تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۲۳/ شماره ۸۲/تابستان ۱۴۰۱/ص ۸۶-۷۱
سایت مجله: https://www.amsr.areeo.ac.ir

مقاله علمی– پژوهشی

فراتحلیل اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی

احمد حیدری*

استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۹/۲۱

چکیده

تراکم خاک عاملی منفی برای رشد گیاهان است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی) بر عملکرد سیب‌زمینی با استفاده از مطالعات و پژوهش‌های داخلی و خارجی و به کارگیری روش فراتحلیل است. بدین‌منظور مقاله‌ها، گزارش‌های پژوهشی و پایان‌نامه‌های دانشجویی در فاصلهٔ زمانی ۱۳٤٤ تا ۱٤۰۰ با استفاده از واژه‌های کلیدی مرتبط با زیرشکنی در محصول سیب‌زمینی مرور شد. پس از کنترل کیفی، ۲۳ مطالعه برای مقایسهٔ زیرشکنی (شامل زیرشکنی رایج، زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت و زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت) با خاک‌ورزی رایج بدون زیرشکنی با استفاده از مدل تصادفی وارد فرایند فراتحلیل شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، با توجه به اندازهٔ اثر کل (SMD=۰/۳۷)، می‌توان نتیجه گرفت که زیرشکنی اثر مثبت بر افزایش عملکرد سیب‌زمینی داشته و در کل باعث افزایش ۳/۹۲ درصد در عملکرد سیب‌زمینی شده است. زیرشکنی رایج، زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت و زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت عملکرد سیب‌زمینی را به ترتیب ۱/۲۳، ۵/۱۸ و ٤/۷۵ درصد نسبت به تیمار کنترل (بدون زیرشکنی) افزایش داده است. توصیه می‌شود در محصول سیب‌زمینی یا از زیرشکنی بین ردیفی (به عمق ٤۵-۳۵ سانتی‌متر) بعد از کاشت یا زیرشکنی ردیفی (به عمق ۵۰-٤۰ سانتی‌متر) قبل از کاشت استفاده شود. زیرشکنی رایج به دلیل تأثیر کم بر عملکرد سیب‌زمینی و نیز هزینه بالا توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی

خاک‌ورزی بین ردیفی، خاک‌ورزی عمیق، شخم عمیق، فشردگی خاک، مرور نظام‌مند

مقدمه

کشاورزی به دلیل تغییرات آب و هوایی با چالش‌های جدیدی روبه‌روست و به زودی کمبود عرضهٔ مواد غذایی اتفاق می‌افتد (Cooper *et al.*, 2011) و در نتیجه به منابع جدید غذایی و آب نیاز خواهد بود. در زمین‌های کشاورزی، لایهٔ زیرین خاک (لایهٔ زیر خاک شخم خورده) می‌تواند تقریبا ۵۰ درصد از نیتروژن کل و ۷۰-۲۵ درصد از فسفر کل را ذخیره کند (Kauz *et al.*, 2013) و همچنین می‌تواند آب را حتی در شرایط خشکی حفظ کند (Kirkegaard *et al.*, 2007). به‌هر حال دسترسی به این منابع در محصولات مختلف متفاوت است.

مقاومت زیاد خاک توسعهٔ ریشه و در نتیجه دسترسی گیاه به منابع خاک زیرین را محدود می‌کند (Bengough *et al.*, 2011). انسان نیز

*نگارنده مسئول: Email: heidari299@gmail.com
http:// 10.22092/AMSR.2022.360309.1428

می‌تواند باعث فشردگی خاک شود (Batey, 2009). توانایی توسعهٔ ریشه در خاک‌های با مقاومت زیاد در بین انواع گیاهان متفاوت است. گیاهان یک‌سالهٔ دو لپه‌ای که ریشه‌های ضخیم‌تر دارند نسبت به گیاهان یک‌سالهٔ تک لپه‌ای توانایی بیشتری در گسترش ریشه در خاک‌های با مقاومت زیاد دارند (Clark & Barraclough, 1999). به علاوه، گیاهان دو لپه‌ای می‌توانند شبکهٔ خلل و فرج زیستی خاک را بهبود بخشند و کانال‌هایی به سمت لایهٔ زیرین خاک برای محصولات بعدی ایجاد کنند (Kautz *et al.*, 2013). اما، امروزه غلات و دیگر گیاهان با ریشه‌های نازک و فیبری (مانند سیب‌زمینی) بر سیستم کشت سالیانه به‌طور وسیعی غالب شده‌اند.

برای تغییرات مکانیکی خاک، خاک‌ورزی عمیق معرفی شده است که باعث کاهش مقاومت زیاد خاک می‌شود و نفوذ عمیق‌تر ریشه را آسان می‌کند. بنابراین دسترسی گیاه به منابع زیرین خاک فراهم می‌شود. زیرشکنی، شخم عمیق و مخلوط کردن عمیق خاک از روش‌های خاک‌ورزی عمیق هستند. زیرشکنی بدون برگرداندن خاک، ساختمان خاک را سست می‌کند و چگالی ظاهری خاک را کاهش می‌دهد.

در دههٔ ۱۹۷۰ میلادی، محبوبیت خاک‌ورزی عمیق در بین جامعهٔ پژوهشی و نیز جامعهٔ کشاورزان کاهش یافت. این امر احتمالا به دلیل پاسخ ناسازگار عملکرد به خاک‌ورزی عمیق بود که نتوانست هزینه-های زیاد آن را جبران کند. نگرانی در مورد اثرهای منفی خاک‌ورزی بر موجودات زندهٔ خاک (Kladivko, 2001)، مقاومت عمومی را در خصوص استفاده از خاک‌ورزی، به خصوص در بین کشاورزانی که به تولید محصولات ارگانیک می‌پردازند، افزایش داد.

خاک‌ورزی عمیق می‌تواند بر عملکرد محصول در مکان‌های مختلف با شرایط محیطی متفاوت تأثیر متفاوتی بگذارد (Eck & Unger, 1985). در شرایطی که گیاه تحت تنش رطوبتی قرار می‌گیرد، خاک‌ورزی عمیق می‌تواند جذب رطوبت از لایه‌های زیرین خاک را آسان کند و باعث تثبیت عملکرد شود (Doty *et al.*, 1975). تغییر اقلیم باعث شده است تا خشک‌سالی‌ها در مناطق مختلف دنیا افزایش پیدا کند (Olesen *et al.*, 2011; Challinor *et al.*, 2014). خاک‌ورزی عمیق ممکن است ابزاری باشد که انعطاف‌پذیری گیاهان را به تغییرات آب و هوا بالا برد و کاهش عملکرد در اثر خشک‌سالی را کم کند. جدا از تغییرات اقلیمی، محدودیت دسترسی به کودها نیز تهدیدی قریب‌الوقوع برای تولید محصولات کشاورزی است (Cooper *et al.*, 2011). استفاده از مواد مغذی خاک، عملکرد محصول را در آزمایش‌های بدون استفاده از کود حفظ می‌کند (Garz *et al.*, 2000). خاک‌ورزی عمیق باید دسترسی گیاه به منابع خاک زیرین را افزایش بدهد. به هر حال بررسی جامع و قابل درکی از تأثیر خاک‌ورزی عمیق بر عملکرد محصول تا کنون ارائه نشده است (Olsson & Cockroft, 2006).

اشنایدر و همکاران (Schneider *et al.*, 2017) با روش فراتحلیل پاسخ محصولات مختلف به خاک‌ورزی عمیق را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که پاسخ عملکرد محصول به خاک‌ورزی عمیق اندکی مثبت (۶ درصد افزایش) است. این محققان می‌گویند اثر خاک‌ورزی عمیق بر محصولات مختلف متفاوت است. خاک‌ورزی عمیق

در خاک‌هایی که دارای لایهٔ محدودکنندهٔ توسعه ریشه هستند عملکرد را حدود ۲۰ درصد افزایش می‌دهد. خاک‌هایی که سیلت آن‌ها بیشتر از ۷۰ درصد است خاک‌ورزی عمیق دارای ریسک بالایی است. به طور کلی اثر خاک‌ورزی عمیق با شدت خاک‌ورزی افزایش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاک‌ورزی عمیق می‌تواند دسترسی گیاه به مواد غذایی لایه‌هایی پایین خاک را تسهیل کند که نتیجهٔ آن افزایش محصول است اگر مواد غذایی در لایه‌های بالایی خاک محدود باشد. خاک‌ورزی عمیق باید در خاک‌های با ساختمان پایدار و مقدار سیلت کمتر از ۷۰ درصد اجرا شود.

وان دن پوت و همکاران (Van den Putte *et al.*, 2010) اثر خاک‌ورزی حفاظتی را بر عملکرد محصولات مختلف در اروپا با روش فراتحلیل بررسی کردند و نشان دادند که به طور کلی عملکرد محصول در روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی کمتر از عملکرد محصول در روش خاک‌ورزی رایج است. آنها می‌افزایند به طور متوسط روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی عملکرد را در حدود ۴/۵ درصد کاهش می‌دهند. مقدار کاهش‌ها از ۱۷ درصد (در ذرت دانه‌ای) و صفر درصد (سیب زمینی و غلات بهاره) متغیر است. نوع خاک‌ورزی اعمال شده بر مقدار کاهش عملکرد تأثیر می‌گذارد. کاهش عملکرد در روش بی‌خاک‌ورزی قابل توجه است. وقتی روش کم‌خاک‌ورزی به کار گرفته شد اختلاف معنی‌دار در عملکرد سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، چغندرقند و غلات بهاره مشاهده نشد. تنها در غلات زمستانه و ذرت دانه‌ای کاهش معنی‌دار عملکرد با روش کم‌خاک‌ورزی اتفاق افتاده است. کاهش عملکرد در غلات زمستانه (۴ درصد) و در ذرت دانه‌ای قابل توجه (۱۳ درصد) بوده است.

کوپر و همکاران (Cooper *et al.*, 2016) با استفاده از روش فراتحلیل نشان دادند که خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک[1] در کشاورزی ارگانیک باعث پایداری عملکرد محصول و افزایش ذخایر کربن خاک می‌شود. بی‌شاپ و گریمز (Bishop & Grimes, 1978)، پیرس و بارپی (Pierce & Burpee, 1995)، ابراهیم و میلر (Ibrahim & Miller, 1989) ، میلر و مارتین (Miller & Martin, 1990) و راس (Ross, 1986) گزارش کردند که زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت، عملکرد سیب‌زمینی را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات حیدری و همکاران (Heidari *et al.*, 2014)، سوجکا و همکاران (Sojka *et al.*, 1993)، هنریکسن و همکاران (Henriksen *et al.*, 2007)، وسترمان و سوجکا (Westermann & Sojka, 1996) و اکولوف و همکاران (Ekelof *et al.*, 2015) حاکی از افزایش عملکرد سیب‌زمینی با زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت است.

سیب‌زمینی گیاهی است با سیستم ریشه‌ای پراکنده و سطحی که به فشردگی و خشکی خاک در تمام مراحل رشد (جوانه‌زنی تا برداشت) حساس است. سیب‌زمینی در ایران به دلیل اینکه محصولی نسبتاً پر مصرف در بین اقشار مختلف است، مهم تلقی می‌شود. عملکرد محصول مهم است زیرا رایج‌ترین و مفیدترین عاملی است که برای توجیه و توصیه هر روش تولید توسط کشاورزان پذیرفته می‌شود (Gameda *et al.*, 1997; Abeyasekera *et al.*, 2002). در این تحقیق، با استفاده از داده‌های مطالعات و تحقیقات پیشین در داخل و خارج با شرایط اقلیمی مختلف، زیرشکنی کردن با زیرشکنی نکردن در زراعت سیب‌زمینی مقایسه شده است.

1- Shallow Non-Inversion Tillage

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری اطلاعات (داده‌ها)

داده‌های عملکرد سیب‌زمینی از مطالعات و پژوهش‌های طولانی مدت تحت مدیریت‌های مختلف زیرشکنی در بازهٔ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۴۴ به دست آمد. پژوهش‌ها شامل مقالات علمی پژوهشی چاپ شده در مجلات معتبر، مقالات کنفرانسی، گزارش‌های پژوهشی، پایان‌نامه‌ها و ... بود، که با جستجوی برخط در پایگاه‌های داخلی و خارجی معتبر مانند پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد کشاورزی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)، ایرانداک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، Scopus، Web of Science، Google Scholar و ... به دست آمد. جستجو جامع و بر اساس واژه‌های کلیدی و ترکیب آن‌ها شامل خاک‌ورزی، شخم عمیق، خاک‌ورزی عمیق، زیرشکنی، خاک‌ورزی دقیق، خاک‌ورزی ردیفی، خاک‌ورزی بین ردیفی و سیب‌زمینی بود.

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 داشته باشد و ارزیابی دقیقی دربارهٔ کیفیت مطالعه مورد استفاده صورت گیرد (Soltani & Soltani, 2014). در مورد ارزیابی پژوهش‌ها، فرم استخراج داده‌ها تهیه شد 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 تأثیر بسزایی بر اندازه اثر[1] دارند.

در مرحلهٔ ارزیابی پژوهش‌ها به بررسی نداشتن همگنی[2] و دیگر اختلاط‌های[3] مهم پرداخته شد. در این مرحله، تمام موارد دربارهٔ روش‌های اعمال تیمارها ثبت و تصمیم گرفته شد که کدام پژوهش‌ها نسبتاً مشابه[4] هستند و می‌توان در تجزیه و تحلیل آن‌ها را وارد کرد (Soltani & Soltani, 2014; Gates, 2002). در نهایت از ۴۵ مطالعه، ۲۳ مطالعه (۲ مطالعهٔ داخلی و ۲۱ مطالعهٔ خارجی) برای مقایسهٔ زیرشکنی کردن با زیرشکنی نکردن انتخاب و وارد فرایند تجزیه و تحلیل آماری شدند.

جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Tabel 1- Studies used in meta-analysis

نویسندگان، سال انتشار Authors, publication year	روش خاک‌ورزی Tillage method	محل آزمایش Experiment site	بافت خاک Soil texture	تناوب زراعی Crop rotation	مدت زمان (سال) Duration (year)
حیدری و همکاران، ۱۳۸۳ Heidari *et al*., 2004	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکن (با تیغه ساده) به عمق ۴۰-۳۵ سانتی‌متر و فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین دو تیغه + خاک‌ورزی مرسوم Subsoiling (with simple blade) to depth of 35-40 cm and a distance of 50 cm between the two blades + conventional tillage	کبودرآهنگ (همدان) Kaboudarahang (Hamedan)	لوم رسی Clay loam	گندم-سیب-زمینی Wheat-potato	1
Buxton & Zalewski, 1983	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی به عمق ۴۰-۳۵ سانتی‌متر قبل از کاشت در بهار in row subsoiling before planting in spring to depth of 35-40 cm ۳- زیرشکنی ردیفی به عمق ۴۰-۳۵ سانتی‌متر در پاییز in row subsoiling in autumn to depth of 35-40 cm	آمریکا USA	لوم سیلتی Silty loam	گندم-سیب-زمینی Wheat-potato	1

1- Effect Size
2- Heterogeneity
3- Confounder
4- Homogeneous

ادامه جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Tabel 1- Studies used in meta-analysis

نویسندگان، سال انتشار Authors, publication year	روش خاک‌ورزی Tillage method	محل آزمایش Experiment site	بافت خاک Soil texture	تناوب زراعی Crop rotation	مدت زمان (سال) Duration (year)
حیدری و همکاران، ۱۳۹۳ Heidari *et al*., 2014	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم+ خاک‌ورزی بین ردیفی بعد از کاشت با گاوآهن قلمی Conventional tillage+ inter-row tillage with chisel plow ۳-خاک‌ورزی مرسوم+ خاک‌ورزی بین ردیفی بعد از کاشت با زیرشکن (با تیغه ساده) به عمق ۴۰-۳۵ سانتی‌متر و فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین دو تیغه Conventional tillage+ inter-row tillage with subsoiler (with simple blade) to depth of 35-40 cm and a distance of 75 cm between the two blades	کبودرآهنگ (همدان) Kaboudarahang (Hamedan)	لوم رسی سیلت‌دار Silty clay loam	گندم- سیب-زمینی Wheat-potato	2
Holmstrom & Carter, 2000	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق با زیرشکن به عمق۴۵-۴۰ سانتی‌متر Deep tillage with subsoiler to depth of 40-45 cm	کانادا Canada	لوم شنی Sandy loam	گندم-سیب-زمینی Wheat-potato	2
Hou & Li, 2018	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق با زیرشکن به عمق ۳۵-۳۰ سانتی‌متر و فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین تیغه‌ها Deep tillage with subsoiler to depth of 30-35 cm and a distance of 60 cm between the two blades	چین China	رسی Clay	ذرت- آیش-سیب‌زمینی Maize-fallow-potato	2
Bishop & Grimes, 1978	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت به عمق ۶۰ سانتی‌متر با فاصله ۸۱ سانتی‌متر بین دو تیغه in row subsoiling before planting to depth of 60 cm and a distance of 81 cm between the two blades	آمریکا USA	لوم شنی Sandy loam	نامشخص Unknown	3
Pierce & Burpee, 1995	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت به عمق ۳۶ سانتی‌متر با فاصله ۸۶ سانتی‌متر بین دو تیغه in row subsoiling before planting to depth of 36 cm and a distance of 86 cm between the two blades	آمریکا USA	لوم شنی Sandy loam	چاودار- سیب-زمینی Rye-potato	4
Ivany *et al.*, 2007	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت به عمق ۲۵-۲۰ سانتی‌متر in row subsoiling before planting to depth of 20-25 cm	کانادا Canada	لوم شنی Sandy loam	جو- سیب‌زمینی barley--potato	3
Ibrahim & Miller,1989	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت به عمق ۴۵ سانتی‌متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین دو تیغه in row subsoiling before planting to depth of 45 cm and a distance of 50cm between the two blades	آمریکا USA	لوم شنی Sandy loam	ذرت-سیب-زمینی Maize- potato	3
Miller & Martin, 1990	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت به عمق ۹۰ سانتی‌متر با فاصله ۶۰ سانتی‌متر بین دو تیغه in row subsoiling before planting to depth of 90 cm and a distance of 60cm between the two blades	آمریکا USA	شنی Sandy	نامشخص Unknown	2
Ross, 1986	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت به عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متر in row subsoiling before planting to depth of 40-50 cm	آمریکا USA	لوم سیلتی Silty loam	یونجه-سیب-زمینی Alfalfa-potato	1
Mcewen & Johnston, 1979	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق با زیرشکن به عمق ۴۶ سانتی‌متر Deep tillage with subsoiler to depth of 46 cm	انگلستان UK	لوم شنی Sandy loam	جو- سیب‌زمینی barley--potato	4

ادامه جدول ۱- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Tabel 1- Studies used in meta-analysis

نویسندگان، سال انتشار Authors, publication year	روش خاک‌ورزی Tillage method	محل آزمایش Experiment site	بافت خاک Soil texture	تناوب زراعی Crop rotation	مدت زمان (سال) Duration (year)
Sojka *et al.*,1993	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم + کاشت + زیرشکنی بین ردیفی به عمق ۴۶ سانتی‌متر Conventional tillage+planting+ inter- row subsoiling to dept 46 cm ۳-گاوآهن قلمی + بدون زیرشکن بین ردیفی Plowing with chisel plow ۴-گاوآهن قلمی + کاشت+ زیرشکنی بین ردیفی Plowing with chisel plow+planting+ inter- row subsoiling	آمریکا USA	لوم سیلتی Silty loam	گندم-سیب-زمینی Wheat-potato	2
Henriksen *et al.*, 2007	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم + کاشت + زیرشکنی (با تیغه باله‌دار) بین ردیفی به عمق ۴۰ سانتی‌متر Conventional tillage+planting+ inter- row subsoiling (wide winged subsoiler) to depth of 40 cm	دانمارک Denmark	شنی Sandy	چاودار-سیب-زمینی Rye-potato	3
Ekelof *et al.*, 2015	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم + کاشت + زیرشکنی(با تیغه باله‌دار) بین ردیفی به عمق ۵۵ سانتی‌متر Conventional tillage+planting+ inter- row subsoiling (wide winged subsoiler) to depth of 55 cm	سوئد Sweden	لوم شنی Sandy loam	گندم-سیب-زمینی Wheat-potato	2
Westermann & Sojka, 1996	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم + کاشت + زیرشکنی بین ردیفی به عمق ۴۵ سانتی‌متر Conventional tillage+planting+ inter- row subsoiling to depth of 45 cm	آمریکا USA	لوم سیلتی Silty loam	گندم- سیب-زمینی Wheat-potato لوبیا- سیب-زمینی Beans-potato	2
Guaman *et al.*, 2016	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم + کاشت + زیرشکنی (با تیغه بالدار) بین ردیفی به عمق ۴۵ سانتی‌متر Conventional tillage+planting+ inter- row subsoiling (wide winged subsoiler) to depth of 45 cm	سوئد Sweden	لوم شنی Sandy loam	جو-سیب‌زمینی barley--potato	2
Halderson *et al.*, 1993	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی مرسوم + کاشت + زیرشکنی بین ردیفی به عمق ۴۵ سانتی‌متر Conventional tillage+planting+inter- row subsoiling to depth 46 cm	آمریکا USA	لوم سیلتی Silty loam	نامشخص Unknown	3
Costa *et al.*, 2017	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق (زیرشکن) به عمق ۷۰ سانتی‌متر Deep tillage with subsoiler to depth of 70 cm	برزیل Brazil	نامشخص Unknown	ذرت-سیب-زمینی Maize- potato	2
Copas *et al.*, 2009	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق با زیرشکن به عمق ۴۶-۳۸ سانتی‌متر با فاصله ۹۱/۴ سانتی‌متر بین تیغه‌ها Deep tillage with subsoiler to depth of 38-46 cm and a distance of 91.4cm between the two blades	آمریکا USA	لوم شنی Sandy loam	ذرت-سیب-زمینی Maize- potato	3
Rowse & Stone, 1980	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق (زیرشکن) به عمق ۴۶ سانتی‌متر Deep tillage with subsoiler to depth of 46 cm	انگلستان UK	لوم رسی شنی Sandy clay loam	لوبیا-سیب-زمینی Beans-potato	1
Soane *et al.*, 1987	۱- خاک‌ورزی مرسوم Conventional tillage ۲- خاک‌ورزی عمیق (زیرشکن) به عمق ۴۵ سانتی‌متر Deep tillage with subsoiler subsoiler to depth of 45 cm	انگلستان UK	لوم سیلتی Silty loam	نامشخص Unknown	2

استخراج داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای فراتحلیل عبارت‌اند از میانگین تیمار ($\bar{X}$)، انحراف معیار استاندارد ($SD_{\bar{X}}$) و تعداد تکرار یا حجم نمونه[1] (n) در طرح آزمایشی. در تعدادی از پژوهش‌ها، 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:

$$SD_{\bar{X}} = SE_{\bar{X}} \times \sqrt{n} \quad (۱)$$

$$SD_{\bar{X}} = (\frac{CV\%}{100}) \times \bar{X} \quad (۲)$$

فراتحلیل امکان تجزیه و تحلیل کمی نتایج آزمایش‌های گزارش شده توسط دیگر نویسندگان را نیز فراهم می‌کند (Ried, 2006; Borenstein *et al.*, 2009). فراتحلیل قدرت آماری موجود برای آزمایش فرضیه‌ها و تفاوت واکنش‌های تیمارها را در شرایط مختلف محیطی افزایش می‌دهد (Gates, 2002; Borenstein *et al.*, 2009). همهٔ پژوهش‌ها برای برآورد کلی اثر تیمار مشارکت دارند اگرچه نتیجهٔ هر پژوهش به طور 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). به هرحال، فراتحلیل دارای نقاط ضعف بالقوه‌ای مانند سوگرایی انتشار[2] و سوگرایی‌های دیگری است که در مراحل جستجو، انتخاب و ترکیب مطالعات اتفاق می‌افتد (Egger *et al.*, 1997; Noble, 2006). سوگرایی انتشار تمایل گروهی از محققان، 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 اندازهٔ اثر تأثیر بگذارند، به این دلیل در این پروژه مدل اثر تصادفی انتخاب شد (Ried, 2006).

تیمارهای فراتحلیل

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

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه تحلیل داده‌ها از پارامتر تفاضل میانگین استاندارد[3] شده (SMD) (رابطهٔ ۳)، که از شاخص‌های مهم اندازهٔ اثر است، در عملکرد بین تیمار کنترل و آزمایش استفاده شد (Cohen, 1988).

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

که در آن،

M_1 و M_2= به ترتیب میانگین عملکرد تیمار آزمایش و تیمار کنترل؛ و SD_{Pooled}= انحراف معیار ترکیب شده (رابطهٔ ۴) (Cohen, 1988).

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

که در آن،

SD_1 و SD_2= به ترتیب انحراف معیار گروه آزمایش و کنترل.

1- Sample Size
2- Publication Bias
3- The Standardized Mean Difference (SMD)

بهتـرین راه بـرای مقایسـهٔ پـژوهش‌هـای مختلـف، اسـتفاده از میـانگین اثـر آن‌هاسـت. هرچنـد در تخمـین انـدازهٔ اثـر آزمـایش‌هـای مختلـف، دقـت‌هـای (اشـتباه معیـار) متفـاوتی وجـود دارد. بنـابراین، پـیش از فراتحلیل، باید بـه داده‌هـا وزن داده شـود بـه ایـن ترتیـب مطالعـاتی کـه دقـت آزمایشـی بـالاتری دارنـد وزن بیشـتری خواهنـد داشـت کـه موجـب افـزایش دقـت انـدازهٔ اثـر تخمـین زده خواهـد شـد (Soltani & Soltani, 2014). میـانگین وزن‌دهـی از رابطهٔ ۵ محاسبه شد.

$$WSMD_{overall} = \frac{\sum \mathrm{wi} \times \mathrm{SMD}}{\sum \mathrm{wi}} \qquad (۵)$$

وزن داده شـده بـه هـر مطالعـه (w_i) بـا معکـوس کردن واریانس محاسبه شد (رابطهٔ ۶).

$$\mathrm{W}_i = \frac{1}{\mathrm{var}_i} \frac{1}{SD_i^2} \qquad (۶)$$

حدود اطمینان از رابطهٔ ۷ محاسبه شد.

$$95\%\ CI = WSMD \pm 1.96 \times \sqrt{var_{overall}} \qquad (۷)$$
$$= \frac{1}{\sum w_i} var_{overall}$$

تسـت Q (کـوکران) و تجزیـه آمـاری[1] I^2(I-squared) بـرای تشـخیص نـاهمگنی مطالعـات اسـتفاده شـد (Higgins *et al.*, 2019). نـاهمگنی در چهـار گـروه طبقـه‌بنـدی شـد، نـاهمگنی زیـاد (۷۵ درصـد≤I-squared) نـاهمگنی متوسـط (۷۴- ۵۰ درصـد =I-squared)، نـاهمگنی کـم (۴۹- ۲۵ درصـد =I-squared)، نداشـتن نـاهمگنی (۲۵ درصـد >I-squared) (Higgins *et al.*, 2019).

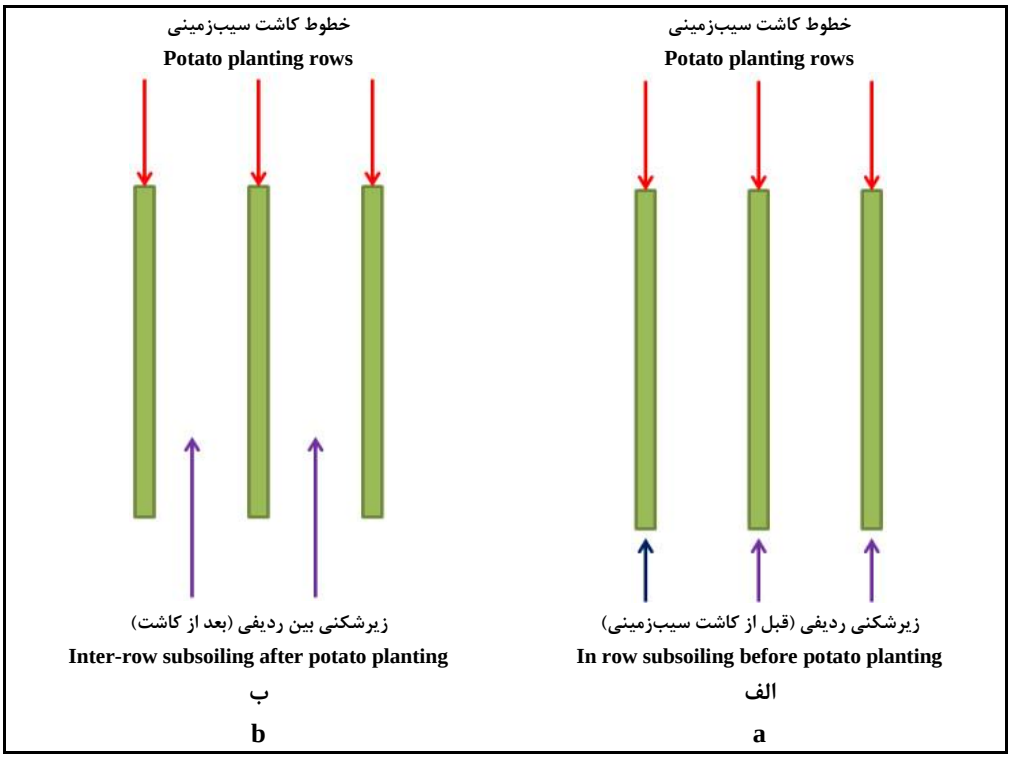
بـه منظـور اجـرای سـوگیری انتشـار از آزمـون Begg (Begg & Mazumdar, 1994) و Egger (Egger *et al.*, 1997) استفاده شد.

از نرم‌افـزار STATA 14.2 بـرای فراتحلیـل داده‌هـا استفاده شد.

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

Tabel 2- A brief description of the treatments used to evaluate the effect of subsoiling on potato yield

روش خاک‌ورزی Tillage method	توضیح مختصر brief explanation
خاک‌ورزی رایج Conventional tillage	شخم با گاوآهن برگرداندار + دیسک + ماله Mouldboard plow+ disc harrow + leveler
زیرشکنی Subsoiling	۱- زیرشکنی رایج (منظور زیرشکنی کل سطح است)+ خاک‌ورزی رایج (شخم با گاوآهن برگرداندار + دیسک + ماله) Conventional subsoiling+conventional tillage (Mouldboard plow+ disc harrow + leveler) ۲- زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت (منظور زیرشکنی در ردیف‌هایی است که غده سیب‌زمینی در آن منطقه کشت می‌شوند و دقیقا قبل از کشت زده می‌شود(شکل۱)) + کاشت سیب‌زمینی In row subsoiling (before planting) + potato planting ۳-خاک‌ورزی رایج + زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت (منظور زیرشکنی بعد از کاشت سیب‌زمینی و در بین ردیف‌ها با زیرشکن یا گاوآهن قلمی است (شکل۱)) + کاشت سیب‌زمینی Conventional tillage (Mouldboard plow+ disc harrow + leveler) + potato planting + inter-row subsoiling with subsoiler or chisel plow



شکل ۱- الف) زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت و ب) زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت

Fig. 1- a) in row subsoiling before planting and b) inter-row subsoiling after planting

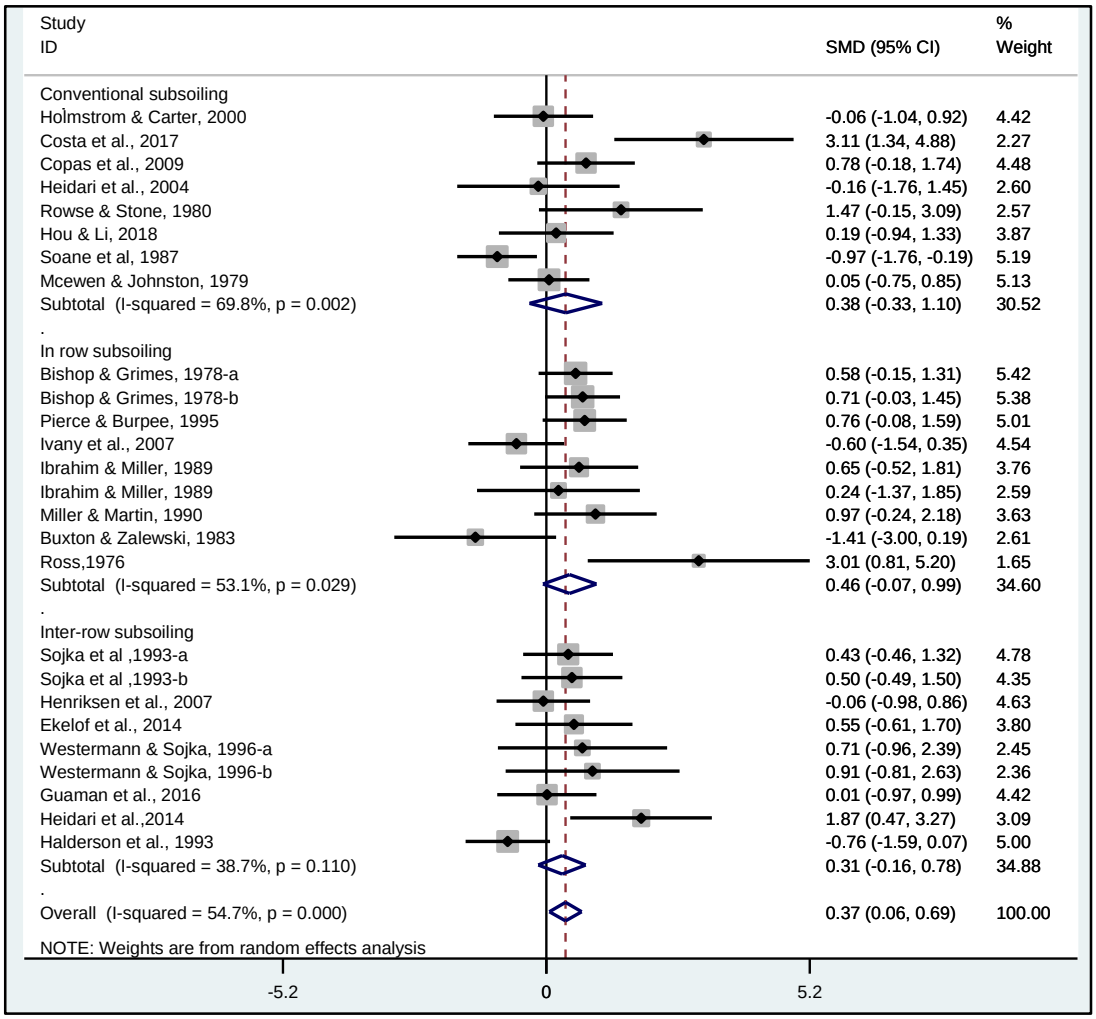
نتایج و بحث

اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی

نتایج تجزیهٔ آماری پارامتر تفاضل میانگین استاندارد شده (اندازهٔ اثر) اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به مقدار SMD کل (۰/۳۷)، می‌توان نتیجه گرفت که زیرشکنی اثر مثبت بر افزایش عملکرد سیب‌زمینی داشته است و در کل باعث افزایش عملکرد سیب‌زمینی (۳/۹۲+ درصد) نسبت به روش رایج (بدون زیرشکنی) شده است (میانگین عملکرد کل در خاک‌ورزی رایج و زیرشکنی به ترتیب برابر ۳۹۷۷۳ و ۴۱۷۰۷ کیلوگرم در هکتار است که بعد از وزن‌دهی (شکل ۲) به هر یک از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و زیرشکنی به ترتیب ۱۵۶۶/۰۲۵ و ۱۶۲۶/۸۱۵ به دست آمد). هر سه روش زیرشکنی (زیرشکنی رایج، زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت و زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت) باعث افزایش عملکرد شده‌اند. زیرشکنی رایج (۱/۲۳+ درصد)، زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت (۵/۱۸+ درصد) و زیرشکنی ردیفی بعد از کاشت (۴/۷۵+ درصد) عملکرد را نسبت به تیمار کنترل (بدون زیرشکنی) افزایش داده‌اند. اشنایدر و همکاران (Schneider *et al.*, 2017) با روش فراتحلیل گزارش کردند که به طور متوسط پاسخ عملکرد محصول به خاک‌ورزی عمیق اندکی مثبت است (۶ درصد افزایش عملکرد). فنگ و همکاران (Feng *et al.*, 2020) گزارش کردند که خاک‌ورزی عمیق در مناطق مختلف تأثیر متفاوت (مثبت و منفی) بر عملکرد داشته است. در بین سه روش زیرشکنی، زیر شکنی رایج کمترین اثر را بر افزایش عملکرد سیب‌زمینی (۱/۲۳+ درصد) داشته است. دلیل این موضوع ممکن است این باشد که در این

روش بعد از زیرشکنی خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاوآهن برگردان‌دار+ دیسک + ماله) صورت گرفته و در نتیجه تأثیر زیرشکنی به علت تردد تراکتور و ادوات کاهش پیدا کرده یا از بین رفته است. زیرشکنی دقیق ردیف‌های کاشت (قبل از کاشت) بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد داشته است. کاهش تردد تراکتور و در نتیجه فشرده نشدن خاک و نیز سست کردن خطوط کشت می‌تواند از دلایل برتری این روش زیرشکنی باشد. خاک‌ورزی بین ردیفی بعد از کاشت نیز به علت سست کردن خاک اطراف ریشه باعث کاهش مقاومت خاک و نفوذ بیشتر ریشه در خاک شده و در نتیجه به تولید غده‌های بیشتر و درشت‌تر و افزایش عملکرد سیب‌زمینی انجامیده است.

با توجه به مقدار شاخص آماری ناهمگنی (I-squared= ٪۵۴/۷)، بین مطالعات یک ناهمگنی متوسط وجود دارد که می‌تواند به دلیل نوع خاک، تناوب گیاهی، زمان و محل زیرشکنی و ... باشد.

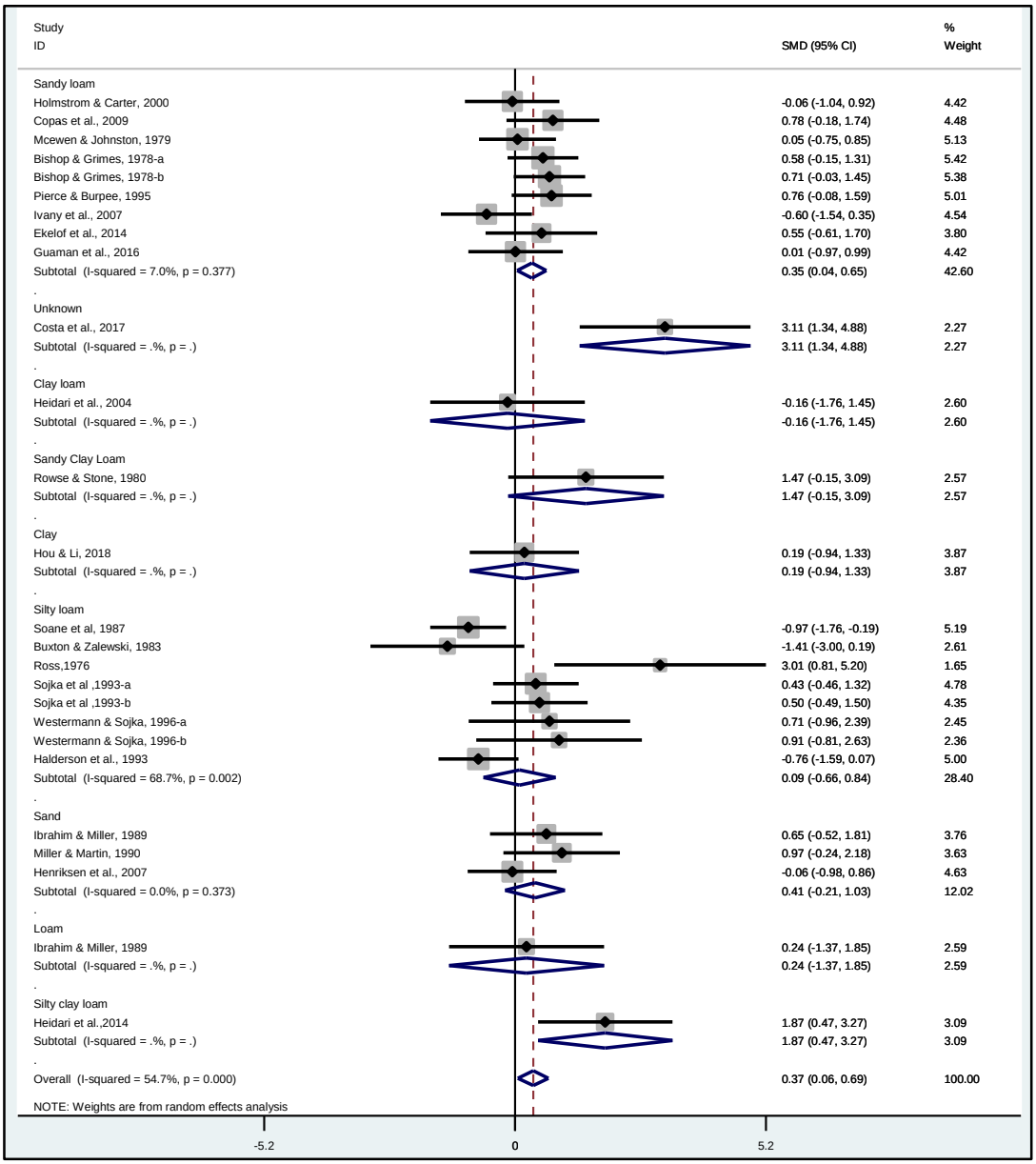


شکل ۲- نمودار انباشت اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی (اندازه اثر، درصد وزن، مشخصات مطالعه، زیرشکنی رایج، زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت، زیرشکنی بین ردیفی بعد از کاشت، زیرگروه و کل)

Fig. 2- Forest plot of the effect of subsoiling on potato yield (SMD, %weight, study ID, conventional subsoiling, inter-row subsoiling, in row subsoiling, subtotal and overall)

اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی در بافت‌های مختلف خاک

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زیرشکنی در خاک‌های با بافت مختلف عملکرد سیب‌زمینی را افزایش داده است (بیشتر پژوهش‌ها در دو بافت لوم شنی و لوم سیلتی بوده است). نتیجه این است که بافت خاک عامل تأثیرگذار بر زیرشکنی در محصول سیب‌زمینی نیست. بنابراین در هر نوع خاک (سبک تا سنگین)، امکان متراکم شدن خاک وجود دارد که با زیرشکنی می‌توان آن را از بین بُرد و باعث بهبود عملکرد شد.

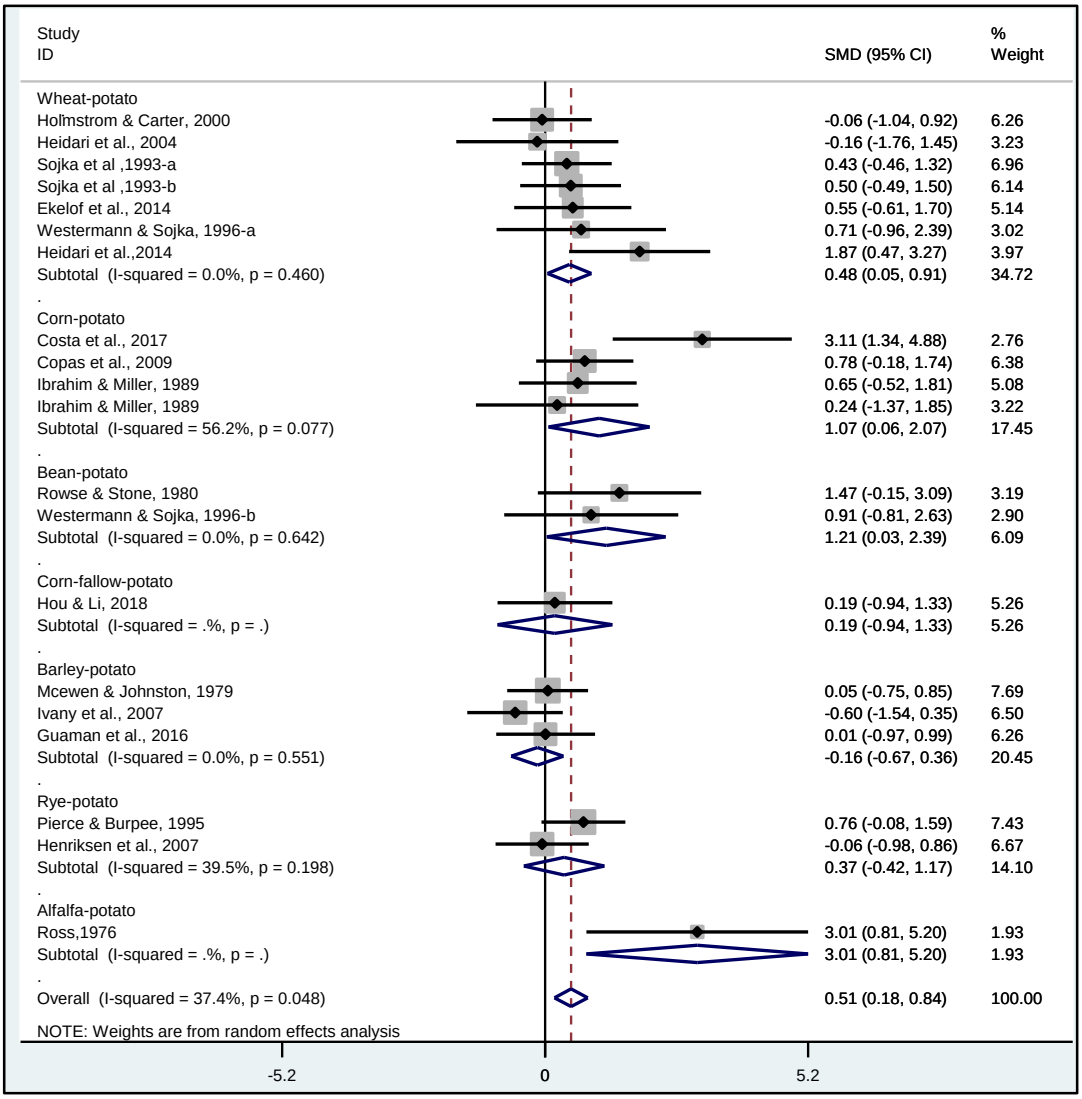


شکل ۳- نمودار انباشت اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی در بافت‌های مختلف خاک (لوم شنی، نامشخص، لومی رسی، لوم رسی شنی، رسی، لوم سیلتی، شنی، لومی و لوم رسی سیلتی)

Fig.3- Forest plot of the effect of subsoiling on potato yield in different soil textures (sandy loam, unknown, clay loam, sandy clay loam, clay, silty loam, sand, loam and silty clay loam)

اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی در تناوب‌های زراعی مختلف

تأثیر زیرشکنی بر بهبود عملکرد سیب‌زمینی در تناوب با گندم، ذرت، لوبیا و یونجه معنی‌دار بوده ولی در تناوب با جو و چاودار معنی‌دار نبوده است (شکل ۴). در تناوب جو – سیب‌زمینی زیرشکنی به طور جزئی باعث کاهش عملکرد سیب‌زمینی شده است در حالی‌که در تناوب چاودار- سیب‌زمینی زیرشکنی به طور جزئی عملکرد سیب‌زمینی را افزایش داده است. نتیجه این است که در اکثر تناوب‌های گیاهی زیرشکنی توانسته است فشردگی خاک را کاهش دهد و باعث توسعه نفوذ و غده‌های سیب‌زمینی شود و در نهایت عملکرد سیب‌زمینی را افزایش دهد.



شکل ٤- نمودار انباشت اثر زیرشکنی بر عملکرد سیب‌زمینی در تناوب‌های زراعی مختلف (گندم- سیب‌زمینی، ذرت- سیب‌زمینی، لوبیا – سیب‌زمینی، ذرت- آیش- سیب‌زمینی، جو- سیب‌زمینی، چاودار- سیب‌زمینی، یونجه- سیب‌زمینی)

Fig.4- Forest plot of the effect of subsoiling on potato yield in different crop rotation (wheat-potato, corn-potato, bean-potato, corn-fallow-potato, barley-potato, Rye-potato and alfalfa-potao)

سوگرایی انتشار

مقدار سطح احتمال در روش بگ و اگر (برای تخمین سوگرایی انتشار) به ترتیب ۰/۰۲۳ و ۰/۰۳۸ به دست آمد (کمتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در پژوهش‌ها وجود دارد.

نتیجه‌گیری

زیرشکنی به طور کلی عملکرد سیب‌زمینی را نسبت به تیمار کنترل (بدون زیرشکنی) ۳/۹۲+ درصد افزایش داده است. زیرشکنی رایج (۱/۲۳+ درصد)، زیرشکنی ردیفی قبل از کاشت (۵/۱۸+ درصد) و زیرشکنی ردیفی بعد از کاشت (۴/۷۵+ درصد) عملکرد را نسبت به تیمار کنترل (بدون زیرشکنی) افزایش داده‌اند. با توجه به اینکه زیرشکنی رایج هزینهٔ بیشتر و نیاز به تراکتور قوی دارد و نیز اثر آن بر عملکرد جزئی است، توصیه می‌شود در محصول سیب‌زمینی از این روش زیرشکنی استفاده نشود بلکه از زیرشکنی دقیق ردیفی (قبل کاشت) یا زیر شکنی بین ردیفی (بعد از کاشت) استفاده شود.

مراجع

Abeyasekera, S., Ritchie, J. M., & Lawson-McDowall, J. (2002). Combining ranks and scores to determine farmers'preferences for bean varieties in southern Malawi. *Experimental Agiculture*, *38*, 97-109.

Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management – A review. *Soil Use Manage*, *25*, 335-345.

Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, *50*, 1088-1101.

Bengough, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., & Valentine, T. A. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of experimental botany*, *62*, 59-68.

Bishop, J. C., & Grimes, D. W. (1978). Precision tillage effects on potato root and tuber production. *American Potato Journal*, *55*(2), 65-71.

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Wiley, London.

Buxton, D. R., & Zalewski, J. C. (1983). Tillage and cultural management of irrigated potatoes. *Agronomy journal*, *75*(2), 219-225.

Challinor, A., Cochrane, K., Howden, M., Iqbal, M. M., Lobell, D., Travasso, M. I., Chhetri, N., Garrett, K., Ingram, J., Lipper, L., & McCarthy, N., McGrath, C J., Smith, D., Thornton, P., Watson, J., & Ziska, L. (2013). *Food security and food production systems*. In: Aggarwal, K.H. P. (Ed.) Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability: Contribution of working group2 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Clark, L. J., & Barraclough, P. B. (1999). Do dicotyledons generate greater maximum axial root growth pressures than monocotyledons? *Journal of experimental botany*, *50*, 1263-1266.

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., Bàrberi, P., Fließbach, A., Peigné, J., Berner, A., Brock, C., Casagrande, M., & Crowley, O. (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), 1- 20.

Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., & Carliell-Marquet, C. (2011). The future distribution and production of global phosphate rock reserves. *Resources, conservation and recycling*, *57*, 78-86.

Copas, M. E., Bussan, A. J., Drilias, M. J., & Wolkowski, R. P. (2009). Potato yield and quality response to subsoil tillage and compaction. *Agronomy Journal*, *101*(1), 82- 90.

Costa, C. F., Melo, P. C., Guerra, H. P., & Ragassi, C. F. (2017). Soil properties and agronomic attributes of potato grown under deep tillage in succession of grass species. *Horticultura Brasileira*, *35*, 75-81.

Dickersin, K. (1990). The existence of publication bias and risk factors for its occurrence. *Jama*, *263(10)*, 1385-1389.

Doty, C. W., Campbell, R. B., & Reicosky, D. C. (1975). Crop response to chiseling and irrigation in soils with a compact A2 horizon. *Transaction of the ASAE*, *18(4)*, 668-672.

Eck, H. V., & Unger, P. W. (1985). *Soil profile modification for increasing crop production.* In: Stewart, B. A. (Ed.) Advances in Soil Science, Springer.

Ekelöf, J., Guamán, V., Jensen, E. S., & Persson, P. (2015). Inter-row subsoiling and irrigation increase starch potato yield, phosphorus use efficiency and quality parameters. *Potato Research*, *58(1)*, 15-27.

Egger, M., Smith, G. D., & Phillips, A. N. (1997). Meta-analysis: principles and procedures. *Bmj*, *315(7121)*, 1533-1537.

Feng, Q., An, C., Cai, M., & Wang, Z. (2020). *The Potential of Deep Tillage for Increasing Soil Carbon Sequestration and Grain Yield. Abstract of the AGU Fall Meeting*. Dec. 1- 17.

Gameda, S., Dumanski, J., & Acton, D. (1997). *Farm level indicators of sustainable land management for the development of decision support systems. International workshop on Geo-Information for Sustainable Land Management.* Aug. 17-21, Enschede, The Netherlands.

Garz, J., Schliephake, W., & Merbach, W. (2000). Changes in the subsoil of long-term trials in Halle (Saale), Germany, caused by mineral fertilization. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *163*(6), 663-668.

Gates, S. (2002). Review of methodology of quantitative reviews using meta-analysis in ecology. *Journal of Animal Ecology*, *71*(4), 547-557.

Guaman, V., Båth, B., Hagman, J., Gunnarsson, A., & Persson, P. (2016). Short time effects of biological and inter-row subsoiling on yield of potatoes grown on a loamy sand, and on soil penetration resistance, root growth and nitrogen uptake. *European Journal of Agronomy*, *80*, 55-65.

Halderson, J. L., McCann, I. R., & Stark, J. C. (1993). Zoned tillage for potato production. *Transactions of the ASAE*, *36*(5), 1377-1380.

Heidari, A., Hemmat, A., & Rezvani, S. M. (2014). The effect of inter-row tillage on potato yieldquality and quantity and water use efficiency in fine-textured soil. *Journal of Science and Technology of Agrculture and Natural Resources. Water and Soil Science*, *18(6)*, 1-13. (in Persian)

Heidari, A., Rezvani, S. M., & Hemmat, A. (2004). The effects of subsoiling and irrigation regime on potato yield. *Journal of Agrcultural Science and Natural Resources. 11*(3), 35-43. (in Persian)

Henriksen, C. B., Mølgaard, J. P., & Rasmussen, J. (2007). The effect of autumn ridging and inter-row subsoiling on potato tuber yield and quality on a sandy soil in Denmark. *Soil and Tillage Research*, *93*(2), 309-315.

Higgins, J. P. T., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., Vivian, J., & Welch, A. (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. John Wiley & Sons.

Holmstrom, D. A., & Carter, M. R. (1999). Effect of subsoil tillage in the previous crop year on soil loosening and potato yield performance. *Canadian Journal of Plant Science*, *80*(1), 161- 164.

Hou, X., & Li, R. (2018). Potato tuber yields in semi-arid environments are increased by tillage and mulching practices. *Agronomy Journal*, *110*(6), 2641- 2651.

Ibrahim, B. A., & Miller, D. E. (1989). Effect of subsoiling on yield and quality of corn and potato at two irrigation frequencies, *Soil science society of America journal, 53(1), 247-251.*

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.

Kautz, T., Amelung, W., Ewert, F., Gaiser, T., Horn, R., Jahn, R., Javaux, M., Kemna, A., Kuzyakov, Y., Munch, J.C., & Pätzold, S. (2013). Nutrient acquisition from arable subsoils in temperate climates: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, *57*, 1003-1022.

Kladivko, E. J. (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*, *61*(1- 2), 61- 76.

Kirkegaard, J. A., Lilley, J. M., Howe, G. N., & Graham, J. M. (2007). Impact of subsoil water use on wheat yield. *Australian Journal of Agricultural Research*, *58*(4), 303-315.

McEwen, J., & Johnston, A. E. (1979). The effects of subsoiling and deep incorporation of P and K fertilizers on the yield and nutrient uptake of barley, potatoes, wheat and sugar beet grown in rotation. *The Journal of Agricultural Science*, *92*(3), 695-702.

Miller, D. E., & Martin, M. W. (1990). Responses of three early potato cultivars to subsoiling and irrigation regime on a sandy soil. *American Potato Journal*, *67*(11), 769-777.

Noble Jr, J. H. (2006). Meta-analysis: methods, strengths, weaknesses, and political uses. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, *147*(1), 7-20.

Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., & Micale, F. (2011). Impacts and adaptation of european crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, *34*(2), 96-112.

Olsson, K. A., & Cockroft, B. (2006). Structure: managing belowground. In: Lal, R. (Ed.), Encyclopedia of Soil Science. Taylor & Francis, New York.

Pierce, F. J., & Burpee, C. G. (1995). Zone tillage effects on soil properties and yield and quality of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Soil and Tillage Research*, *35*(3), 135-146.

Ried, K. (2006). Interpreting and understanding meta-analysis graphs: A practical guide. *Australian Family Physician*, *35*(8), 635-638.

Ross, C. W. (1986). The effect of subsoiling and irrigation on potato production. *Soil and tillage research*, *7*(4), 315-325.

Rowse, H. R., & Stone, D. A. (1980). Deep cultivation of a sandy clay loam I. Effects on growth, yield and nutrient content of potatoes, broad beans, summer cabbage and red beet in 1977. *Soil and Tillage Research*, *1*, 57-68.

Schneider, F., Don, A., Hennings, I., Schmittmann, O., & Seidel, S. J. (2017). The effect of deep tillage on crop yield-What do we really know? *Soil and Tillage Research*, *174*, 193-204.

Soane, G. C., Godwin, R. J., Marks, M. J., & Spoor, G. (1987). Crop and soil response to subsoil loosening, deep incorporation of phosphorus and potassium fertilizer and subsequent soil management on a range of soil types.: Part 2: Soil structural conditions. *Soil Use and Management*, *3*(3), 123-130.

Sojka, R. E., Westermann, D. T., Kincaid, D. C., McCann, I. R., Halderson, J. L., & Thornton, M. (1993). Zone-subsoiling effects on potato yield and grade. *American potato journal. 70(6)*, 475-484.

Soltani, E., & 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., & 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.

Westermann, D. T., & Sojka, R. E. (1996). Tillage and nitrogen placement effects on nutrient uptake by potato. *Soil Science Society of America Journal*, *60*,1448-1453.

Agricultural Mechanization and Systems Research/Vol.23/No.82/Summer 2022/P:71-86
Journal Home Page: https://amsr.areeo.ac.ir

Research Paper

Meta-Analysis of the Effect of Subsoilinge on Potato Yield

A. Heidari

Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Hamadan, Iran. Email: heidari299@gmail.com
Received: 16 October 2022, Accepted: 12 December 2022
http://doi: 10.22092/AMSR.2022.360309.1428

Abstract

Soil compaction is a negative factor for plant growth. The purpose of this research is to investigate the effect of deep tillage (subsoiling) on potato yield using domestic and foreign studies with meta-analysis method. For this purpose, articles, research reports and student thesis between 1966 and 2021 were reviewed using key keywords related to subsoiling in the potato. Finally, after quality control, 23 studies were entered into the meta-analysis process to compare deep tillage (including conventional subsoiling, in row subsoiling before planting and inter-row subsoiling after planting) with conventional tillage without subsoiling using a random model. Based on the results, according to the total effect size value (SMD = 0.37), it can be concluded that subsoiling has had a positive effect on the increase of potato yield and has caused a 3.92% increase in potato yield. Conventional subsoiling, in row subsoiling before planting and inter-row subsoiling after planting increased potato yield by 1.23, 5.18 and 4.75%, respectively, compared to the control treatment (without subsoiling). It is recommended to use either inter-row subsoiling (to depth of 35-45 cm) after planting or in row subsoiling (to depth of 40-50 cm) before planting in the potato crop. Conventional subsoiling is not recommended due to low impact on potato yield and high cost.

Keywords: Deep Ploughing, Deep Tillage, Inter-Row Tillage, Soil Compaction, Systematic Review

© 2022 Agricultural Mehanization and Systems Research, Karaj, Iran. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)