلی خاک (به دلیل بر هم نزدن خاک) باعث افزایش نفوذپذیری آب در خاک می‌گردد (Sasal *et al.*, 2006; Saha *et al.*, 2010).

نتایج حاصل از اثر مدیریت بقایای گیاهی و روش‌های خاک‌ورزی بر درصد سبز شدن نشان می‌دهد حذف بقایای گیاهی موجب تسریع در جوانه‌زنی و تراکم مطلوب‌تر در این تحقیق شد که دلیل عمدهٔ آن تماس کامل بذر با خاک برای دریافت رطوبت در مرحلهٔ جوانه‌زنی است (شکل ۱). ولی در سیستم های با نگهداری و حفظ بقایا با هر کمیتی، برای تسهیل در جوانه‌زنی باید موجباتی فراهم آید تا تماس بذر با خاک کامل شود. کاهش مواد آلی خاک موجب کاهش فرآیندهای بیولوژیک می شود، زیرا مادهٔ غذایی مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها تأمین نمی‌شود. با کاهش فرآیندهای بیولوژیک، ترشحات میکرواورگانیسم‌ها و به دنبال آن استحکام خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد که به مرور زمان به فشرده شدن خاک و تشکیل کلوخه‌های بزرگ در هنگام خاک‌ورزی می‌انجامد. طی آزمایش‌ها مشخص شد کم‌خاک‌ورزی مطلوبترین شرایط را برای خروج جوانه از سطح خاک فراهم آورده و تراکم مناسب‌تری در مزرعه ایجاد کرده است.

در بی‌خاک‌ورزی دیده می‌شود که به دلیل نامناسب بودن فشار از ناحیهٔ چرخ فشار دستگاه کارنده، درصد سبز در مزرعه پایین آمده است. در این شرایط اگرچه تراکم کمتر است اما به دلیل وجود رطوبت در محل بذرهای تثبیت شده، استقرار گیاه با اطمینان بیشتری خواهد بود در واقع کاربرد بی‌خاک‌ورزی در سیستم تناوبی گندم سویا، موجب کاشت به موقع سویا و محدود کردن زمان از دست رفتن رطوبت خاک از بستر جوانه‌زنی خواهد شد (Padgitt *et al.*, 2000).



شکل ۱- الف) اثر میزان مختلف بقایا و ب) روش‌های خاک‌ورزی بر درصد سبز گیاه طی دو سال اجرای آزمایش

Fig. 1- Effect of different a) management of residues and b) tillage methods on seedling emergence in two years

از نظر عملکرد دانه و وزن هزاردانه، بین تیمارهای مختلف بقایا و تیمارهای خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین میزان عملکرد دانه و وزن هزاردانه از تیمار ۵۰ درصد بقایا به‌دست آمده است به طوری که میزان عملکرد دانه که مهم‌ترین جزء برداشت سویاست،

در این تیمار به میزان ۴۲/۷ درصد بیشتر است تا در تیمار بدون بقایا (سوزاندن کامل بقایا). سیستم بی‌خاک‌ورزی با حداکثر عملکرد دانه، حدود ۱۷/۴ درصد بیشتر از سیستم خاک‌ورزی مرسوم تولید داشته است (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسهٔ میانگین عملکرد و وزن هزاردانه در تیمارهای مختلف بقایا، خاک‌ورزی و دو سال آزمایش

Table 2- Comparison of yield and 1000-grain weight in management of residues and tillage treatments in two years.

وزن هزاردانه (گرم) 1000-grain weight (gr)	بازده (کیلوگرم در هکتار) (Kg ha^{-1})	تیمار Treatment	
198.9^{a}	2206.2^{c}	سوزاندن Burning	روش‌های مختلف مدیریت بقایا Different management of residues
199.4^{a}	3148.6^{a}	حفظ ۵۰ درصد بقایا Retaining 50% of residues	
194.4^{b}	2712.6^{b}	حفظ ۱۰۰ درصد بقایا Maintaining 100% of residues	
197.7^{ab}	2519.7^{b}	روش مرسوم Conventional tillage	روش خاک‌ورزی Tillage methods
196.6^{b}	2589.2^{b}	حداقل خاک‌ورزی Minimum tillage	
198.4^{a}	2958.4^{a}	بی‌خاک‌ورزی No tillage	
198.0^{a}	2833.7^{a}	1389	سال Year
197.2^{a}	2544.5^{a}	1390	

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.05$

در سال اول، بیشترین عملکرد سویا (به میزان ۴۹۵۲ کیلوگرم دانه در هکتار) و کمترین آن (به میزان ۱۸۲۶ کیلوگرم دانه در هکتار) به ترتیب متعلق به تیمارهای R2T3 و R1T1 و در سال دوم به میزان ۳۸۲۶ و ۱۹۰۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب متعلق به تیمارهای R2T2 و R1T2 است و بدین ترتیب می‌توان گفت در هر سال حداکثر عملکرد دانه از تیمارهای با حفظ بقایا در سطح ۵۰ درصد و تیمارهای کم‌خاک‌ورزی یا بی‌خاک‌ورزی به دست آمده است. طی دو سال آزمایش، کمترین میزان عملکرد از تیمارهای با بقایای صفر (سوزاندن بقایا) به دست آمده است. ادواردز و همکاران (Edwards *et al*., 1988) نیز میزان عملکرد سویا را در سیستم بی‌خاک‌ورزی بیشتر از عملکرد این محصول در سیستم کشت مرسوم گزارش کرده‌اند که دلیل آن هم حفظ رطوبت خاک ناشی از نگهداری بقایای گیاهی در سیستم بی‌خاک‌ورزی بوده است. نتایج آزمایش‌های سه ساله در شرق ارکانزاس حاکی از افزایش دو سالهٔ عملکرد سویا در سیستم خاک‌ورزی مرسوم، نسبت به سیستم بی‌خاک‌ورزی، است اما در سال سوم عملکرد سویا در سیستم بی‌خاک‌ورزی بیشتر شده است (Popp *et al*., 2000). باید دانست که آزمایش‌های کشاورزی حفاظتی در درازمدت جواب‌های مناسب‌تری از نظر افزایش میزان عملکرد یا بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک می‌دهد و به آزمایش‌های کمتر از ۴ سال نمی‌توان زیاد متکی بود (Amuri *et al*., 2008) ولی چون در زمین تحت کشت این تحقیق در

سال‌های گذشته به طور تجربی، سیستم کشاورزی حفاظتی (کشت روی حداقل ۳۰ درصد بقایا) پیاده شده بود، می‌توان تا حدودی به صحت این نتایج در ارتباط با بهتر بودن حفظ بقایا اتکا کرد. با اتکا به معنی‌دار بودن تفاوت عملکرد در تیمارهای حفظ بقایا و بی‌خاک‌ورزی و با توجه به کشت سویای تابستانه و با در نظر گرفتن میزان تبخیر زیاد خاک در فصل رشد، مهم‌ترین دلیل افزایش عملکرد با افزایش میزان بقایا می‌تواند حفظ رطوبت خاک و کاهش دمای خاک باشد (Wilhelm *et al.*, 1986; Edwards *et al.*, 1988).

در این آزمایش، بیشترین حجم آب مصرفی در سال اول به میزان ۴۱۴۰ و کمترین آن به میزان ۲۹۰۰ مترمکعب در هکتار و در سال دوم بیشترین حجم آب مصرفی ۳۷۶۰ و کمترین آن به میزان ۲۴۸۰ مترمکعب در هکتار به ترتیب متعلق به تیمارهای سوزاندن بقایا و ۱۰۰ درصد بقایاست. افزایش میزان بارندگی در فصل رشد سال دوم به مقدار ۳۷۷ میلی‌متر نسبت به سال اول، دلیلی برای حجم آب مصرفی کمتر در سال دوم بوده است. این میزان بارندگی با توجه به توزیع مناسب باعث کاهش دو نوبت آبیاری برای کلیهٔ تیمارها در این سال نسبت به سال اول شده است.

بر این اساس، از نظر عمق آب آبیاری و حجم آب مصرفی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف بقایا وجود دارد در حالی که بین تیمارهای مختلف خاک‌ورزی تفاوت معنادار وجود ندارد (جدول ۳).

جدول ۳ - مقایسهٔ میانگین عمق آب و حجم کل آب مصرفی در تیمارهای مختلف مدیریت بقایا، خاک‌ورزی و دو سال آزمایش

Table 3- Comparison of water depth and consumption in management of residues and tillage treatments in two years.

مصرف آب (مترمکعب در هکتار) Water consumption ($m^3\ ha^{-1}$)	عمق آب (میلی‌متر) Water depth (mm)	تیمار Treatment	
3950[a]	395.0[a]	سوزاندن Burning	روش‌های مختلف مدیریت بقایا Different management of residues
28000[b]	280.0[b]	حفظ ۵۰ درصد بقایا Retaining 50% of residues	
2690[c]	269.0[c]	حفظ ۱۰۰ درصد بقایا Maintaining 100% of residues	
3146.67[a]	314.67[a]	روش مرسوم Conventional tillage	روش خاک‌ورزی Tillage methods
3146.67[a]	314.67[a]	حداقل خاک‌ورزی Minimum tillage	
3146.67[a]	314.67[a]	بی‌خاک‌ورزی No tillage	
3360[a]	336.0[a]	1389	سال Year
2933[b]	293.3[b]	1390	

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.05$

با تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌های به دست آمده بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد حفظ بقایا و تیمار صفر درصد بقایا (سوزاندن)، مشخص شد اختلاف معنی‌داری از نظر بهره‌وری آب وجود دارد. تیمار ۵۰ درصد دارای حداکثر مقدار به میزان ۱/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب و تیمار حذف بقایا با

مقدار ۰/۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب دارای کمترین بهره‌وری آب بوده است و افزایشی به میزان ۱۰۵/۵ درصد در میزان بهره‌وری آب نشان می دهد. تیمار ۱۰۰ درصد بقایا در مقایسه با تیمار بدون بقایا افزایشی به میزان ۸۷/۳ درصد نشان داده است. از نظر روش خاک‌ورزی نیز تیمار بی‌خاک‌ورزی دارای بیشترین مقدار (۰/۹۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) و خاک‌ورزی مرسوم دارای کمترین مقدار بهره‌وری (۰/۸۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب) یعنی با ۱۵/۳ درصد افزایش همراه بوده است (جدول ۴). این نتیجه منطبق با یافته کاسا و همکاران (Casa & Lo Cascio, 2008) است که اثر خاک‌ورزی‌های مختلف را روی سویا به منظور یافتن بهترین نوع مدیریت خاک‌ورزی بررسی کرده‌اند. در این بررسی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در سویا در خاک‌ورزی حفاظتی در حدود ۵۹ درصد بالاتر از خاک‌ورزی مرسوم بوده است.

جدول ۴- مقایسهٔ میانگین بهره‌وری آب آبیاری در تیمارهای مختلف مدیریت بقایا، خاک‌ورزی دو سال آزمایش

Table4- Comparison of crop water productivity in management of residues and tillage treatments in two years.

بهره‌وری آب (کیلوگرم در مترمکعب) Crop water productivity ($Kg\ m^{-3}$)	تیمار Treatment	
0.55^{b}	سوزاندن Burning	روش‌های مختلف مدیریت بقایا Different management of residues
1.13^{a}	حفظ ۵۰ درصد بقایا Retaining 50% of residues	
1.03^{a}	حفظ ۱۰۰ درصد بقایا Maintaining 100% of residues	
0.85^{b}	روش مرسوم Conventional tillage	روش خاک‌ورزی Tillage methods
0.87^{ab}	حداقل خاک‌ورزی Minimum tillage	
0.98^{a}	بی‌خاک‌ورزی No tillage	
0.88^{a}	1389	سال Year
0.92^{a}	1390	

در هر ستون اعداد دارای حروف مشترک، از نظر آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Averages with the same letters in column are no statistically different at $\alpha<0.05$

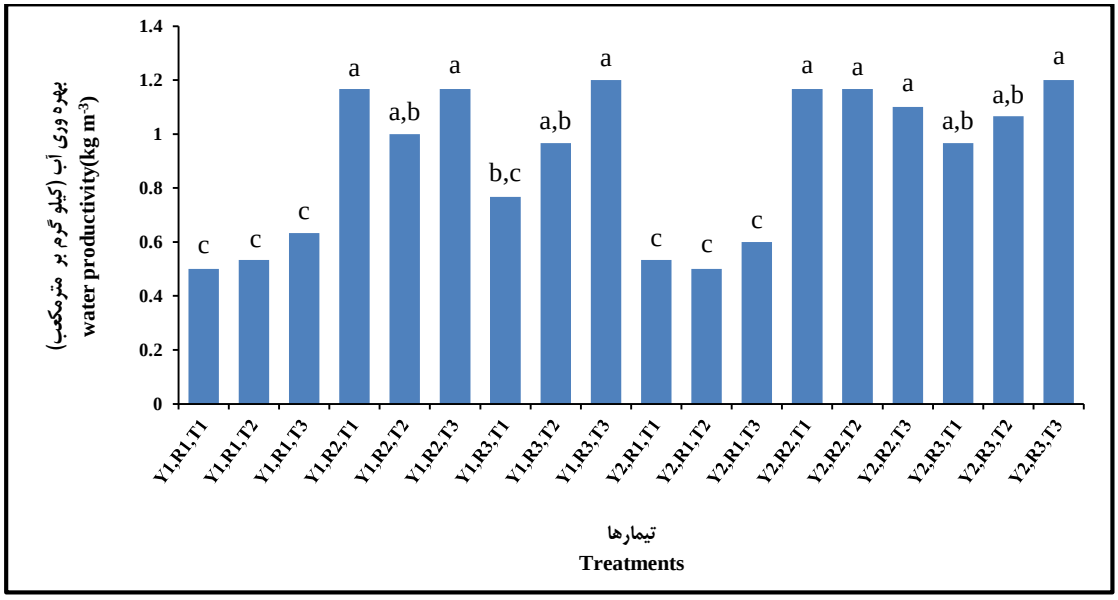
تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و کم خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری ندارند بدین مفهوم که می‌توان برای ارتقای بهره‌وری آب از روش‌هایی نیز استفاده کرد که خاک‌ورزی کمتری دارند و کمتر خاک را با دست‌کاری و تخریب ماکروپورها در معرض تبخیر می‌گذارند.

روش‌های کشاورزی حفاظتی مثل بی‌خاک‌ورزی که خاک را به هم نمی‌زنند، میزان تبخیر را با کاهش سستی خاک کم می‌کنند (Rydberg, 1990) اما خاک‌ورزی مرسوم مثل شخم با گاوآهن‌های برگردان‌دار یا دیسک زدن، چون سطح خاک را کاملاً به هم می زند باعث افزایش میزان تبخیر آب خاک در مقایسه با خاک غیر تخریب شده می‌شوند (Papendick *et al.*, 1973). آلوارز و اشتاین باخ (Alvarez & Steinbach, 2009) با نتایج به دست آمده از بررسی ۳۵ آزمایش مزرعه‌ای روی سویا در

دشت پامپاز آرژانتین دریافتند که در خلال دورهٔ بحرانی گلدهی سویا، میزان رطوبت خاک در سیستم‌های بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با سیستم‌های شخم خورده به طور متوسط به میزان ۷ میلی‌متر بیشتر است که این مقدار آب توان پوشش‌دهی میزان تبخیر و تعرق به مدت یک تا سه روز دوران گلدهی این گیاه را داردو بیانگر مزایای بی‌خاک‌ورزی به ویژه در مناطق خشک است.

در بررسی اثر متقابل مقدار بقایا و نوع روش خاک‌ورزی و سال (شکل ۲) نیز مشاهده شد که تیمار ۱۰۰ درصد بقایا در کاشت با روش بی‌خاک‌ورزی (R3T3) با مقدار ۱/۲ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب در هر دو سال دارای بیشترین مقدار بهره‌وری آب است.

نتیجه‌گیری دیگر از شکل ۲ این است که تیمارهای سوزاندن بقایا در پایین‌ترین سطوح بهره‌وری آب قرار دارند و همگی در سطوح C هستند. این نتایج همگی تاکیدی بر حفظ بقایای گیاهی و حذف نکردن بقایا به عنوان مهم‌ترین عامل ارتقای بهره‌وری آب است. با استناد به نتایج به دست آمده از این آزمایش می‌توان گفت که در مناطق خشک، مدیریت بقایا بسیار مهم‌تر از مدیریت نوع خاک‌ورزی است (Baumhardt & Jones, 2002). افزایش نفوذپذیری خاک تحت شرایط بی‌خاک‌ورزی توام با تبخیر و تعرق کمتر آب از سطح خاک به دلیل وجود بقایای گیاهی، میزان رطوبت موجود در خاک را افزایش می‌دهد (Martens, 2000; Nielsen *et al.*, 2005).



شکل ۲- اثر متقابل میزان مختلف بقایا، روش‌های مختلف خاک‌ورزی و سال روی بهره‌وری آب

Fig. 2- Interaction of management of residues and tillage treatments and year on crop water productivity

با حفظ بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک، به‌خصوص در فصل تابستان در مناطق با محدودیت منابع آب، می‌توان دور آبیاری را افزایش داد. یکی از راهکارهای مدیریتی برای افزایش بهره‌وری آب (CWP) و کاهش میزان تبخیر خاک، نگهداری بقایا بر سطح زمین است. بی‌خاک‌ورزی و سایر روش‌های خاک‌ورزی های حفاظتی توام با حفظ بقایا، بهره‌وری آب را افزایش می‌دهند (Wiese *et al.*, 1998; Norwood, 1999;

Baumhardt & Jones, 2002; Oorts *et al*., 2007).

پوشش سطح زمین با بقایای گیاهی موجب معتدل نگه‌داشتن دمای خاک، حفظ رطوبت خاک، کاهش تبخیر و کاهش فرسایش خاک می‌شود. رطوبت بیشتر ناشی از بارندگی‌ها در خاک ذخیره می‌شود و بیشتر آب کاربردی آبیاری نیز برای استفادهٔ گیاه در خاک نفوذ می‌کند. در آبیاری بارانی که در این آزمایش از آن برای آبیاری سویا استفاده گردید، حفظ بقایا روی خاک در روش بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی مانع از برخورد قطرات با سطح خاک شد، روی سطح خاک سله ایجاد نشد، و نفوذپذیری افزایش یافت. پوشش لایهٔ سطحی مالچ روی سطح خاک جلو انرژی جنبشی قطره‌های باران را گرفته و به حفظ سرعت نفوذ اولیه آب در خاک کمک کرده است.

نتیجه‌گیری

با استناد به این نتایج، حفظ بقایا برای افزایش بهره‌وری آب آبیاری توصیه می‌گردد. یکی از راهکارهای مدیریتی برای افزایش بهره‌وری آب و کاهش میزان تبخیر خاک، نگهداری بقایا بر سطح خاک است. باید توجه داشت که مزایای کشاورزی حفاظتی و از جمله خاک‌ورزی حفاظتی در درازمدت آشکار می‌گردد از این رو پیشنهاد می‌شود مزارعی که برای کاربرد این سیستم‌ها در نظرگرفته می‌شوند حداقل ۴ سال پیاپی تحت کشت و بررسی کشاورزی حفاظتی قرار گیرند.

مراجع

Adem, H. H., Tisdall, J. M., & Willoughay, M. (l984). Tillage management changes size distribution of aggregates and macro-structure of soil used for irrigated row crops. *Soil and Tillage Research, 4*, 561-570.

Al-Darby, A. M., & Lowery, B. (1984). Conservation tillage: A comparison of methods. *Agricultural Engineering, 65*(10), 23-24.

Alvarez, A., & Steinbach, H. S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research, 104*, 1-15.

Amuri, N., Brye, K. R., Gbur, E. E., Popp, J., and Chen, P. (2008). Soil property and soybean yield trends in response to alternative wheat residue management practices in a wheat-soybean, double-crop production system in eastern Arkansas. *Electronic Journal of Integrative Biosciences, 6*(1), 64-86.

Anon. (2000). Terminology and efinitions for soil-tool relationships. *ASAE Standard*.

Anon. (2017). *Agricultural Statistics.* Ministry of Jihad-e-Agriculture, Deputy Director of Planning and Economics, ICT Center, Vol I: Crop Production. (in Persian)

Anon. (2018). *Soystats*. Available at: http://www.soystats.com/.

Asadi. M. E. (2012). *Optimum Crop Water Management*. Noruzi Pub. Gorgan, Iran. (in Persian)

Asadi, M. E., & Sadeghi, S. (2017). *Healthy Soils With Conservation Agriculture Systems*. Noruzi Pub. Gorgan, Iran. (in Persian)

Barut, Z. B., & Celik, I. (2010). Different tillage systems affect plant emergence, stand establishment and yield in wheat-corn rotation. *The Philippine Agricultural Scientist, 93*(4), 392-398.

Baumhardt, R. L., & Jones, O. R. (2002). Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil and Tillage Research, 68*, 71-82.

Blackshaw, R. E., Larney, G. O., Lindwall, C. W., & Kozub, G. C. (1994). Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian prairies. *Weed Technology, 8*, 231-237.

Bolliger, A., Magid, J., Amado, J. J. C., Neta, F. S., dos Santos Ribeiro, M., Calegari, A., Ralish, R., & Neergaard, A. (2006). Taking stock of the Brazilian zero-till revolution: a review of landmark research and farmers'practices. *Advances in Agronomy, 91*, 47-110.

Casa, R., & Lo Cascio, B. (2008). Soil conservation tillage effects on yield and water use efficiency on irrigated crop in central Italy. *Journal of Agronomy and Crop Science. 149*, 310-319.

Cruse, R., & Ressler, D. (2004). Lesson 8: Water Flow in Soil. Agronomy 502: Chemistry, Physics, and Biology of Soils. CD-ROM. Iowa State University.

Dahiya, R., Ingwersenb, J., & Streckb, T. (2007). The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. *Soil and Tillage Research, 96*(1-2), 52-63.

Edwards, J. H., Thurlow, D. L., & Eason, J. T. (1988). Influence of tillage and crop rotation on yields of corn, soybean and wheat. *Agronomy Journal, 80*, 76-80.

Farooq, M., & Siddique, K. H. M. (2015). *Conservation Agriculture*. Springer International Pub. Switzerland.

Halvorson, A. D., Mosier, A. R., Reule, C. A., & Bausch, W. C. (2006). Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agronomy Journal, 98*, 63-71.

Howell, T. A. (2008). *Irrigation Efficiency. In: S. W. Trimble (Ed.) Encyclopedia of Water Science*. CRC Press. Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL.

Kassam, A., Friedrich, T., & Derpsch, R. (2018). Global Spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*. https://doi.org/10.1080/00207233.2018. 1494927.

Martens, D. A. (2000). Nitrogen cycling under different soil management systems. *Advances in Agronomy, 70*, 143-191.

Nielsen, D. C., Unger, P., & Miller, P. R. (2005). Efficient water use in dryland cropping systems in the Great Plains. *Agronomy Journal, 97*, 364-372.

Norwood, C. (1999). Water use and yield of dryland row crops as affected by tillage. *Agronomy Journal,* 91, 108-115.

Oorts, K., Garnier, P., Findeling, A., Mary, B., Richard, G., & Nicolardot, B. (2007). Modeling soil carbon and nitrogen dynamics in no-till and conventional tillage using PASTIS model. *Soil Science Society of America Journal, 71*, 336-346.

Padgitt, M., Newton, D. Penn, R., & Sadretto, C. (2000). Production practices for major crops in U. S. Agriculture, 1990-1997. Economic Research Service (ERS)/(USDA). *Statistical Bulletin*. No. SB969. Available at: http://www.ers.usda.gov.

Papendick, R. I., Lindstrom, M. J., & Cochran, V. L. (1973). Soil mulch effect on seedbed temperature and water during fallow in eastern Washington. *Soil Science Society of America Proceedings, 37*, 307-314.

Popp, M. P., Oliver, L. R., Dillon, C. R., Keisling, T. C., & Manning, P. M. (2000). Evaluation of seedbed preparation, planting method and herbicide alternatives for dryland soybean production. *Agronomy Journal, 92*, 1149-1155.

Rydberg, T. (1990). Effects of plough less tillage and straw incorporation on evaporation. *Soil and Tillage Research, 17*, 303-314.

Saha, S., Chakraborty, D., Sharma, A. R., Tomar, R. K., Bhadraray, S., Sen, U., and Behera, U. K., Purakayastha, T. J., Garg, R. N., & Kalra, N. (2010). Effect of tillage and residue management on soil physical properties and crop productivity in maize (Zea mays) – Indian mustard (Brassica juncea) system. *Indian Journal of Agricultural Sciences, 80*(8), 679-685.

Sasal, M. C., Andriulo, A. E., & Taboada, M. A. (2006). Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil and Tillage Research,* 87, 9-18.

Schwartz, R. C., Baumhardt, R. L., & Evett, S. R. (2010). Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. *Soil and Tillage Research, 110*, 221-229.

Sessiz, A., Alp, A., & Gursoy, S. (2010). Conservation and conventional tillage methods on selected soil physical properties and corn yield and quality under cropping system in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science, 16*(5), 597-608.

Vetsch, J. A., Randall, G. W., & Lamb, J. A. (2002). Corn and soybean production as affected by tillage systems. *Agronomy Journal, 99*, 952-959.

Wiese, A. F., Marek, T., & Harman, W. L. (1998). No-tillage increases profit in a limited irrigation-dryland system. *Journal of Production Agriculture, 11*, 247-252

Wilhelm, W. W. J., Doran, W., & Power, J. F. (1986). Corn and soybean yield response to crop residue management under no tillage production systems. *Agronomy Journal*, 78, 184-189.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.21/No.74/Spring & Summer 2020/P:83-96

Investigation of Crop Water Productivity and Yield in Different Systems of Tillage and Crop Residues

M. E. Asadi*, H. R. Sadeghnezhad

*Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. Email: iwc977127@yahoo.com
Received:1 October 2018, Accepted: 22 December 2018

Abstract

Currently, the area of agricultural land under conservation practices in the world exceeds 180 million hectares, one of the main advantages of which is improvement in crop water productivity (CWP). An investigation in soybean cultivation in a farm with different level of management of residues was carried out in a randomized complete block design with split plot design in 2010 and 2011 at Gorgan Agriculture Research Station. Main treatment was residue management at three levels: R1: burning of residue , R2: retaining 50% of residues, and R3: maintaining 100% of residues; the secondry treatment was tillage practises at three levels: T1: conventional tillage (plowing + disk + row crop planter), T2: minimum tillage (stubble cultivator + row crop planter) and T3: no tillage (sowing with no till planter). The best results obtained from R2 and T3: 42.7% and 17.4% increase in yield respectively, comparing R1 and T1. The highest and lowest of water consumption level were found 3950 m^3 ha^{-1} and 2690 m^3 ha^{-1} in R1 and R3 respectively. The maximum and minimum CWP were found in R2 and R1 treatments with 1.13 kg $m^{-3}$and 0.55 kg m^{-3} respectively. Sowing with no tillage system in irrigated conditions improved CWP by 15.3% compared to the conventional method.

Keywords: Conservation Agriculture, Gorgan, Sprinkler Irrigation, No Tillage