

فرا تحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی در ایران

احمد حیدری^{*۱}

چکیده

خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل پتانسیل حفاظت از منابع خاک و آب و کاهش هزینه‌های تولید می‌تواند یک روش جایگزین برای خاک‌ورزی رایج محصول گندم آبی در ایران باشد. گزارشات متعددی از تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی در زراعت گندم آبی وجود دارد که به‌طور عمده اثر این روش‌های خاک‌ورزی را بر عوامل مختلف مانند عملکرد محصول، خواص فیزیکی خاک، هزینه‌ها و ... بررسی کرده‌اند. به‌منظور کسب چشم‌انداز بهتری از تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد گندم در ایران، بررسی‌های موجود به‌صورت نظام‌مند مرور شد و یافته‌های آن‌ها با روش فرا تحلیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقاله‌های منتشر شده در مجلات ایرانی، گزارش‌های پژوهشی و مقالات مرتبط ارائه شده در کنفرانس‌ها، و نیز پایان‌نامه‌های دانشجویی با استفاده از کلید واژه‌های استاندارد مرور شد. در نهایت پس از کنترل کیفی، ۴۰ مطالعه برای مقایسه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و ۲۱ مطالعه برای مقایسه بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج با استفاده از مدل تصادفی وارد فرایند فرا تحلیل شدند. نتایج نشان داد که مقدار اندازه اثر (SMD) در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۰/۴۲- و ۱/۱۸- است که حاکی از تأثیر منفی این روش‌ها بر عملکرد گندم در مقایسه با خاک‌ورزی رایج بود. روش‌های کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار + دیسک + ماله) باعث کاهش جزئی عملکرد گندم (۲/۸۷- درصد) شدند. همچنین روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج باعث کاهش عملکرد (۸/۲- درصد) شد. با توجه به اینکه روش‌های کم‌خاک‌ورزی اثر قابل توجهی بر کاهش عملکرد گندم نداشتند می‌توان یکی از روش‌های کم‌خاک‌ورزی به ترتیب اولویت شامل ۱- چیزل‌پکر، ۲- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک)، ۳- گاواهن قلمی + دیسک و ۴- دیسک را با توجه به امکانات و دسترسی هر منطقه به این ادوات جایگزین خاک‌ورزی رایج نمود.

واژه‌های کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حفاظتی، کم‌خاک‌ورزی، گندم آبی، مرور نظام‌مند.

ارجاع: حیدری ا. ۱۴۰۱. فرا تحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی در ایران. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۰۵: ۲۵-
<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13885.589>

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

* نویسنده مسئول: heidari299@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

مقدمه

تمایل گروهی از محققین، داورها و سردبیران برای ارسال و پذیرش دست نوشته‌ها بر اساس یافته‌های تحقیق است اثر برخی عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی، سطوح کود نیتروژن، تنش شوری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گندم با روش فرا تحلیل مطالعه شد. نتایج نشان داد که تیمار (بدون شخم پاییزه + شخم با ادوات ثانویه (گاواهن قلمی و پنجه‌غازی)) نسبت به تیمار رایج (شخم با گاواهن برگرداندار + اکثرا دو بار دیسک عمود بر هم) در هر دو اراضی دیم و آبی باعث افت عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد که این کاهش در اراضی دیم مشهودتر بود (Khaliliagdam *et al.*, 2018). با روش فراتحلیل به این سوال که چه وقت بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش عملکرد می‌شود پاسخ داده شد. نتایج نشان داد که بی‌خاک‌ورزی به‌طور متوسط عملکرد پنجاه محصول را حدود ۵/۱ درصد کاهش داد. در غلات اثر منفی بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد حداقل بود (۲/۶- درصد) و در برنج (۷/۵- درصد) و ذرت (۷/۶- درصد) حداکثر بود (Pittelkow *et al.*, 2015). با روش فراتحلیل به این سوال که آیا خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک^۲ در کشاورزی ارگانیک باعث حفظ عملکرد محصول و افزایش کربن می‌شود پاسخ داده شد. نتایج نشان داد که کم کردن شدت خاک‌ورزی (کم‌خاک‌ورزی) عملکرد محصول را ۷/۶ درصد نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی با برگردان کامل خاک کاهش داد، ولیکن اختلاف معنی‌داری با سیستم‌های خاک‌ورزی سطحی برگردان خاک نداشت (Cooper *et al.*, 2016).

تغییر سامانه خاک‌ورزی از شخم با گاواهن برگرداندار به گاواهن قلمی بر خواص فیزیکی خاک (شاخص‌های ساختمان خاک) تأثیر نداشت. اما کاهش شدت خاک‌ورزی از گاواهن برگرداندار به بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش شاخص پایداری خاکدانه (در حالت تر) در لایه‌های کمتر از ۱۵ سانتی‌متر و کاهش جزئی در شاخص‌های چگالی ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ در خاک در لایه زیر ۲۵ سانتی‌متری خاک شد. در مقایسه با گاواهن برگرداندار، بی‌خاک‌ورزی تأثیر کمی بر شاخص‌های فشردگی خاک (چگالی ظاهری و مقاومت به نفوذ در خاک) داشت اما تغییر از شخم با گاواهن برگرداندار و به سامانه‌های کشت چند ساله، خواص فیزیکی خاک را در تمام عمق ۴۰

استفاده مداوم از خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاواهن برگرداندار) در اراضی زیر کشت گندم منجر به افزایش فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی خاک شده است. برای غلبه بر این مشکل، کشاورزی حفاظتی شامل کاهش شدت خاک‌ورزی، پوشش دائم خاک و تناوب زراعی توصیه شده است (FAO, 2022). اثر بخشی کشاورزی حفاظتی در کنترل رواناب و فرسایش خاک اثبات شده است (Barton *et al.*, 2004; Scopel *et al.*, 2004) می‌توان انتظار داشت که این مسئله در نهایت بر عملکرد محصول اثر مثبت بگذارد. از مزایای دیگر کشاورزی حفاظتی کاهش هزینه تولید محصول و به حداکثر رساندن سود است (Dumanski *et al.*, 2006; Knowler & Bradshaw, 2007).

اجرای کشاورزی حفاظتی در ایران با چالش‌هایی مواجه است. در مناطق نیمه‌خشک (بارندگی سالیانه ۵۰۰-۳۰۰ میلی‌متر)، موفقیت کشاورزی حفاظتی بستگی به توانایی کشاورزان در حفظ بقایای گیاهی و کنترل کافی علف‌های هرز دارد (Giller *et al.*, 2009). در مناطق نیمه خشک، بقایای گیاهی یا توسط دام چرا شده یا برای فروش از مزرعه خارج می‌شوند، بارندگی‌ها نامنظم هستند و همچنین تناوب زراعی مشخصی رعایت نمی‌شود و کود کافی به دلیل قیمت بالا و عدم آگاهی کشاورزان در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد (Giller *et al.*, 2009).

فراتحلیل امکان تجزیه و تحلیل کمی نتایج آزمایش‌های گزارش شده توسط دیگر نویسندگان را فراهم می‌کند (Ried, 2000; Borenstein *et al.*, 2009). همچنین فراتحلیل قدرت آماری موجود برای آزمایش فرضیه‌ها و تفاوت واکنش‌های تیمارها را در شرایط مختلف محیطی افزایش می‌دهد (Gates, 2002; Borenstein *et al.*, 2009). همه مطالعات برای برآورد کلی اثر تیمار مشارکت دارند اگرچه نتیجه هر مطالعه‌ای به‌طور آماری معنی‌دار یا غیرمعنی‌دار باشد. داده‌های مطالعاتی که دارای اندازه‌های دقیق بیشتری هستند وزن بالاتری می‌گیرند بنابراین آن‌ها تأثیر بیشتری بر برآورد کل دارند (Gates, 2002). به‌رحال فراتحلیل دارای نقاط ضعف بالقوه‌ای مانند سوگرایی انتشار^۱ و سوگرایی‌های دیگری که در مراحل جستجو، انتخاب و ترکیب مطالعات اتفاق می‌افتد است (Egger *et al.*, 1997; Nobel, 2006). سوگرایی انتشار

خاک‌ورزی رایج در زراعت گندم آبی با روش فراتحلیل مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات عملکرد گندم آبی از مطالعات طولانی مدت (۳۰ سال گذشته در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۰) تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی به دست آمد. مطالعات شامل مقالات علمی پژوهشی چاپ شده در مجلات معتبر، مقالات کنفرانسی، گزارشات پژوهشی، پایان‌نامه‌ها و ... بود که با جستجوی برخط در پایگاه‌های داخلی معتبر مانند پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد کشاورزی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)، ایراندک و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی بدست آمد. جستجو جامع و بر اساس کلمات کلیدی و ترکیب آن‌ها شامل: خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی، شخم، کشاورزی حفاظتی، کشت مستقیم و عملکرد گندم بود. همچنین با توجه به این‌که ممکن است تحقیقی در داخل کشور انجام شده ولی به صورت مقاله انگلیسی ارائه شده باشد در پایگاه‌های (Scopus, Web of Science & Google Scholar) نیز جستجو انجام شد.

فرایند غربال‌گری و انتخاب

ارزیابی دقیق هر مطالعه برای تصمیم‌گیری در مورد این‌که آن پژوهش کیفیت لازم و اطلاعات مفید را برای فراتحلیل دارد مهم است. این قسمت اهمیت زیادی در فراتحلیل دارد. هر مطالعه باید حداقل نیازهای از پیش تعیین شده‌ای را داشته باشد و باید ارزیابی دقیقی درباره کیفیت مطالعه مورد استفاده صورت گیرد (Soltani & Soltani, 2014). در مورد ارزیابی مطالعه‌ها سیاهه‌ای تهیه شد و اطلاعاتی شامل: مؤلف و سال، مدیریت خاک‌ورزی، محل اجرای آزمایش، بافت خاک، تناوب گیاهی و ... استخراج و ثبت شد (جدول ۱). این عوامل تأثیر بسزایی بر اندازه اثر^۱ دارند.

در مرحله ارزیابی مطالعات به بررسی عدم تجانس^۲ و دیگر اختلاط‌های^۳ مهم پرداخته شد. در این مرحله، تمام موارد

سانتی‌متر بهبود بخشید. در بین خواص فیزیکی خاک، پایداری خاکدانه بیشترین حساسیت را به خاک‌ورزی دارد. در پایان نتیجه گرفته شد که کاهش شدت خاک‌ورزی باعث بهبود خواص فیزیکی خاک می‌شود (Nunes *et al.*, 2020-a). تغییر سامانه خاک‌ورزی از گاواهن برگرداندار به گاواهن قلمی بر شاخص‌های کربن آلی خاک، کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی و تنفس خاک در عمق کمتر از ۱۵ سانتی‌متر تأثیر داشت. تغییر سامانه از گاواهن برگرداندار به بی‌خاک‌ورزی همه شاخص‌های سلامت خاک (کربن آلی خاک، کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، تنفس خاک، و پروتئین خاک) را در لایه بالایی خاک زیاد کرد. در لایه‌های پایین خاک (۲۵-۱۵ سانتی‌متر) بی‌خاک‌ورزی شاخص‌های کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی و تنفس خاک را نسبت به گاواهن برگرداندار بیشتر کرد (Nunes *et al.*, 2020-b).

بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد، تبخیر و تعرق، و کارآیی مصرف آب گندم در شمال‌غربی و شمال‌چین نداشت (Wang *et al.*, 2018). نتایج نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) اثر منفی بر عملکرد محصول داشت. متوسط کاهش عملکرد در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی ۴/۵ درصد بود. بی‌خاک‌ورزی به‌طور متوسط عملکرد را ۸/۵ درصد کاهش داد. کم‌خاک‌ورزی بیشترین کاهش عملکرد را در ذرت و غلات زمستانه داشت. با کمال تعجب بی‌خاک‌ورزی در شرایط آب و هوایی خشک عملکرد بدتری داشت (Van den putte *et al.*, 2010). بی‌خاک‌ورزی تنها عملکرد گندم زمستانه را در شمال مرکزی چین و ذرت را در شمال شرقی چین افزایش داد (Wang *et al.*, 2020).

گندم در ایران به‌دلیل اینکه خوراک عمده مردم است مهم است. در این پروژه بر یکی از ستون‌های مدیریت پایدار که حفظ یا افزایش بهره‌وری بود تمرکز شد (Dumanski *et al.*, 2006). عملکرد محصول مهم است زیرا رایج‌ترین و مفیدترین عاملی است که برای توجیه و توصیه هر روش تولید توسط کشاورزان پذیرفته می‌شود (Abeyasekera, 2002). بنابراین در این تحقیق، با استفاده از داده‌های مطالعات انجام شده در کشور با شرایط محیطی مختلف، خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) با

1- Effect size
2- Heterogeneity
3- Confounder

$$SMD = \frac{M_1 - M_2}{SD_{pooled}} \quad (3)$$

که در این معادله، M_1 و M_2 به ترتیب میانگین عملکرد تیمار آزمایش و تیمار کنترل و SD_{pooled} انحراف معیار ترکیب شده (معادله (۴)) است (Cohen, 1988).

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2}} \quad (4)$$

که در این معادله SD_1 و SD_2 به ترتیب انحراف معیار گروه آزمایش و کنترل است.

بهترین راه برای مقایسه مطالعه‌های مختلف، استفاده از میانگین اثر آن‌ها است. هر چند در تخمین اندازه اثر آزمایش‌های مختلف، دقت‌های (اشتباه معیار) متفاوتی وجود دارد. بنابراین قبل از فراتحلیل، باید به داده‌ها وزن داده شود به این ترتیب مطالعاتی که دقت آزمایشی بالاتری دارند وزن بیشتری خواهند داشت که موجب افزایش دقت اندازه اثر تخمین زده خواهد شد (Soltani & Soltani, 2014). میانگین وزن‌دهی از معادله (۵) محاسبه شد.

$$WSMD_{overall} = \frac{\sum wi \times SMD}{\sum wi} \quad (5)$$

وزن داده شده به هر مطالعه (w_i) با معکوس کردن واریانس محاسبه شد (معادله (۶)).

$$wi = \frac{1}{var_i} = \frac{1}{SD_i^2} \quad (6)$$

حدود اطمینان از معادله (۷) محاسبه شد.

$$95\% CI = WSMD \pm 1.96 \times \sqrt{var_{overall}} \quad (7)$$

تست Q (کوکران) و تجزیه آماری (I-squared) برای تشخیص عدم همگنی مطالعات استفاده شد (Higgins *et al.*, 2019). عدم همگنی در چهار گروه طبقه‌بندی شد: ناهمگنی زیاد (I-squared $\geq 75\%$)، ناهمگنی متوسط (I-squared = 50% - 74%)، ناهمگنی کم (I-squared = 25% - 49%)، ناهمگنی = (I-squared < 25%) و نداشتن ناهمگنی (Higgins *et al.*, 2019).

به‌منظور انجام سوگیری انتشار، از آزمون Begg (Begg & Egger, 1997) و Mazumdar (Mazumdar, 1994) استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار STATA 14.2 برای فراتحلیل داده‌ها استفاده گردید.

درباره روش‌های اعمال تیمارها ثبت شد و تصمیم گرفته شد که کدام مطالعه‌ها نسبتاً همگن^۱ هستند و می‌توان در تجزیه و تحلیل آن‌ها را وارد کرد. در نهایت ۴۰ مطالعه برای مقایسه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و ۲۱ مطالعه برای مقایسه بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج انتخاب شده و وارد فرایند تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

استخراج داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای فراتحلیل عبارتند از: میانگین تیمار (\bar{X})، انحراف معیار استاندارد ($SD_{\bar{X}}$) و تعداد تکرار یا حجم نمونه^۲ (n) در طرح آزمایشی. در تعدادی از مطالعات نویسندگان داده آماری را در شکل‌های مختلف مانند خطای استاندارد ($SE_{\bar{X}}$) و ضریب تغییرات (CV%) گزارش کردند. این شکل‌ها به انحراف معیار استاندارد با استفاده از معادلات (۱) و (۲) تغییر پیدا کردند:

$$\times \sqrt{n} = SE_{\bar{X}} \quad SD_{\bar{X}} \quad (1)$$

$$SD_{\bar{X}} = \left(\frac{CV\%}{100}\right) \times \bar{X} \quad (2)$$

(Dickersin, 1990). عواملی مانند محل جغرافیایی، تناوب گیاهی، بافت خاک و ... می‌توانند روی اندازه اثر تأثیر بگذارند به این دلیل در این پروژه مدل اثر تصادفی انتخاب شد (Ried, 2000).

تیمارهای فراتحلیل

در تجزیه و تحلیل، روش‌های خاک‌ورزی که تأثیرشان بر عملکرد گندم آبی مشخص بود تفکیک شدند. در جدول ۲ شرح کوتاهی از روش‌های مختلف خاک‌ورزی مورد استفاده آورده شده است. خاک‌ورزی رایج در مقایسه با کم-خاک‌ورزی (چهار روش) و بی‌خاک‌ورزی (یک روش) مقایسه شد. بنابراین تیمار کنترل (شاهد)، خاک‌ورزی رایج انتخاب گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه تحلیل داده‌ها از عامل تفاضل میانگین استاندارد^۳ شده (SMD) (معادله (۳)) که از شاخص‌های مهم اندازه اثر است در عملکرد بین تیمار کنترل و آزمایش استفاده شد (Cohen, 1988).

1- Homogeneous

2- Sample size

3- The standardized mean difference (SMD)

جدول ۱ - مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

منبع	مدیریت خاک‌ورزی	محل آزمایش استان (شهرستان)	بافت خاک	تناوب زراعی	مدت زمان آزمایش (سال)
Asoudar & Marzban (2020)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (چیزل پکر)	خوزستان (اهواز)	رسی لومی	نامشخص	۱
Afzali & Javaheri (2013)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	خوزستان (اهواز)	رسی سیلتی	نامشخص	۲
Afzalinia et al. (2016)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (داراب)	لومی	پنبه-گندم	۲
Afzalinia et al. (2019-a)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (مرودشت)	رسی	ذرت دانه‌ای-گندم	۴
Afzalinia et al. (2019-b)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (داراب)	لومی	کتجد-گندم	۴
Amani et al. (2016)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) کم‌خاک‌ورزی (چیزل پکر) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	مرکزی (خنداب)	سیلتی رسی لومی	ذرت دانه‌ای-گندم	۱
Amini et al. (2014)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (مرودشت)	رسی لومی	گندم-گندم	۱
Bakhtiari et al. (2007)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک) کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	همدان (کیودرآهنگ)	لومی رسی شنی	سیب‌زمینی-گندم	۲
Banayanaval et al. (2020)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	خراسان رضوی (مشهد)	لومی سیلتی	گوجه-گندم	۱
Tabizad (2015)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	آذربایجان غربی (رومیه)	لومی رسی سیلتی	ذرت دانه‌ای-گندم	۴
Habibiasl & Gilani (2014)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک) کم‌خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خوزستان (اهواز)	لومی سیلتی رسی	برنج-گندم	۲
Hassanzadehmoghadam et al. (2019)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خراسان رضوی (تربت حیدریه)	سیلتی لومی	ذرت علوفه‌ای-گندم	۱
Houseini et al. (2016)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (افقید)	لومی سیلتی	نامشخص	۲
Heidari, (2011)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	همدان (کیودرآهنگ)	لومی رسی	چغندر قند-گندم	۱
Rouzbeh & Pouskani, 2003	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک)	فارس (داراب)	لومی رسی	ذرت دانه‌ای-گندم	۳
Rouzbeh & Niazi, (2015)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	فارس (داراب)	لومی	پنبه-گندم	۳
Zabolestani et al. (2010)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	آذربایجان شرقی (خسروشهر)	شنی لومی	نامشخص	۳
Zaree et al. (2014)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (شیراز)	رسی شنی	گندم-گندم	۱
Saati (2005)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک) کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	همدان (اسداباد)	لومی رسی	چغندر قند-گندم	۲

ادامه جدول ۱ - مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

منبع	مدیریت خاک‌ورزی	محل آزمایش استان (شهرستان)	بافت خاک	تناوب زراعی	مدت زمان آزمایش (سال)
Salezamani <i>et al.</i> (2007)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	آذربایجان شرقی (خسروشهر)	نامشخص	کنجد-گندم	۲
Sepidedam & Ramroudi (2015)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	سیستان بلوچستان (زابل)	لومی شنی	نامشخص	۱
Salami <i>et al.</i> (2017)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (چیزل پکر) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خراسان رضوی (مشهد)	نامشخص	چغندر قند-گندم	۱
Sharifnasab & sharbanonejad, (2009)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	خوزستان (صفی آباد)	نامشخص	نامشخص	۱
Sharifnasab & Sadeghnejad, (2009)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	گلستان (گرگان)	نامشخص	نامشخص	۱
Sharifnasab & Mehdiinia, (2009)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	خراسان رضوی (مشهد)	نامشخص	نامشخص	۱
Sharifi <i>et al.</i> (2018)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خراسان جنوبی (بیرجند)	لومی شنی	گیاهان پوششی- گندم	۱
Sadeghnejad & Eslami (2006)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک کم خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	گلستان (گنبد)	سیلتی رسی لومی	نامشخص	۳
Solhjou (2015)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	فارس (کربال)	سیلتی رسی لومی	نامشخص	۱
Solhjou & Niazi, (2001)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	فارس (زرقان)	لومی سیلتی	نامشخص	۱
Abasian & Emaeeli, (2006)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	مازندران (ساری)	نامشخص	نامشخص	۱
Alijani <i>et al.</i> (2011)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن) قلمی+دیسک	فارس (شیراز)	سیلتی لومی	ذرت دانه‌ای-گندم	۲
Eedkahnagi <i>et al.</i> (2019)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خوزستان (دزفول)	لومی رسی	ذرت دانه‌ای-گندم	۱
Mouhamadi & Afzalnia, (2018)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (داراب)	نامشخص	پنبه-گندم	۴
Mouhamadimazrae & Nourjou, (2009)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	آذربایجان غربی (میاندوآب)	لومی سیلتی	چغندر قند-گندم	۳
Mousavibugar <i>et al.</i> (2013)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب)	البرز (کرج)	لومی رسی	نامشخص	۱
Mousavitalab & Habibiasl (2014)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (دیسک)	خوزستان (اهواز)	نامشخص	برنج-گندم	۱
Nourafab <i>et al.</i> (20121)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خوزستان (اهواز)	نامشخص	نامشخص	۱
Hedayatipour & Yونسiamouti, (2018)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) رایج-کم خاک‌ورزی (چیزل پکر) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	مرکزی (اراک)	نامشخص	ذرت دانه‌ای-گندم	۲

ادامه جدول ۱ - مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

منبع	مدیریت خاک‌ورزی	محل آزمایش استان (شهرستان)	بافت خاک	تناوب زراعی	مدت زمان آزمایش (سال)
Hammat & Asadi, (1996)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	اصفهان (اصفهان)	لومی رسی	جو-گندم	۲
Houshmandi et al. (2021)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (زرقان)	لومی رسی سیلنی	ذرت دانه‌ای-گندم	۲

جدول ۲ - شرح کوتاه از تیمارهای مورد استفاده در ارزیابی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی

مدیریت خاک‌ورزی	توضیح مختصر
خاک‌ورزی رایج	شخم با گاواهن برگرداندار + دیسک + لولر + کاشت با خطی کار رایج
کم خاک‌ورزی	روش‌های کم‌خاک‌ورزی شامل: ۱- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) + کاشت گندم با خطی کار رایج، ۲- گاواهن قلمی + دیسک + کاشت گندم با خطی کار رایج، ۳- چیزل پکر + کاشت گندم با خطی کار رایج و ۴- دیسک + کاشت گندم با خطی کار رایج
بی‌خاک‌ورزی	کاشت گندم با خطی کار کشت مستقیم

نتایج و بحث

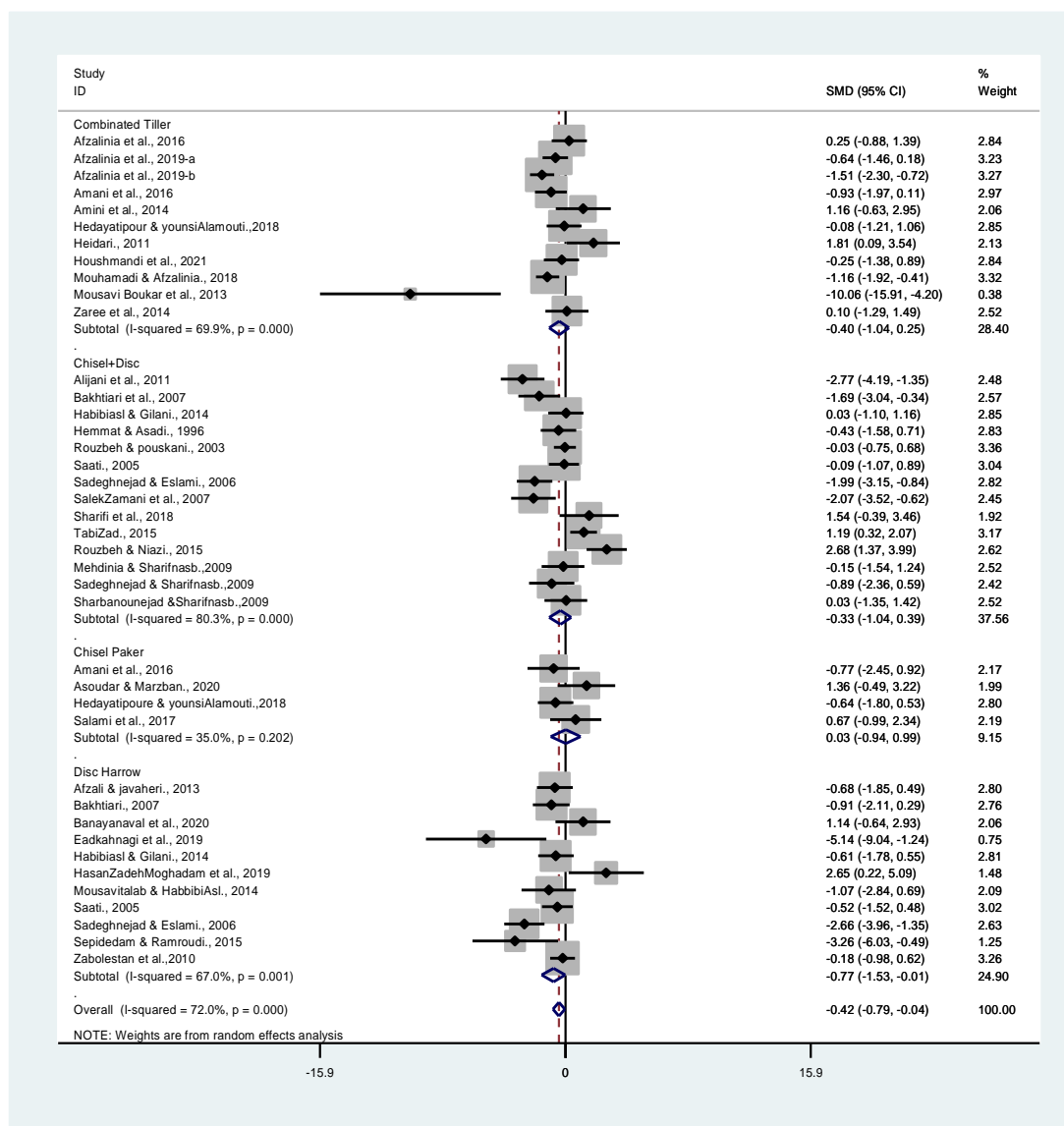
اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی

نتایج تجزیه آماری عامل تفاضل میانگین استاندارد شده (اندازه اثر) اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش رایج بر عملکرد گندم در شکل ۱ آورده شده است. روش‌های کم‌خاک‌ورزی به چهار زیر گروه شامل: ۱- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک)، ۲- گاواهن قلمی + دیسک، ۳- چیزل پکر و ۴- دیسک طبقه‌بندی شدند. برای هر گروه مقدار اندازه اثر (SMD) و I^2 (I-squared) و در پایین نمودار اندازه اثر و I^2 (I-squared) کل (Overall) نیز ارائه شده است (جدول ۳). با توجه به مقدار اندازه اثر کل (SMD = -۰/۴۲)، می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع روش‌های کم‌خاک‌ورزی اثر مثبتی بر عملکرد گندم نداشته‌اند و در مقایسه با خاک‌ورزی رایج در کل باعث کاهش ۲/۸۷ درصدی عملکرد شده‌اند. میانگین عملکرد کل در خاک-ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب برابر ۴۷۰۷ و ۴۵۷۸ کیلوگرم در هکتار بود که بعد از وزن‌دهی (شکل ۱) به هر کدام از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب ۱۱۸/۷۱۲ و ۱۱۵/۳۰۴ بدست آمد. نتایج بدست آمده با گزارشات محققین دیگر (Khaliliaqdam et al., 2018; Cooper et al., 2011; Van den putte et al., 2010) مبنی بر کاهش عملکرد

گندم در سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی منطبق است. همچنین با توجه به مقدار اندازه اثر هر گروه (جدول ۳)، سه روش ۱- گاواهن قلمی + دیسک، ۲- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) و ۳- دیسک به ترتیب نسبت به خاک‌ورزی رایج، عملکرد گندم را کاهش دادند. ولی عملکرد گندم در چیزل پکر با روش رایج نسبتاً یکسان بود (SMD = ۰/۰۳). احتمالاً با توجه به ساختار چیزل پکر (ساقه و تیغه‌های قویتر نسبت به سه وسیله کم‌خاک‌ورز دیگر) کارایی بهتری در نفوذ به خاک و گسیختگی آن داشته است. دیسک در بین روش‌های کم‌خاک‌ورزی بیشترین اثر را در کاهش عملکرد گندم داشته است. با توجه به سرعت پیشروی بیشتر دیسک (ظرفیت مزرعه‌ای زیادتر) نسبت به سه وسیله دیگر پیشنهاد می‌شود در تناوب‌های چغندر قند-گندم و سیب‌زمینی-گندم که با محدودیت تهیه زمین بعد از برداشت چغندر قند و سیب‌زمینی مواجه است از دیسک استفاده شود. همچنین با توجه به اینکه برداشت چغندر قند و سیب‌زمینی به ترتیب با چغندرکن دو تیغه‌ای و سیب‌زمینی‌کن انجام می‌شود و این ادوات به هنگام برداشت یک مقدار گسیختگی در خاک ایجاد می‌کنند لذا تهیه زمین با دیسک برای کاشت گندم کفایت می‌کند. دو روش کم-خاک‌ورزی شامل خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) و گاواهن قلمی + دیسک اثر نسبتاً یکسانی بر

با توجه به مقدار I-squared کل (۷۲ درصد) بین مطالعات یک ناهمگنی متوسط وجود دارد (جدول ۳ و شکل ۱). همچنین در بین گروه‌های فرعی تنها چیزل پکر دارای مطالعات با ناهمگنی کم است. مقدار سطح احتمال در روش Egger و Begg (برای تخمین سوگرایی انتشار) به ترتیب ۰/۸۵۲ و ۰/۷۶۳ بدست آمد (بیشتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در مطالعات مشاهده نشده است.

عملکرد گندم داشتند که با توجه به ساختار مشابه (وجود گاوآهن قلمی) قابل پیش‌بینی بود؛ ولیکن با توجه به اینکه در روش گاوآهن قلمی + دیسک نیاز است که تراکتور دوبار وارد زمین شود پیشنهاد می‌شود که از خاک‌ورز مرکب که با یک‌بار عبور تراکتور عملیات تهیه زمین را انجام می‌دهد استفاده شود. هنگامی که محصولاتی مانند ذرت و پنبه که دارای بقایای گیاهی خشبی و زیاد هستند در تناوب با گندم قرار می‌گیرند نیاز است قبل از تهیه زمین با وسیله‌ای مانند ساقه‌خردکن یا کمباین‌های مجهز به ساقه‌خردکن، بقایای این گیاهان خرد و ریز شوند.



شکل ۱- نمودار انباشت اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی (SMD (اندازه اثر)، weight% (درصد وزن)، study ID (مشخصات مطالعه)، combinated tiller (خاک‌ورز مرکب)، chisel+disc (چیزل+دیسک)، chisel paker (چیزل پکر)، disc harrow (دیسک))

جدول ۳- مقادیر اندازه اثر (SMD) و همگنی مطالعات (I-squared)

روش کم‌خاک‌ورزی	اندازه اثر (SMD)	همگنی مطالعات (I-squared)
خاک‌ورز مرکب	-۰/۴	۶۹/۹%
گاواهن قلمی + دیسک	-۰/۳۳	۸۰/۳%
چیزل‌پکر	۰/۰۳	۳۵%
دیسک (هرس بشقابی)	-۰/۷۷	۶۷%
کل	-۰/۴۲	۷۲%

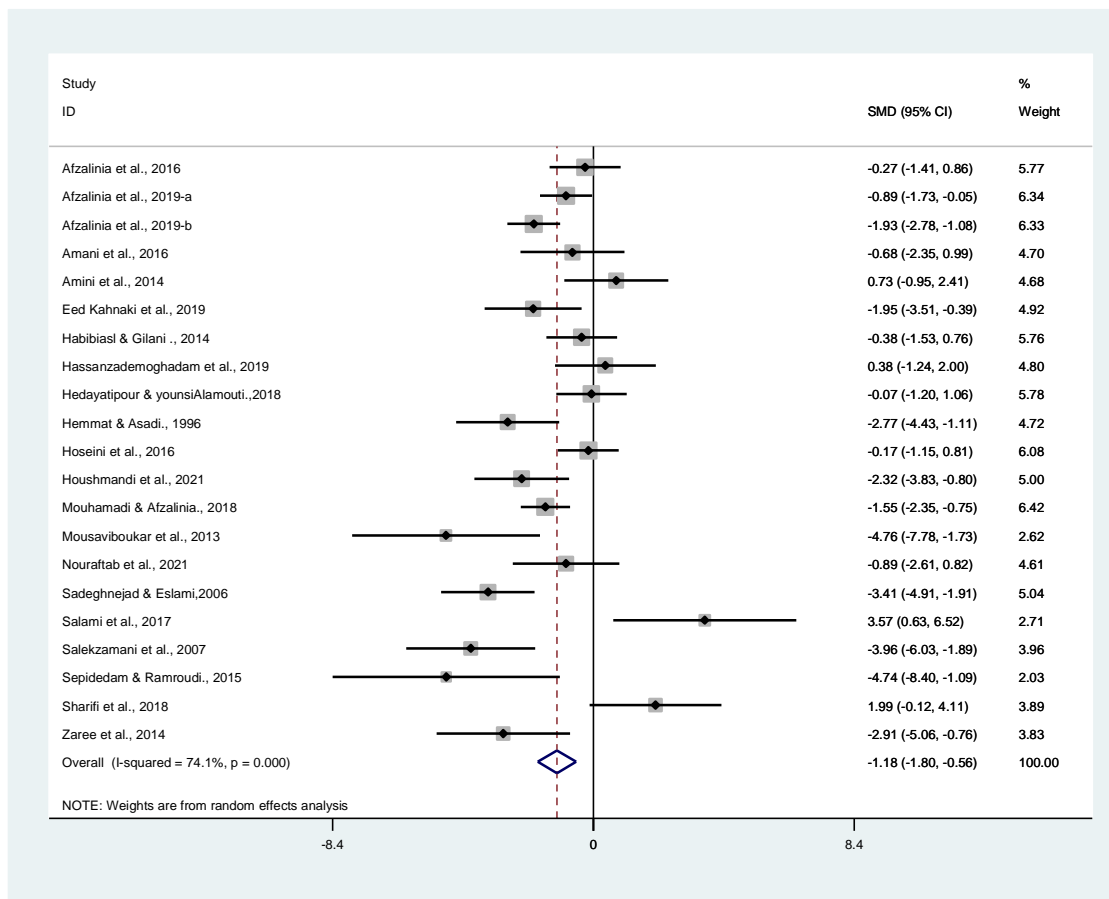
(Hilshey *et al.*, 2020). با توجه به مقدار I-squared کل (۷۴/۱ درصد)، بین مطالعات یک ناهمگنی زیاد وجود دارد (شکل ۲). مقدار سطح احتمال در روش Egger و Begg (برای تخمین سوگرایی انتشار) به ترتیب ۰/۷۶۳ و ۰/۶۷۵ بدست آمد (بیشتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در مطالعات مشاهده نشده است.

نتیجه‌گیری

در کل، روش‌های کم‌خاک‌ورزی باعث کاهش عملکرد گندم به میزان ۲/۸۷ درصد شدند. روش‌های کم‌خاک‌ورزی شامل ۱- گاواهن قلمی + دیسک، ۲- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) و ۳- دیسک نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد گندم را کاهش دادند. عملکرد گندم در روش چیزل‌پکر با روش رایج تقریباً یکسان بود. روش بی‌خاک‌ورزی عملکرد گندم را به میزان ۸/۲ درصد کاهش داد. تغییر بافت خاک در روش بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد گندم نداشت. عملکرد گندم در روش بی‌خاک‌ورزی در تناوب چغندر-گندم و گیاهان پوششی-گندم نسبت به روش خاک‌ورزی رایج بیشتر بود، ولیکن در تناوب‌های دیگر عملکرد در روش خاک‌ورزی رایج بیشتر بود. با توجه به اینکه روش‌های کم‌خاک‌ورزی تأثیر زیادی بر کاهش عملکرد گندم نداشتند و از طرفی با توجه به مزایای روش‌های کم‌خاک‌ورزی در کاهش مصرف سوخت، کاهش زمان انجام عملیات تهیه زمین، افزایش ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و افزایش بهره‌وری مصرف آب پیشنهاد می‌شود، روش کم‌خاک‌ورزی به خصوص چیزل‌پکر جایگزین روش رایج خاک‌ورزی (گاواهن برگرداندار + دیسک + ماله) شوند. استفاده از روش بی‌خاک‌ورزی در زراعت گندم آبی نیاز به تحقیقات بیشتر و بلندمدت دارد.

اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی

نتایج تجزیه آماری پارامتر تفاضل میانگین استاندارد شده (اندازه اثر) اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به مقدار اندازه اثر کل (۱/۱۸ - SMD =)، می‌توان نتیجه گرفت که روش بی‌خاک‌ورزی اثر مثبتی بر عملکرد گندم نداشته و در مقایسه با خاک‌ورزی رایج در کل باعث کاهش عملکرد (۸/۲ - درصد) شده است. میانگین عملکرد کل در خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب برابر ۴۸۳۷ و ۴۳۰۳ کیلوگرم در هکتار بود که بعد از وزن‌دهی (شکل ۲) به هر کدام از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۳۴۹/۴۵۳ و ۳۲۰/۷۴۵ بدست آمد. تغییر بافت خاک در روش بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد گندم نداشت. همچنین تناوب گیاهی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد در روش بی‌خاک‌ورزی است. تنها در تناوب‌های چغندر-گندم و گیاه پوششی - گندم روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج برتری داشت در حالی که در تناوب‌های دیگر (ذرت - گندم، پنبه - گندم، آفتابگردان - گندم و جو - گندم) عملکرد گندم در روش بی‌خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی رایج بود. بررسی‌های Pittelkow *et al.* (2015) نیز نشان داد که بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش ۲/۶ درصدی عملکرد غلات می‌شود. همچنین Van den putte *et al.* (2010) نیز با روش فراتحلیل اعلام کردند که بی‌خاک‌ورزی عملکرد پنبه محصول را به‌طور متوسط ۸/۵ درصد کاهش داد. اجرای کوتاه مدت مدیریت بی‌خاک‌ورزی در ایران می‌تواند یکی از دلایل کاهش عملکرد گندم در این روش خاک‌ورزی باشد. در خاک‌هایی که خاک‌ورزی انجام نشده باشد کشاورزان تجربه دارند که عملکرد به مدت سه سال در حدود ۱۰ درصد کاهش پیدا کرده است (Hilshey *et al.*, 2020). بیشترین عملکرد محصول در روش بی‌خاک‌ورزی در مدیریت‌های بلند مدت گزارش شده است



شکل ۲- نمودار انباشت اثر روش بی خاک‌ورزی بر عملکرد گندم (SMD (اندازه اثر)، weight (% در صد وزن)، study ID (مشخصات مطالعه))

- Casagrande, M. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1): 22.
- Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., & Carliell-Marquet, C. (2011). The future distribution and production of global phosphate rock reserves. *Resources, Conservation & Recycling*, 57: 78–86.
- Dickersin, K. (1990). The existence of publication bias and risk factors for its occurrence. *Jama*, 263(10): 1385-1389.
- Dumanski, J., Peiretti, R., Benetis, J., McGarry, D., & Pieri, C. (2006). The paradigm of conservation tillage. *Proceedings of World Association of Soil and Water Conservation*, FAO, Rome. 58–64.
- Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M., & Minder, C. (1997-a). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ.*, 315(7109): 629–634.
- Egger, M., Smith, G. D., & Phillips, A. N. (1997-b). Meta-analysis: principles and procedures. *BMJ*. 315(7121):1533–1537.
- FAO. (2022). <http://www.fao.org/ag/ca/>.

منابع

- Abeyasekera, S., Ritchie, J. M., & Lawson-McDowall, J. (2002). Combining ranks and scores to determine farmers' preferences for bean varieties in southern Malawi. *Experimental Agriculture*, 38(1): 97-109.
- Barton, A. P., Fullen, M. A., Mitchell, D. J., Hocking, T.J., Liu, L, Bo, Z. W, Zheng, Y., & Xia, Z. Y. (2004). Effects of soil conservation measures on soil erosion rates and crop productivity on subtropical Ultisols in Yinnan Province. *China Agricultural Ecosystem Environmental*, 104: 343–357.
- Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 50: 1088–1101.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-analysis*. Wiley, London.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd Edition. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bärberi, P., Fließbach, A., &

- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., & Demuzere, M. (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European journal of agronomy*, 33(3): 231-241.
- Wang, J., Pan, Z., Pan, F., He, D., Pan, Y., Han, G., & Zhang, J. (2020). The regional water-conserving and yield-increasing characteristics and suitability of soil tillage practices in Northern China. *Agricultural Water Management*, 228: 105883.
- Wang, Y., Zhang, Y., Zhou, S., & Wang, Z. (2018). Meta-analysis of no-tillage effect on wheat and maize water use efficiency in China. *Science of the Total Environment*, 635: 1372-1382.
- Gates, S. (2002). Review of methodology of quantitative reviews using meta-analysis in ecology. *Journal of Animal Ecology*, 71(4): 547-557.
- Giller, K. E., Witter, E., Corbeels, M., & Tittonell, P. (2009). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crop Research*, 114: 14-23.
- Higgins, J. P., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (Eds.). (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. John Wiley & Sons.
- Hilshey, B., Bench, C., & Tessieri, L. (2020). A practical guide to no-till and cover crops in the Mid-Atlantic. <https://projects.sare.org/wp-content/uploads/No-till-and-Cover-Crop-Implimentation-Third-Edition-online.pdf>
- Khaliliaqdam, N., Hasani, R., & Mir-Mahmoodi. (2018). Meta-analysis of some effective factors on wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Crops Production*, 20(1): 191-204. (In Persian).
- Knowler, D., & Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, 32: 25-48.
- Noble, J. H. (2006). Meta-analysis: Methods, strengths, weaknesses, and political uses. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 147(1): 7-20.
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., & Moorman, T. B. (2020-a). Tillage intensity effects on soil structure indicators—A US meta-analysis. *Sustainability*, 12(5): 2071.
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., Veum, K. S., Moorman, T. B., & Cambardella, C. A. (2020-b). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, 369: 114335.
- Pittelkow, C. M., Linquist, B. A., Lundy, M. E., Liang, X., Van Groenigen, K. J., Lee, J., . . . Van Kessel, C. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field crops research*. 183: 156-168.
- Ried, K. (2000). Interpreting and understanding meta-analysis graphs: A practical guide. *Australian family physician*, 35(8).
- Scopel, E., Silva, F. A. M. D., Corbeels, M., Affholder, F., & Maraux, F. (2004). Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie*, 24: 383-395.
- Soltani, E., & Soltani, A. (2014). Necessity of using meta-analysis in field crops researches. *Journal of Crop Production*, 7(3): 203-216. (In Persian).

