

DOI: <https://dx.doi.org/10.2203/jam.2022.15716>

فرا تحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد سیب‌زمینی

احمد حیدری^{۱*}، رضا بهرام‌لو^۱ و محمدرضا بختیاری^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۱۸

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

و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

*مسئول مکاتبه heidari299@yahoo.com

چکیده

علیرغم تأثیر منفی شخم با گاواهن برگرداندار بر ساختمان خاک و حاصلخیزی آن، اکثر کشاورزان اعتقاد دارند که قبل از کاشت سیب‌زمینی می‌بایست زمین با گاواهن برگرداندار شخم زده شود. اما خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل پتانسیل حفاظت از منابع خاک و آب و نیز کاهش هزینه‌های تولید می‌تواند یک سیستم جایگزین برای روش خاک‌ورزی رایج در محصول سیب‌زمینی باشد. بررسی‌های متعددی از تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی در زراعت سیب‌زمینی وجود دارد که به‌طور عمده اثر این روش‌های خاک‌ورزی را بر عوامل مختلف مانند خواص فیزیکی خاک، هزینه‌ها، عملکرد و ... بررسی کرده‌اند. اکثر مطالعات انجام یافته فقط یک محدوده کوچک (آزمایشات مزرعه‌ای در یک منطقه) را پوشش می‌دهند. به‌منظور کسب چشم‌انداز بهتری از تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد سیب‌زمینی، بررسی‌های موجود به‌صورت نظام‌مند مرور شده و یافته‌های آن‌ها با روش فراتحلیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقالات منتشر شده در مجلات علمی، گزارش‌های نهایی پروژه‌های پژوهشی و مقالات مرتبط ارائه شده در کنفرانس‌ها و نیز پایان‌نامه‌های دانشجویی در فاصله زمانی ۱۳۴۴ تا ۱۴۰۰ با استفاده از کلیدواژه‌های استاندارد مرور شد. در نهایت پس از کنترل کیفی، ۲۵ مطالعه (۵ مطالعه داخلی و ۲۰ مطالعه خارجی) برای مقایسه روش کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج با استفاده از مدل تصادفی وارد فرایند فراتحلیل شدند. بر اساس نتایج، مقدار اندازه اثر ($SMD = 0/07$)، بدست آمد که حاکی از اثر مثبت جزئی روش کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد سیب‌زمینی بود و در مقایسه با خاک‌ورزی رایج در کل باعث افزایش ۰/۱۳ درصدی عملکرد شده است. پیشنهاد می‌شود روش کم‌خاک‌ورزی (شخم با گاواهن قلمی در فصل بهار قبل از کاشت سیب‌زمینی + دیسک) جایگزین روش رایج خاک‌ورزی (شخم با گاواهن برگرداندار + دیسک + ماله) شود.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، سیب‌زمینی، کم‌خاک‌ورزی، مرور نظام‌مند

Meta-analysis of the Effect of Conservation Tillage on Potato Yield

Ahmad Heidari^{1*}, Reza Bahramloo¹, Mohammad Reza Bakhtiyari¹

Received: 9 Aug 2022

Accepted: 12 Dec 2022

Department of Agricultural Engineering Research, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamadan, Iran

*Corresponding author Email: heidari299@yahoo.com

Abstract

Most farmers perceive that moldboard ploughing prior to potato planting is necessary, despite its negative impacts on inherent soil fertility and soil structure. Conservation tillage may be an alternative system for potato production due to its potential to reduce production costs and soil conservation. Many studies have investigated the effect of different tillage methods on various factors such as soil physical properties, costs and yield in potato cultivation. Most of the studies only cover a small range of field experiments, in a region. In order to gain a better perspective on the impact of tillage methods on potato yield, available studies were systematically reviewed and their findings were analyzed by meta-analysis (1966-2021). All articles published in journals, final reports of research projects and related articles presented at congresses, as well as student dissertations were reviewed using standard keywords. Finally, after quality control, 25 studies (5 national studies and 20 international studies) were entered into the meta-analysis process to compare the method of minimum tillage with conventional tillage using a random model. The results showed that the minimum tillage method (chisel ploughing conducted in the spring immediately before potato planting) compared to conventional tillage (moldboard ploughing) caused a slight increase in potato yield (+ 0.13%). It is suggested that the reduced tillage method (plowing with a chisel plow in the spring before planting + disc) replaces the conventional tillage method (moldboard plow + disc + leveler).

Keywords: Chisel plow, Meta-analysis, Minimum tillage, Potato

How to cite:

Heidari A, Bahramloo R, Bakhtiyari MR. 2022. Meta-analysis of the Effect of Conservation Tillage on Potato Yield. *Journal of Agricultural Mechanization* 7 (2): 19-30.

۱- مقدمه

کشاورزی حفاظتی به عنوان روشی برای تولید محصولات کشاورزی تعریف می‌شود که به دلیل سود قابل قبول همراه با سطوح تولید بالا و پایدار همزمان با حفظ محیط زیست (فائو، ۲۰۰۸) در سطح جهانی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. به طوری که در سال ۱۹-۲۰۱۸ سطوح زیر کشت به روش حفاظتی در جهان به ۲۰۵/۴ میلیون هکتار یعنی معادل ۱۴/۷ درصد کل سطوح زراعی جهان بالغ گردید (Kassam et al., 2022). کشاورزی حفاظتی نه تنها باعث کاهش تخریب ساختمان خاک می‌شود بلکه به تولید پایدار محصولات کشاورزی به خصوص در خاک‌هایی با ساختمان ضعیف و شکننده که با خطر کاهش کیفیت مواجه هستند کمک می‌کند (Hobbs et al., 2008). یکی از مولفه‌های اصلی کشاورزی حفاظتی، خاک‌ورزی حفاظتی (استفاده از هر روش خاک‌ورزی با حداقل به هم خوردگی در خاک به همراه پوشش حداقل ۳۰ درصدی سطح خاک با بقایای گیاهی) است. خاک‌ورزی حفاظتی بدواً به عنوان روشی برای حفاظت خاک از فرسایش و تراکم مطرح می‌شود. ولی حفظ رطوبت خاک و کاهش هزینه‌های تولید از دیگر مزایای استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی است (Holland, 2004). دو مولفه اساسی دیگر کشاورزی حفاظتی شامل مدیریت بقایای گیاهی و رعایت تناوب زراعی می‌باشد.

فرسایش خاک در ایران یک مشکل زیست محیطی بزرگ است. میانگین سالیانه فرسایش خاک در جهان ۲/۲ تن در هکتار است در حالی که مقدار فرسایش سالیانه کشور، ۸۹۵ میلیون تن (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) برآورد شده است (Arabkhedri et al., 2018). فرسایش خاک بر کیفیت خاک و عملکرد محصول تأثیرگذار است. در سیستم‌های کشاورزی رایج (که عموماً در ایران استفاده می‌شود)، اثرات فرسایش خاک بر عملکرد محصول با کاهش مقدار آبی که می‌تواند در خاک ذخیره شود و برای گیاه قابل استفاده باشد رابطه مستقیم دارد (Bakker, 2004). کاهش شدت خاک‌ورزی در سیستم‌های کشاورزی حفاظتی می‌تواند بر عملکرد محصول تأثیر بگذارد که مقدار این تأثیر با اقلیم، تناوب گیاهی و نوع خاک متغیر است (Soane et al., 2012). این واقعیت که کشاورزان ایرانی هنوز متوجه عواقب تخریب خاک و کاهش منابع آبی نشده‌اند می‌تواند یکی از دلایل عدم موفقیت کشاورزی حفاظتی در ایران باشد.

اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی کلی اثر پیاده سازی خاک‌ورزی حفاظتی را نمی‌توان از یک مطالعه واحد استخراج کرد بلکه به فراتحلیل نیاز است (Van den putte et al., 2010) فراتحلیل، داده‌های بدست‌آمده از پژوهش‌های مختلف را یکجا گرد هم می‌آورد و آن‌ها را به عنوان یک مجموعه داده تحلیل می‌کند. با جمع‌بندی و تحلیل حجم زیادی از داده‌ها، امکان اعتماد به نتایج به طور قابل توجهی بیشتر می‌شود. به این ترتیب می‌توان گفت که یافته‌های فراتحلیل

اساسی‌تر از یافته‌های مطالعات پژوهشی منفرد هستند.

(Van den putte et al., 2010) اثر خاک‌ورزی حفاظتی را بر عملکرد محصولات مختلف در اروپا با روش فراتحلیل بررسی کردند. نتایج نشان داد که به طور کلی عملکرد محصول در روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی رایج بود. به طور متوسط روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی عملکرد را در حدود ۴/۵ درصد کاهش دادند. ولی مقدار کاهش برای محصولات مختلف متفاوت بود: ۱۷ درصد (ذرت دانه‌ای) و صفر درصد (سیب زمینی و غلات بهاره). نوع خاک-ورزی اعمال شده بر مقدار کاهش عملکرد تأثیر می‌گذارد. کاهش عملکرد در روش بی‌خاک‌ورزی قابل ملاحظه بود. وقتی روش کم‌خاک-ورزی استفاده شد اختلاف معنی‌دار در عملکرد سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، چغندر قند و غلات بهاره مشاهده نشد. تنها در غلات زمستانه و ذرت دانه‌ای کاهش معنی‌دار عملکرد با روش کم‌خاک‌ورزی اتفاق افتاد. کاهش عملکرد در غلات زمستانه (۴ درصد) و در ذرت دانه‌ای (۱۳ درصد) قابل توجه بود.

(Cooper et al., 2016) با روش فراتحلیل نشان دادند که خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک^۱ در کشاورزی ارگانیک باعث پایداری عملکرد محصول (سبزی و صیفی، گندم، جو و چاودار) و افزایش ماده آلی خاک می‌شود. نتایج بدست آمده نشان داد: ۱- روش‌های کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک) در کشاورزی ارگانیک عملکرد محصول را نسبت به خاک‌ورزی برگردان عمیق (بیشتر از ۲۵ سانتی‌متر)، ۷/۶ درصد کاهش داد. اما از نظر آماری، اختلاف معنی‌داری با خاک‌ورزی برگردان سطحی خاک (کمتر از ۲۵ سانتی‌متر) نداشت. ۲- در بین کلاس‌های مختلف کم‌خاک‌ورزی، اختلافی در عملکرد محصول در خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک و خاک‌ورزی برگردان عمیق خاک مشاهده نشد. در حالی که بیشترین کاهش عملکرد محصول (۱۱/۶ درصد) با خاک‌ورزی عمیق بدون برگردان خاک حاصل شد. ۳- خاک‌ورزی سطحی برگردان خاک عملکرد را فقط ۵/۵ درصد کاهش داد در صورتی که باعث بهبود ذخایر کربن خاک و کنترل مناسب علف‌های هرز شد. این یافته نشان می‌دهد که این روش برای کشاورزان ارگانیک که خواهان بهبود کیفیت خاک با حداقل تأثیر بر عملکرد هستند مناسب است. ۴- علف‌های هرز در روش‌های کم‌خاک‌ورزی ۵۰ درصد بیشتر بود که این موضوع همیشه عامل کاهش عملکرد نبود.

(Li et al., 2018) با روش فراتحلیل اثر مالچ پلاستیکی و کاه کلش را بر عملکرد سیب‌زمینی و کارآیی مصرف آب در چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که مالچ پلاستیکی و کاه کلش عملکرد سیب-زمینی را به ترتیب ۲۴/۳ درصد و ۱۶ و کارآیی مصرف آب را به ترتیب ۲۸/۷ درصد و ۵/۶ درصد افزایش دادند. فراتحلیل امکان تجزیه و تحلیل کمی نتایج آزمایش‌های گزارش شده توسط دیگر نویسندگان را فراهم می‌کند (Ried, 2002; Borenstein et al., 2009).

¹Shallow non-inversion tillage

۲-۲- فرایند غربال‌گری و انتخاب

ارزیابی دقیق هر مطالعه برای تصمیم‌گیری در مورد این که آن مطالعه کیفیت لازم و اطلاعات مفید برای فراتحلیل را دارد یا خیر، مهم است. این قسمت اهمیت زیادی در فراتحلیل دارد. هر مطالعه باید حداقل شرایط 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 فرم یا چک لیستی تهیه و اطلاعاتی شامل: نام نویسنده و سال انتشار، روش خاک‌ورزی، محل اجرای آزمایش، بافت خاک، تناوب گیاهی، و مدت زمان آزمایش استخراج و ثبت شد (جدول ۱). این عوامل تاثیر بسزایی بر اندازه اثر^۳ دارند.

در مرحله ارزیابی مطالعات به بررسی عدم تجانس^۴ و دیگر اختلاط-های^۵ مهم پرداخته شد. در این مرحله، تمام موارد درباره روش‌های اعمال تیمارها ثبت شد و تصمیم گرفته شد که کدام مطالعه‌ها نسبتاً همگن^۶ هستند و می‌توان در تجزیه و تحلیل آن‌ها را وارد کرد. در نهایت ۲۵ مطالعه برای مقایسه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج انتخاب شده، وارد فرایند تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

۲-۳- 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^۷ (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 روابط (۱) و (۲) تغییر پیدا کردند:

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

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

۲-۴- تیمارهای فراتحلیل

در تجزیه و تحلیل، روش‌های خاک‌ورزی که تاثیرشان بر عملکرد سیب‌زمینی مشخص بود تفکیک شدند. در جدول ۲ شرح کوتاهی از روش‌های مختلف خاک‌ورزی مورد استفاده آورده شده است. خاک-ورزی رایج در مقایسه با کم‌خاک‌ورزی مقایسه شد. بنابراین، تیمار کنترل (شاهد)، خاک‌ورزی رایج انتخاب شد.

۲-۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه و تحلیل داده‌ها از پارامتر تفاضل میانگین استاندارد^۸ شده (SMD) (رابطه ۳) که از شاخص‌های مهم اندازه اثر است در

فرا تحلیل قدرت آماری موجود برای آزمایش فرضیه‌ها و تفاوت واکنش-های 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 غیر معنی‌دار باشد. داده‌های مطالعاتی که دارای اندازه‌های دقیق بیشتری هستند وزن بالاتری می‌گیرند بنابراین، آن‌ها تأثیر بیشتری بر برآورد کل دارند (Gates, 2002). به‌هرحال فراتحلیل دارای نقاط ضعف بالقوه‌ای مانند سوگرایی انتشار^۹ و سوگرایی‌های دیگری که در مراحل جستجو، انتخاب و ترکیب مطالعات اتفاق می‌افتد می‌باشد (Egger et al., 1997; Nobel, 2000). سوگرایی انتشار تمایل گروهی از محققین، داورها و سردبیران برای ارسال و پذیرش دست نوشته‌ها بر اساس یافته‌های تحقیق است (Dickersin, 1990). عواملی مانند محل جغرافیایی، تناوب گیاهی، بافت خاک و ... می‌توانند روی اندازه اثر تاثیر بگذارند به این دلیل در این پروژه مدل اثر تصادفی انتخاب شد (Ried, 2000).

سیب‌زمینی در ایران به‌دلیل اینکه یک محصول نسبتاً پر مصرف در بین اقشار مختلف است اهمیت دارد. در این تحقیق بر یکی از ستون‌های مدیریت پایدار که حفظ یا افزایش بهره‌وری بود (Dumanski & Smyth, 1994) تمرکز شد. 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 و کشورهای خارجی با شرایط محیطی مختلف، خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی) با خاک‌ورزی رایج در زراعت سیب‌زمینی با روش فراتحلیل مقایسه شد.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۲- جمع‌آوری اطلاعات (داده‌ها)

داده‌های عملکرد سیب‌زمینی از مطالعات طولانی مدت (در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۴۴) تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بدست آمد. مطالعات شامل مقالات علمی پژوهشی چاپ شده در مجلات معتبر، مقالات کنفرانسی، گزارشات پژوهشی، پایان‌نامه‌ها و ... بود، که با جستجوی آنلاین در پایگاه‌های داخلی معتبر مانند پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد کشاورزی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)، ایرانداک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و پایگاه‌های خارجی شامل: Scopus, Web of Science & Google Scholar بدست آمد. جستجو جامع و بر اساس کلمات کلیدی و ترکیب آن‌ها شامل: خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی، شخم، کشاورزی حفاظتی، کشت مستقیم و عملکرد سیب‌زمینی بود.

⁶ Homogeneous

⁷ Sample size

⁸ The standardized mean difference (SMD)

² Publication bias

³ Effect size

⁴ Heterogeneity

⁵ Confounder

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

$$W_i = \frac{1}{\text{var}_i} = \frac{1}{SD_i^2} \quad (۶)$$

حدود اطمینان نیز از رابطه (۷) بدست آمد.

$$95\% CI = WSMD \pm 1.96 \times \sqrt{\text{var}_{overall}} \quad (۷)$$

$$\text{var}_{overall} = \frac{1}{\sum w_i}$$

تست Q (کوکران) و تجزیه آماری I^2 (I-squared) برای تشخیص عدم همگنی مطالعات استفاده شد (Higgins *et al.*, 2019). عدم همگنی در چهار گروه طبقه‌بندی شد، ناهمگنی زیاد ($I^2 \geq 75\%$) ناهمگنی متوسط ($I^2 = 50\% - 74\%$)، ناهمگنی کم ($I^2 = 25\% - 49\%$)، نداشتن ناهمگنی ($I^2 < 25\%$) (Higgins *et al.*, 2019). به منظور انجام سوگیری انتشار از آزمون Begg & Mazumdar (1994) و Egger (1997) استفاده شد. از نرم افزار STATA 14.2 برای فراتحلیل داده‌ها استفاده گردید.

عملکرد بین تیمار کنترل و آزمایش استفاده شد (Cohen, 1988).

$$SMD = \frac{M_1 - M_2}{SD_{pooled}} \quad (۳)$$

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

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2}} \quad (۴)$$

که در این آن، SD_1 و SD_2 به ترتیب انحراف معیار گروه آزمایش و کنترل هستند. 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 رابطه ۵ محاسبه شد.

$$WSMD_{overall} = \frac{\sum w_i \times SMD}{\sum w_i} \quad (۵)$$

جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Table 1. The studies used in meta-analysis

مدت زمان (سال) Duration year)	تناوب زراعی Crop rotation	بافت خاک Soil texture	محل آزمایش Experiment site	روش خاک‌ورزی Tillage method	نویسندگان، سال انتشار Authors, publication year
2	گندم- آیش- سیب‌زمینی Wheat-fallow-potato	نامشخص Unknown	ایران- شاهرود Iran (Sharoud)	۱- گاواهن برگرداندار+دیسک Moldboard plow+ disc ۲- گاواهن بشقابی+ دیسک Disc plow+ disc ۳- گاواهن قلمی در پاییز+ دیسک در بهار Chisel plow (autumn)+ disc (spring) ۴- قلمی در بهار+ دیسک Chisel plow(spring)+ disc	امید مهر و همکاران، ۱۳۹۵ Omidmehr <i>et al.</i> , 2016
1	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم رسی Clay loam	همدان- ایران Hamadan-Iran	۱- گاواهن برگرداندار+ روتیواتور Moldboard plow+ rotivator ۲- روتیواتور Rotivator ۳- گاواهن قلمی+ روتیواتور Chisel plow+ rotivator ۴- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow+disc	غلامی و برازنده، ۱۳۹۷ Gholami & Barazandeh, 2018
1	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم رسی Clay loam	شهرکرد- ایران Shahrkord - Iran	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی+ دیسک Chisel plow + disc ۳- گاواهن برگرداندار+ کولتیواتور oldboard plow + cultivator ۴- زیرشکن+ دیسک سنگین Subsoiler + heavy disc	غلامی و همکاران، ۱۳۹۶ Gholami <i>et al.</i> , 2017

ادامه جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Table 1. The studies used in meta-analysis

مدت زمان (سال) Duration year)	تناوب زراعی Crop rotation	بافت خاک Soil texture	محل آزمایش Experiment site	روش خاک‌ورزی Tillage method	نویسندگان، سال انتشار Authors, publication year
2	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم سیلتی Silty loam	همدان- ایران Hamadan-Iran	۱- ساقه‌خردکن + گاواهن برگرداندار+ دیسک Sheredder + molboard plow + disc ۲- ساقه‌خردکن+ گاواهن قلمی+ روتیواتور Sheredder + Chisel plow + rotivator ۳- سوزاندن بقایا+ گاواهن برگرداندار+ دیسک Residue burring + moldboard plow+ disc ۴- حفظ بقایا+ گاواهن قلمی (بهار) Residue remaining + chisel plow (spring)	حیدری و حیدری، ۱۳۸۷ Heidari & Heidari, 2008
1	نامشخص Unknown	نامشخص Unknown	اصفهان- ایران Esfahan - Iran	۱- گاواهن برگرداندار Molboard plow ۲- گاواهن قلمی Chisel plow ۳- دیسک Disc ۴- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Ghazavi & Hossein Zadeh, 2010
3	جو- سیب‌زمینی Barely-potato	نامشخص Unknown	لهستان Poland	۱- گاواهن برگرداندار Molboard plow ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Boliglowa & Glen, 2003
۶	جو- سیب‌زمینی Barely-potato	لوم شنی Sandy loam	کانادا Canada	۱- گاواهن برگرداندار در پاییز Molboard plow ۲- گاواهن قلمی در بهار + دیسک Chisel plow (spring)+ disc	Carter & Sanderson, 2001
1	نامشخص Unknown	لوم شنی Sandy loam	ترکیه Turkey	۱- گاواهن قلمی (پاییز) + دیسک (بهار) Chisel plow (autumn) + disc (Spring) ۲- گاواهن برگرداندار (پاییز) + دیسک (بهار) Moldboard plow (autumn) + disc (Spring) ۳- گاواهن قلمی (بهار) + دیسک (بهار) Chisel plow (spring) + disc (Spring) ۴- گاواهن برگرداندار (بهار) + دیسک (بهار) Moldboard plow (spring) + disc (Spring) ۵- روتوتیلر (بهار) Rototiller (spring)	Ozgoz et al., 2017
3	نامشخص Unknown	نامشخص Unknown	کانادا Canada	۱- گاواهن برگرداندار + دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc ۳- کشت مستقیم (بی خاک‌ورزی) No-till	Grant & Epstein, 1973
1	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم Loam	Germany	۱- گاواهن برگرداندار + دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Meyer-Aurich et al., 2009
1	آیش- سیب‌زمینی Fallow-potato	شنی Sandy	عربستان سعودی Saudi Arabia	۱- گاواهن برگرداندار + دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc ۳- هرس بشقابی disc	Al Hamed et al., 2016
4	ذرت - سیب‌زمینی Maize-potato	شنی Sandy	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار + دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Collins et al., 2010
9	ذرت - سیب‌زمینی Maize-potato	شنی Sandy	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار + دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Collins et al., 2005

ادامه جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل
Table 1. The studies used in meta-analysis

مدت زمان (سال) Duration year)	تناوب زراعی Crop rotation	بافت خاک Soil texture	محل آزمایش Experiment site	روش خاک‌ورزی Tillage method	نویسندگان، سال انتشار Authors, publication year
8	جو- سیب‌زمینی Barely-potato	لوم شنی Sandy loam	کانادا Canada	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Carter <i>et al.</i> , 2009
8	جو- شبدر- سیب‌زمینی Barley-clover- potato	لوم شنی Sandy loam	کانادا Canada	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Carter <i>et al.</i> , 2009
2	چودوسر- سیب‌زمینی Oat-potato	لوم Loam	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Liebman <i>et al.</i> , 1996
2	شبدر برسیم- سیب‌زمینی	لوم Loam	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Liebman <i>et al.</i> , 1996
4	گندم بهاره- سیب‌زمینی-سویا- چغندر قند Spring wheat- potato-soybean- sugar beet	لوم رسی	ژاپن Japan	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Koga & Tsuji, 2009
2	جو- سیب‌زمینی Barely-potato	لوم شنی Sandy loam	کانادا Canada	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Ivany <i>et al.</i> , 2007
4	نامشخص Unknown	نامشخص Unknown	رومانی Romania	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + روتیواتور Chisel plow + rotivator	Rusu <i>et al.</i> , 2006
2	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم سیلتی Silty loam	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc ۳- دیسک disc	Sojka <i>et al.</i> , 1993
3	جو بهاره- شبدر قرمز- سیب‌زمینی Spring barley-red clover-potato	لوم شنی Sandy loam	کانادا Canada	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Carter <i>et al.</i> , 1998
3	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لومی رسی سیلتی Silty clay loam	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار (پاییز) Moldboard plow (Autumn) ۲- گاواهن برگرداندار (بهار) Moldboard plow (spring) ۳- گاواهن قلمی (پاییز) Chisel plow (Autumn) ۴- گاواهن قلمی (بهار) Chisel plow (spring)	French & Blake, 1966
1	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم سیلتی Silty loam	آمریکا USA	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Buxton & Zalewski, 1983
3	گندم- سیب‌زمینی Wheat-potato	لوم Loam	نروژ Norway	۱- گاواهن برگرداندار+ دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Ekeberg & Riley, 1997

ادامه جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل
Table 1. The studies used in meta-analysis

مدت زمان (سال)	تناوب زراعی	بافت خاک	محل آزمایش	روش خاک‌ورزی	نویسندگان، سال انتشار
Duration year)	Crop rotation	Soil texture	Experiment site	Tillage method	Authors, publication year
2	نامشخص Unknown	رسی Clay	سوریه Syria	۱- گاواهن برگرداندار + دیسک Moldboard plow + disc ۲- گاواهن قلمی + دیسک Chisel plow + disc	Barakat <i>et al.</i> , 2020

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

Table 2. A brief description of the treatments used to evaluate the effect of conservation tillage on potato yield

توضیح مختصر brief explanation	روش خاک‌ورزی Tillage method
شخم با گاواهن برگرداندار + دیسک + لولر + کاشت با سیب‌زمینی کار رایج Moldboard plow + disc + leveler + potato planter	خاک‌ورزی رایج Conventional tillage
شخم با گاواهن قلمی (بهار) + دیسک + کاشت با سیب‌زمینی کار رایج Chisel plow (spring) + disc + potato planter	کم خاک‌ورزی

در خاک ایجاد نماید در نتیجه بستر مناسبی برای رشد و توسعه ریشه و غده‌های سیب‌زمینی فراهم نموده است.

Van den putte *et al.* (2010) نشان دادند که روند کاهش افت عملکرد در روش‌های کم‌خاک‌ورزی را می‌توان با افزایش عمق خاک‌ورزی کاهش داد. عملکرد محصولات مختلف از جمله سیب‌زمینی (به غیر از ذرت دانه‌ای) در روش‌های کم‌خاک‌ورزی با افزایش عمق خاک‌ورزی ($\geq 15\text{cm}$) به‌طور متوسط کمی بیشتر از خاک‌ورزی رایج بود. خاک‌ورزی امکان کاشت همگن را فراهم می‌کند، شریطی که منجر به عمق کاشت یکنواخت‌تر، تماس بهتر بذر با خاک و زهکشی بهتر آب اضافی از خاک و غیره می‌شود که انتظار می‌رود ترکیبی از این عوامل اثر مثبت بر استقرار گیاه و عملکرد بگذارند (Van den putte *et al.*, 2010). این واقعیت که خاک‌ورزی حفاظتی عمیق بهتر از خاک‌ورزی حفاظتی سطحی عمل می‌کند نشان می‌دهد که گیاهان می‌توانند از فواید خلل و فرج کافی و هوادهی بهتر در عمق‌های بیشتر خاک بهره ببرند (Van den putte *et al.*, 2010). خاک‌ورزی حفاظتی عمیق در گیاهان غده‌ای مانند سیب‌زمینی و چغندر قند باعث می‌شود که ریشه و غده در منافذ (خلل و فرج) کافی فراهم شده بهتر رشد و توسعه پیدا کنند (Martin *et al.*, 2004). با توجه به مقدار I-squared کل (۴۴٪)، بین مطالعات یک ناهمگنی کم وجود دارد. همچنین در بین گروه‌های فرعی مطالعات انجام شده در ایران دارای ناهمگنی متوسط و مطالعات انجام شده در کشورهای خارجی دارای ناهمگنی کم هستند (Higgins *et al.*, 2019).

۲-۳- سوگرایی انتشار

مقدار سطح احتمال در روش بگ (Begg & Mazumdar, 1994) و اگر (Egger *et al.*, 1997) (برای تخمین سوگرایی انتشار) به ترتیب ۰/۹۸۲ و ۰/۳۸۸ بدست آمد (بیشتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در مطالعات مشاهده نشده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- اثر روش کم‌خاک‌ورزی (گاواهن قلمی) بر عملکرد سیب‌زمینی

نتایج تجزیه آماری پارامتر تفاضل میانگین استاندارد شده (اندازه اثر) اثر روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش مرسوم بر عملکرد سیب‌زمینی در ایران و خارج از ایران در شکل ۱ آورده شده است. 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. با توجه به مقدار اندازه اثر کل ($SMD = +0/07$)، می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع روش کم‌خاک‌ورزی (شخم با گاواهن قلمی در فصل بهار) اثر مثبت جزئی بر عملکرد سیب‌زمینی داشته است و در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم در کل باعث افزایش ۰/۱۳ درصدی عملکرد شده است (میانگین عملکرد کل در خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب برابر ۳۸۹۵۴ و ۳۹۰۶۵ 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 ۱۵۰۷/۸ و ۱۵۰۹/۷ بدست آمد). در ایران استفاده از روش کم‌خاک‌ورزی عملکرد سیب‌زمینی را (۵/۹۷+ درصد) افزایش داد ($SMD = +0/59$)، در حالی که در کشورهای خارجی روش کم‌خاک‌ورزی به‌طور خیلی جزئی (۰/۴۳- درصد) عملکرد سیب‌زمینی را کاهش داد ($SMD = -0/01$). در کل، اختلاف معنی‌داری در عملکرد بین دو روش خاک‌ورزی مشاهده نشد (شکل ۱).

Van den putte *et al.* (2010) نیز با روش فراتحلیل گزارش

کردند که کم‌خاک‌ورزی در سیب‌زمینی باعث کاهش عملکرد نمی‌شود. با توجه به ساختار گاواهن قلمی و زمان انجام شخم در فصل بهار (با توجه به رطوبت مناسب خاک بعد از بارندگی‌های بهاره)، گاواهن قلمی توانسته است گسیختگی مناسبی (با توجه به عمق نفوذ بیشتر تیغه‌ها)

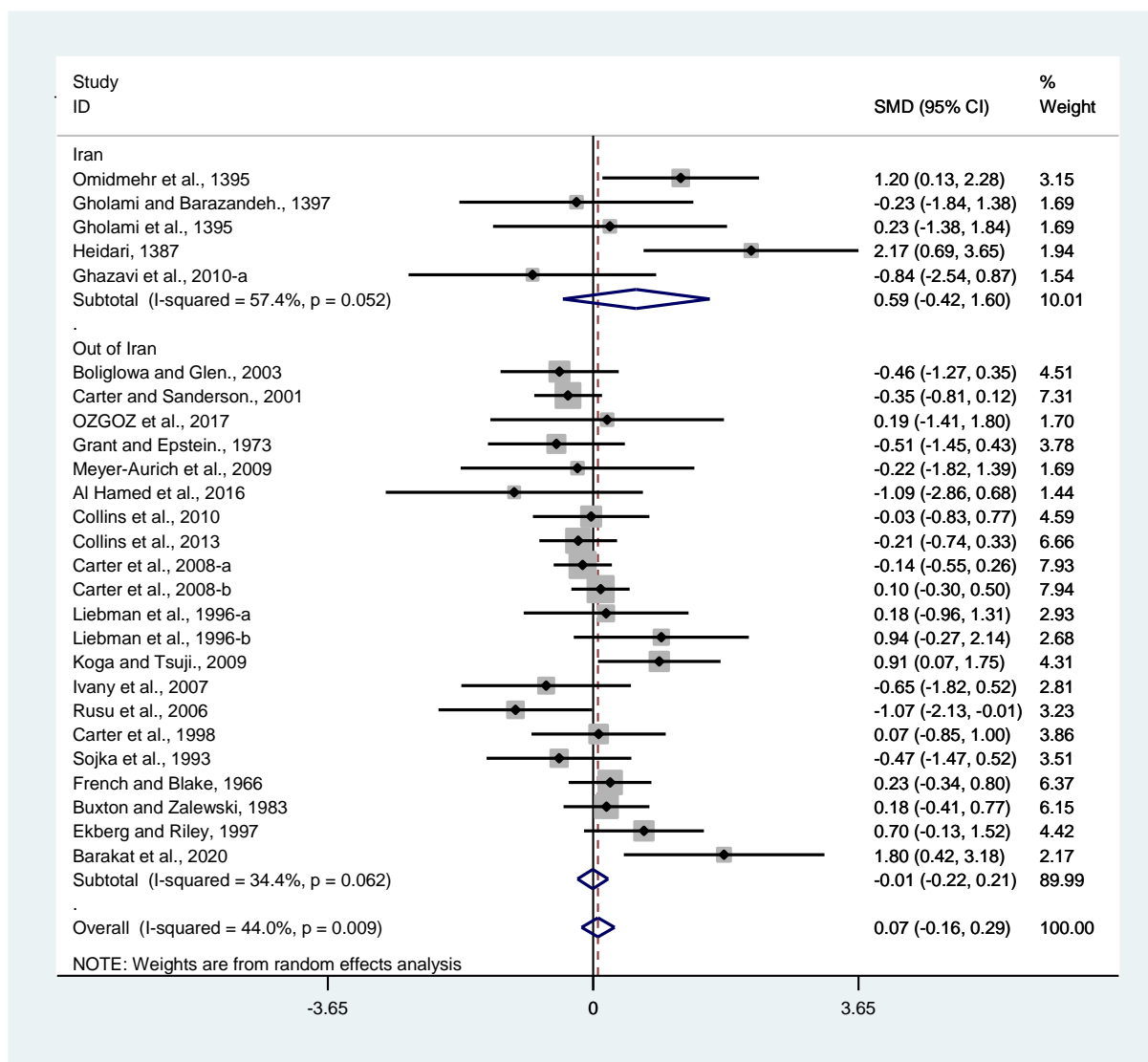
می‌گیرند عملکردشان کم نمی‌شود ولیکن برعکس در تناوب غلات-
غلات، عملکرد کم می‌شود (Van den putte *et al.*, 2010).

۳-۴- اثر روش کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد سیب‌زمینی در بافت‌های مختلف خاک

عملکرد سیب‌زمینی در دو روش خاک‌ورزی در یک بافت مشخص خاک اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود تحقیقات در طیف وسیعی از بافت خاک (سبک تا نسبتاً سنگین) انجام شده است. بنابراین گاواهن قلمی را می‌توان در بافت‌های مختلف جایگزین گاواهن برگرداندار کرد.

۳-۳- اثر روش کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد سیب‌زمینی در تناوب‌های مختلف زراعی

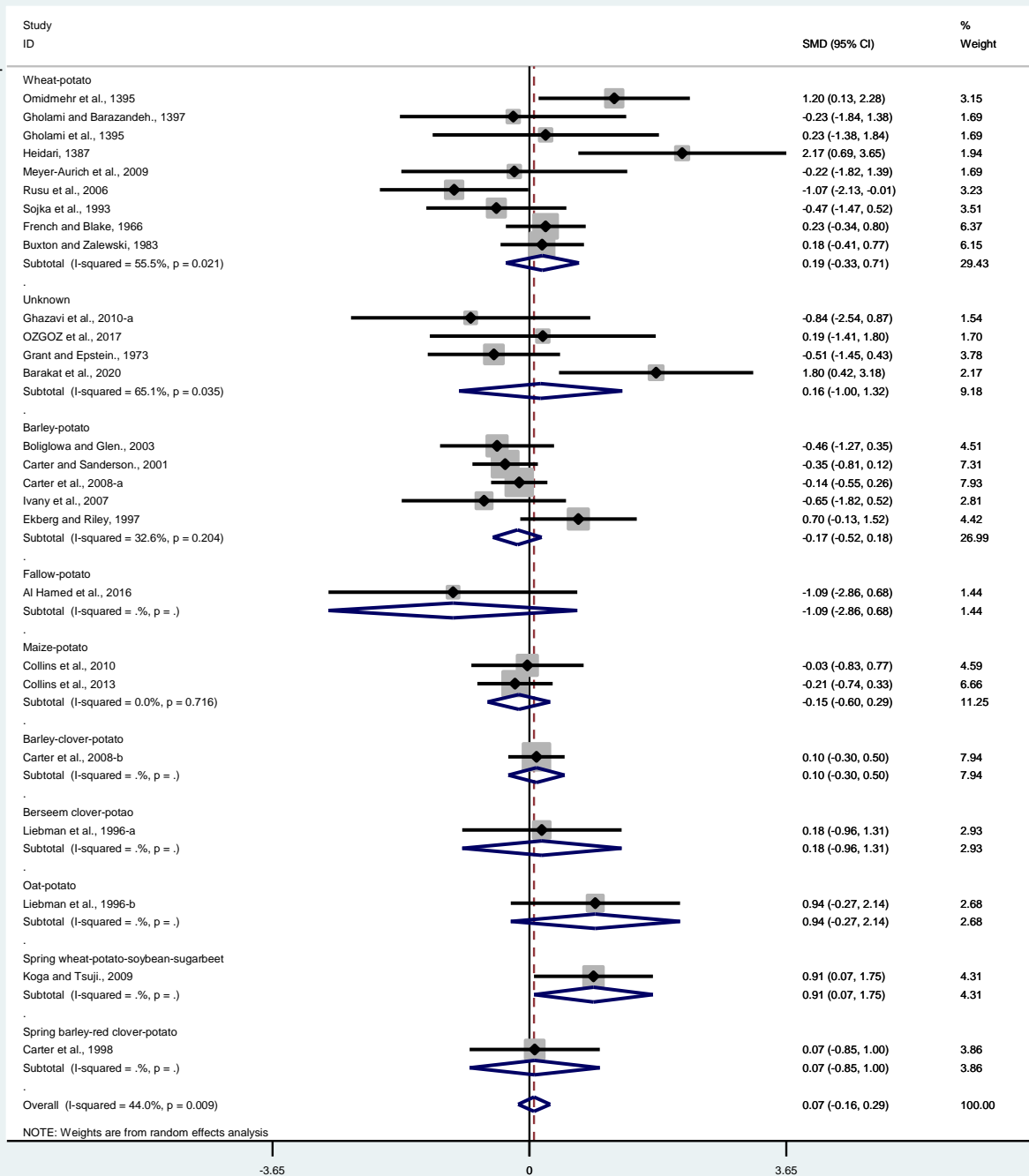
اثر دو روش خاک‌ورزی در تناوب‌های مختلف زراعی بر عملکرد سیب‌زمینی معنی‌دار نبود (شکل ۲)، اما مقایسه دو تناوب گیاهی پر تکرار (گندم - سیب‌زمینی و جو - گندم) نشان داد که در تناوب گیاهی گندم - سیب‌زمینی روش کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج برتری کمی داشت ($SMD = +0/19$). در حالی که در تناوب جو - گندم عملکرد سیب‌زمینی در کم‌خاک‌ورزی کمی کمتر از خاک‌ورزی رایج بود ($SMD = -0/17$). در ایران سیب‌زمینی عمدتاً در تناوب با گندم کشت می‌شود. مطالعات نشان داد که در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، غلاتی که در تناوب با محصولات غده‌ای قرار



شکل ۱- نمودار انباشت^{۱۰} اثر روش کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد سیب‌زمینی
(SMD (اندازه اثر)، % weight (درصد وزن)، study ID (مشخصات مطالعه)، Iran (ایران)، out of Iran (خارج از ایران)، subtotal (زیر گروه)، overall (کل))

Fig 1. Forest plot of the effect of minimum tillage on potato yield

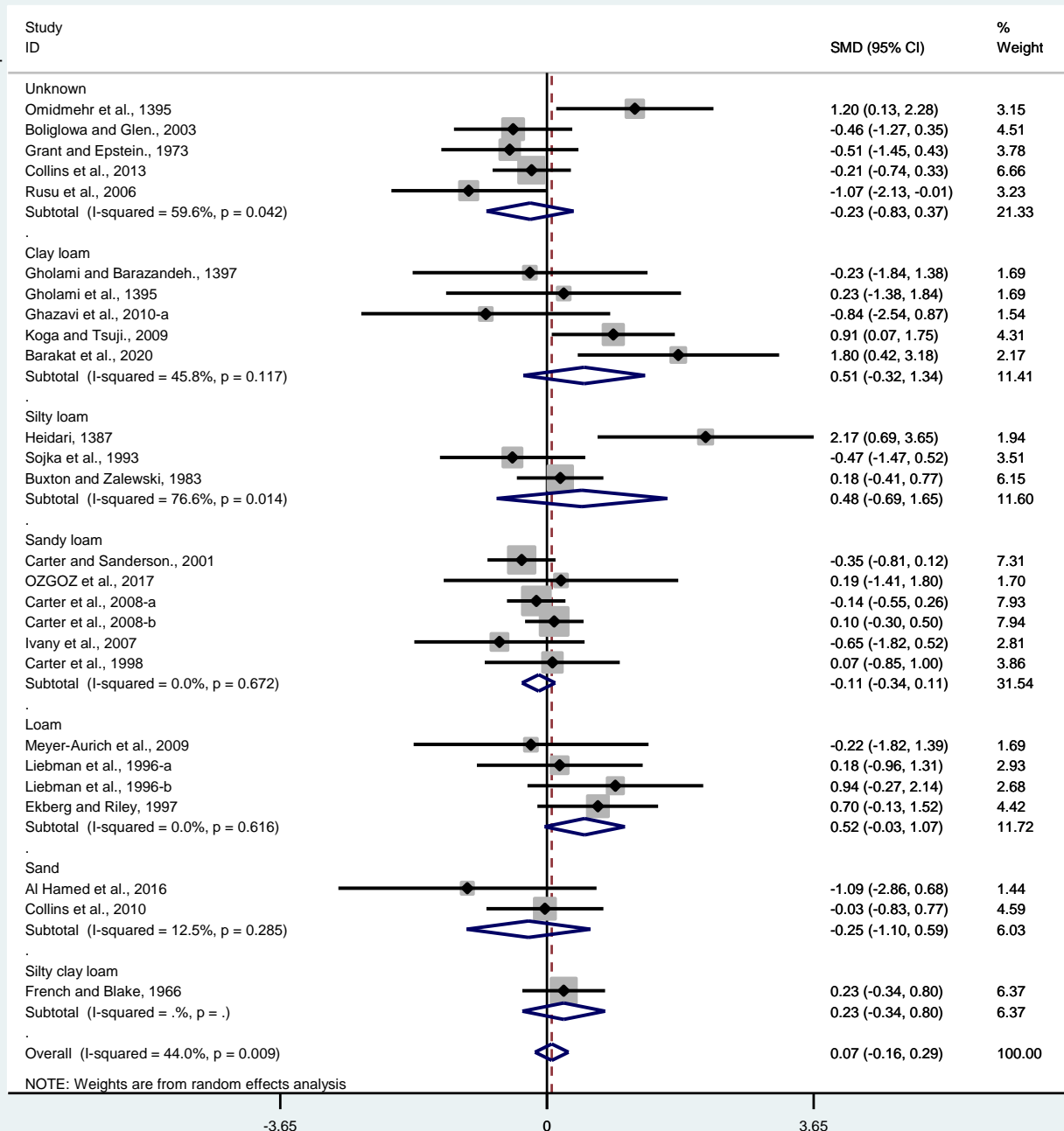
¹⁰ Forest plot



شکل ۲- نمودار انباشت اثر تناوب گیاهی بر عملکرد سیب زمینی

wheat-potato (تناوب گندم-سیب زمینی)، unknown (نامشخص، اطلاعات موجود نبود)، barley-potato (تناوب جو-گندم)، fallow-potato (تناوب آیش-سیب زمینی)،
 maize-potato (تناوب ذرت-سیب زمینی)، barley-clover-potato (تناوب جو-شیدر-سیب زمینی)، Berseem-potato (تناوب شیدر برسيم-سیب زمینی)،
 oat-potato (جودوسر-سیب زمینی)، spring wheat-potato-soybean-sugar beet (تناوب گندم بهاره-سیب زمینی-سویا-چغندر قند)، spring barley-red clover-potato
 (جو بهاره-شیدر قرمز-سیب زمینی)

Fig 2. Forest plot of the effect of crop rotation on potato yield



شکل ۳- نمودار انباشت اثر روش بافت خاک بر عملکرد سیب‌زمینی

(clay loam (لومی رسی)، silty loam (لومی سیلتی)، sandy loam (لومی شنی)، loam (لومی)، sand (شنی)، silty clay loam (لومی رسی سیلتی))

Fig 3. Forest plot of the effect of soil texture on potato yield

۴- نتیجه‌گیری نهایی

شخم با گاوآهن قلمی در بهار در مقایسه با گاوآهن برگرداندار باعث افزایش جزیی عملکرد سیب‌زمینی به میزان ۰/۱۳ درصد شد. اختلاف معنی‌داری بین دو روش خاک‌ورزی در یک تناوب زراعی و یا یک بافت خاک مشخص مشاهده نشد. با توجه به این‌که عملکرد سیب‌زمینی در روش کم‌خاک‌ورزی نسبتاً معادل روش خاک‌ورزی رایج بود و از طرفی

به مزایای روش‌های کم‌خاک‌ورزی در بهبود ساختمان خاک، کاهش مصرف سوخت، کاهش زمان انجام عملیات تهیه زمین، افزایش ظرفیت مزرعه‌ای موثر و افزایش بهره‌وری مصرف آب، پیشنهاد می‌شود روش کم‌خاک‌ورزی (شخم با گاوآهن قلمی در بهار + دیسک) جایگزین روش رایج خاک‌ورزی (گاوآهن برگرداندار + دیسک + ماله) شوند. با توجه به تحقیقات محدود در ایران، انجام تحقیقات تکمیلی پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Abeyasekera, S., Ritchie, J. M., and Lawson-McDowall, J. (2002). *Combining ranks and scores to determine farmers' preferences for bean varieties in southern Malawi*. *Experimental Agriculture*. 38: 97–109.
- Al-Hamed, S. A., Wahby, M. F., and Sayedahmed, A. A. (2016). Effect of three tillage implements on potato yield and water use efficiency. *American Journal of Experimental Agriculture*. 12(3): 1–6.
- Arabkhedri, M., Shadfar, S., Ardakani, A. J., Bayat, R., Khajavi, E., and Mahdian, M. H. (2018). Improving Water Erosion Estimates for Iran. *Watershed Management Research*. 31(120): 13–27.
- Bakker, M. M., Govers, G., and Rounsevell, M. D. A. (2004). *The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work*. *Catena*, 57: 55–76.
- Bakker, M. M., Govers, G., Jones, R.A., and Rounsevell, M. D. A. (2007). *The effect of soil erosion on Europe's crop yields*. *Ecosystems*. 10: 1209–1219.
- Barakat, M. A., Abd El-Mageed, T. A., Elsayed, I. N., and Semida, W. M. (2020). Effect of soil mulching on growth, productivity, and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under deficit irrigation. *Archives of Agriculture and Environmental Science*. 5(3):328–336.
- Begg, C. B., and Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*. 50:1088–1101.
- Boligłowa, E., and Gleń, K. (2003). Yielding and quality of potato tubers depending on the kind of organic fertilization and tillage method. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 6(1): 1–8.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., and Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-analysis*. Wiley, London.
- Buxton, D. R., and Zalewski, J. C. (1983). Tillage and Cultural Management of Irrigated Potatoes I. *Agronomy journal*. 75(2): 219–225.
- Carter, M. R., and Sanderson, J. B. (2001). Influence of conservation tillage and rotation length on potato productivity, tuber disease and soil quality parameters on a fine sandy loam in eastern Canada. *Soil and Tillage Research*. 63(1-2): 1–13.
- Carter, M. R., Sanderson, J. B., & Peters, R. D. (2009). Long-term conservation tillage in potato rotations in Atlantic Canada: Potato productivity, tuber quality and nutrient content. *Canadian Journal of Plant Science*. 89(2): 273–280.
- Carter, M. R., Sanderson, J. B., and MacLeod, J. A. (1998). Influence of time of tillage on soil physical attributes in potato rotations in Prince Edward Island. *Soil and Tillage Research*. 49(1-2): 127–137.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd Edition. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Collins, H. P., Alva, A. K., and Boydston, R. (2010). Reduced tillage in an irrigated potato rotation. *CSANR research report*. 1: 1–18.
- Collins, H. P., Boydston, R. A., Alva, A. K., Piece, F., and Hamm, P. (2005). Reduced tillage in three year potato rotation. In *Proceedings Washington State Potato conference*. 44: 13–44.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bärberi, P., Fließbach, A., . . . 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.
- Dickersin, K. (1990). *The existence of publication bias and risk factors for its occurrence*. *Jama*. 263(10): 1385–1389.
- Dumanski, J., and Smyth, A. J. (1994). *The issues and challenges of sustainable land management*. International Workshop on Sustainable Land Management for the 21st Century. Agricultural Institute of Canada, Ottawa. p 381.
- Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M., and Minder, C. (1997). *Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test*. *BMJ*. 315 (7109): 629–634.
- Ekeberg, E., and Riley, H. C. F. (1997). Tillage intensity effects on soil properties and crop yields in a long-term trial on morainic loam soil in southeast Norway. *Soil and Tillage Research*. 42(4): 277–293.
- French, G. W., and Blake, G. R. (1966). Primary tillage for potatoes. *American Potato Journal*, 43(10): 375–380.
- Gates, S. (2002). *Review of methodology of quantitative reviews using. Meta-analysis in ecology*. *Journal of Animal Ecology*. 71(4): 547–557.
- Ghazavi, M. A., Hosseinzadeh, B., and Lotfalian, A. (2010). Evaluating physical properties of potato by a combined tillage machine. *Nature and Science*. 8(11): 66–70.
- Gholami Parshoukhi, M., and Zaree Barazandeh, A. (2018). The effect of different tillage methods on the number and size of potato cv. Sante. *The first National Conference of Agricultural and Environmental Sciences of Iran. Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. (In Persian).
- Gholami Parshoukhi, M., Tabrizi Namini, S., Salimi Beni, M., & Ahmad beyki, A. (2016). Effect of several tillage methods on yield and yield components of potato cv. Sante. *Agroecology Journal*. 12(1): 1–8. (In Persian).
- Grant, W. J., and Epstein, E. (1973). Minimum tillage for potatoes. *American Potato Journal*, 50 (6): 193–203.
- Heidari, A., and Heidari, N. (2008). Effect of wheat residue management on potato yield. *The 5th National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering. Mashhad Ferdowsi University*. (In Persian).
- Higgins, J. P., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., and Welch, V. A. (Eds.). (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. John Wiley & Sons.
- Hobbs, P. R., Sayre, K. D., and Gupta, R. (2008). *The role of conservation agriculture in sustainable agriculture*. *Philos Trans R Soc Lond Ser B Biol Sci*. 363:543–555.
- Holland, J. (2004). *The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence*. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 103: 1–25.
- Ivany, J. A., Arsenault, W., & Holmstrom, D. (2007). Response of potatoes to reduced tillage and different nitrogen fertility levels. *Canadian Journal of Plant Science*. 87(4): 985–988.

- Kassam, A., Friedrich, T., and Derpsch, R. (2022). *Successful Experiences and Lessons from Conservation Agriculture Worldwide*. *Agronomy* 2022, 12: 769. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040769>.
- Koga, N., and Tsuji, H. (2009). Effects of reduced tillage, crop residue management and manure application practices on crop yields and soil carbon sequestration on an Andisol in northern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*. 55(4): 546–557.
- Li, Q., Li, H., Zhang, L., Zhang, S., and Chen, Y. (2018). *Mulching improves yield and water-use efficiency of potato cropping in China: a meta-analysis*. *Field crops research*. 221: 50–60.
- Liebman, M., Drummond, F. A., Corson, S., and Zhang, J. (1996). Tillage and rotation crop effects on weed dynamics in potato production systems. *Agronomy Journal*. 88(1): 18–26.
- Martin, M., Daouze, J.P., Derancourt, F., Poutrain, B., (2004). *No-till is suitable for potatoes*. *Perspectives Agricoles*, 300.
- Meyer-Aurich, A., Gandorfer, M., Gerl, G., and Kainz, M. (2009). Tillage and fertilizer effects on yield, profitability, and risk in a corn-wheat-potato-wheat rotation. *Agronomy journal*. 101(6): 1538–1547.
- Noble, J. H. (2006). *Meta-analysis: Methods, strengths, weaknesses, and political uses*. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*. 147(1): 7–20.
- Omidmehr, Z., Mohammadi, A., and Hedayatipoor, A. (2016). Conservation Tillage Effect as Residue Maintaining on Potato Yield. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 26(4): 91–101. (In Persian).
- Özgöz, E., Altuntaş, E., and Asiltürk, M. (2017). Effects of soil tillage on energy use in potato farming in Central Anatolia of Turkey. *Energy*. 141: 1517–1523.
- Ried, K. (2000). *Interpreting and understanding meta-analysis graphs: A practical guide*. *Australian family physician*. 35(8): 635–638.
- Rusu, T., Gus, P., and Bogdan, I. (2006). The influence of minimum soil tillage systems on weed density, frequency of phytopatogenous agents and crop yields of soybean, wheat, potato, rape and corn. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 4(1): 225.
- Soane, B. D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., and Roger-Estrade, J. (2012). *No-till in northern, western and south-western Europe: a review of problems and opportunities for crop production and the environment*. *Soil Tillage Res*. 118:66–87. doi:10.1016/j.still.2011. 10.015.
- Sojka, R. E., Westermann, D. T., Kincaid, D. C., McCann, I. R., Halderson, J. L., and Thornton, M. (1993). Zone-subsoiling effects on potato yield and grade. *American potato journal*. 70(6): 475–484.
- Soltani, E., and Soltani, A. (2014). *Necessity of using meta-analysis in field crops researches*. *Journal of Crop Production*. 7(3): 203–216. (In Persian).
- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., and 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.



This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)