J. Agric. Mech., 11 (2):41-56 (2026)

Journal of
Agricultural Mechanization

Online ISSN: 2717-4107
Journal homepage: https://jam.tabrizu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Meta-Analysis of the Effect of Minimum Tillage and No-Tillage on Corn Yield in Iran

Ahmad Heidari[1*], Saeed Abasi[1]

1-Department of Agricultural Engineering Research, Hamadan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Hamadan, Iran.

ARTICLE INFO

***Keywords*:**
Chisel Plow,
Conservation Tillage,
Direct Drilling,
Moldboard Plow

Received:
2025-12-17

Revised:
2026-08-25

Accepted:
2026-08-25

***Corresponding author:**
heidari299@yahoo.com

ABSTRACT

The effects of different tillage methods on corn yield have been investigated in several studies. However, most of these studies cover only small geographical areas (field experiments in one region) and sometimes yield contradictory and incomplete results. The present study aims to investigate the effect of conservation tillage (minimum tillage and no- tillage) on corn yield (grain and silage) by synthesizing national research and applying the meta-analysis method. For this purpose, articles, research reports and graduate theses were reviewed between 1991 and 2025 using keywords related to tillage in corn production. After quality control, 17 studies comparing reduced tillage with conventional tillage and 14 studies comparing no tillage with conventional tillage were included in the meta-analysis using a random effects model. Based on the results obtained, the overall effect size for reduced tillage (SMD=+0.57), it can be concluded that this method increased corn yield compared to conventional tillage. minimum tillage increased grain and silage yields by 6.41 and 4.80 percent, respectively, compared to conventional tillage. Conversely, considering the effect size for no-tillage (SMD=-0.88), it can be concluded that this method reduced corn yield compared to conventional tillage. No-tillage decreased grain and silage yields by 8.55 and 5.51 percent, respectively, compared to conventional tillage. The use of minimum tillage and no-tillage method in corn cultivation requires further and long-term research.

Introduction

The continuous use of conventional tillage (plowing with a moldboard plow) in agricultural fields has led to increased soil erosion and reduced soil fertility. Soil erosion is a major environmental problem in Iran. The country's annual erosion rate is estimated at 895 million tonnes (equivalent to 5.5 tonnes per hectare per year), while the global average annual rate is 2.2 tonnes per hectare. Soil erosion affects soil quality and crop yield. In conventional farming systems (commonly used in Iran), the effects of erosion on yield are directly related to the reduction in the amount of water that can be stored in the soil and made available by plants. To overcome this problem, conservation agriculture, which includes: (1) no or minimal soil manipulation, (2) permanent soil cover with plant residues, and (3) plant diversity and adherence to crop rotation principles, is recommended. The effectiveness of conservation agriculture in controlling runoff and soil erosion has been proven, and it is expected to ultimately have a positive effect on crop yield. The effect of different tillage methods on corn yield under Iranian conditions has been investigated in several studies. However, most of these studies cover only limited areas (field experiments in one region), which sometimes have contradictory and incomplete results. The purpose of this research is to investigate the effect of conservation tillage (minimum tillage and no- tillage) on corn yield by synthesizing national studies with meta-analysis method.

How to cite:
Hridari, A. and Abasi, S. (2026). *Meta-Analysis of the Effect of Minimum Tillage and No-Tillage on Corn Yield in Iran.* Journal of Agricultural Mechanization, 11(2): 41-56. https://doi.org/10.22034/jam.2026.70772.1350

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Materials and Methods

This research aims to investigate the effect of minimum tillage and no-tillage on yield of corn using national studies and research and applying the meta-analysis method. For this purpose, articles, research reports and graduate theses between 1991 and 2025 were reviewed using keywords related to tillage in corn. Finally, after quality control, 17 studies were selected to compare minimum tillage method with conventional tillage and 14 studies were selected to compare no-tillage with conventional tillage using a random effects model. The data required for meta-analysis are the treatment mean ($\overline{X}$), standard deviation ($SD_{\overline{X}}$), and the number of replicates or sample size (n) in the experimental design .In data analysis, the standardized mean difference parameter, which is a key measure of effect size, was used between the control treatment (conventional tillage) and the experiment (conservation tillage).

Results and Discussion

Based on the results obtained, the effect size for the minimum tillage method (SMD=+0.57) indicates that the minimum tillage method has increased corn yield compared to conventional tillage. Minimum tillage increased grain yield by 6.41 % compared to conventional tillage. The average total yield of grain corn in conventional tillage and minimum tillage methods was 8244.6 and 8871.9 kg/ha, respectively. After weighting each yield, the average weighted yield of conventional tillage and minimum tillage methods was 740.3 and 787.7, respectively. Also, minimum tillage increased the yield of silage corn by 4.80% compared to conventional tillage. The average total yield of forage corn in the conventional tillage and minimum tillage methods is 51822.6 and 55940.6 kg/ha, respectively. After weighting each yield, the average weighted yield of the conventional tillage and minimum tillage methods was 7748.7 and 8120.8, respectively. The probability values in the Begg and Egger method (for estimating publication bias) were 0.002 and 0.037, respectively (less than 10 percent), which allows us to conclude that there is evidence of publication bias in studies comparing the minimum tillage method with conventional tillage in corn production. Considering the effect size of the no-till method (SMD = -0.88), it can be concluded that the no-till method has reduced corn yield compared to the conventional tillage method. No-till reduced the yield of grain corn by 8.55% compared to conventional tillage. The average total yield of grain corn in the conventional tillage and no-till methods is 8903.3 and 7980.2 kg/ha, respectively. After weighting to each of the yields, the average weighted yield of the conventional tillage and no-till methods was 1116.5 and 1021.0, respectively. Also, no-till reduced the yield of silage corn by 5.51% compared to conventional tillage. The average total yield of silage corn in the conventional tillage and no-tillage methods is 56449.3 and 53205.2 kg/ha, respectively. After weighting each yield, the average weighted yield of the conventional tillage and no-tillage methods was 9421.5 and 8902.5, respectively. The probability values in the Begg and Egger method (for estimating publication bias) were 0.09 and 0.055, respectively (less than 10 percent), which allows us to conclude that there is evidence of publication bias in studies comparing no-till with conventional tillage in corn production.

Conclusion

The minimum tillage method increased the yield of grain corn (6.41%) and silage corn (4.80%) compared to the conventional tillage method, whereas the no-tillage method decreased the yield of grain corn (-8.55%) and silage corn (-5.51%). The use of minimum tillage and no-till methods in corn farming requires further and long-term research.

نشریه
مکانیزاسیون کشاورزی
شاپا الکترونیکی: 2717-4107
درگاه نشریه: https://jam.tabrizu.ac.ir



مقاله پژوهشی

فراتحلیل اثر کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت در ایران

احمد حیدری[1*]، سعید عباسی[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۰۳

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

*نویسنده مسئول: Email: heidari299@yahoo.com

چکیده

اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت در مطالعات متعددی بررسی شده است. بیشتر مطالعات انجام شده فقط یک محدوده کوچک (آزمایش‌های مزرعه‌ای در یک منطقه) را پوشش می‌دهند که بعضاً دارای نتایج ضد و نقیض می‌باشند. هدف از این تحقیق، فراتحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) بر عملکرد ذرت (دانه‌ای و علوفه‌ای) با استفاده از مطالعات انجام شده در ایران است. بدین‌منظور مقاله‌ها، گزارش‌های پژوهشی و پایان‌نامه‌های دانشجویی در فاصلهٔ زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۴ با استفاده از واژه‌های کلیدی مرتبط با خاک‌ورزی در محصول ذرت مرور شد. پس از کنترل کیفی، ۱۷ مطالعه برای مقایسهٔ کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و ۱۴ مطالعه برای مقایسه روش بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج با استفاده از مدل تصادفی وارد فرایند فراتحلیل شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، با توجه به مقدار اندازه اثر کُل (SMD=+۰/۵۷) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۰/۹۲ ، ۰/۲۱) در روش کم‌خاک‌ورزی می‌توان نتیجه گرفت که روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش خاک‌ورزی رایج باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ذرت شده است. کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای را به ترتیب ۶/۴۱ و ۴/۸۰ درصد افزایش داد. همچنین با توجه به مقدار اندازه اثر کُل (SMD= -۰/۸۸) و فاصله اطمینان ۹۵ درصد (۰/۱۲- ، ۱/۶۵-) در روش بی‌خاک‌ورزی می‌توان نتیجه گرفت که روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش خاک‌ورزی رایج باعث کاهش معنی‌دار عملکرد ذرت شده است. بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد ذرت دانه‌ای و عملکرد ذرت علوفه‌ای را به ترتیب ۸/۵۵ و ۵/۵۱ درصد کاهش داد. استفاده از روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در زراعت ذرت نیاز به تحقیقات بیشتر و درازمدت دارد.

کلمات کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، کشت مستقیم، گاوآهن برگرداندار، گاوآهن قلمی.

This is an open-access article under the CC BY NC license
(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

۱- مقدمه

در این پروژه بر یکی از ستون‌های مدیریت پایدار که حفظ یا افزایش بهره‌وری بود تمرکز شد (Dumanski et al., 2006). استفاده مداوم از خاک‌ورزی رایج (شخم با گاوآهن برگردان‌دار) در اراضی کشاورزی منجر به افزایش فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی خاک شده است. فرسایش خاک در ایران یک مشکل زیست محیطی بزرگ است. مقدار فرسایش سالیانه‌ی کشور ۸۹۵ میلیون تن (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) تخمین زده شد، در حالی‌که میانگین سالیانه فرسایش خاک در جهان ۲/۲ تن در هکتار است (Arabkhedri *et al.,*2018). فرسایش خاک بر کیفیت خاک و عملکرد محصول تاثیرگذار است. در سامانه‌های کشاورزی رایج (که عموماً در ایران استفاده می‌شود)، عملکرد محصول با کاهش مقدار آبی که می‌تواند در خاک ذخیره شود و برای گیاه قابل استفاده باشد رابطه مستقیم دارد (Bakker, 2004). برای غلبه بر این مشکل، کشاورزی حفاظتی شامل: ۱- عدم دستکاری (بی‌خاک‌ورزی[1]) و حداقل دستکاری (کم خاک‌ورزی[2]) خاک، ۲- پوشش حداقل ۳۰ درصد سطح خاک با بقایای گیاهی محصول سال قبل بعد از کاشت، و ۳- تنوع گیاهی و رعایت اصول 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 مدیریت دقیق کنترل علف‌های هرز دارد (Giller et al., 2009). عوامل دیگری نیز در موفقیت کشاورزی حفاظتی موثر است. مثل دسترسی به ادوات ویژه و حمایت دولت از کشاورزان به دلیل کاهش احتمالی عملکرد تا ۵ سال اول. 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 به‌دلیل 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, 2006; 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 غیر معنی‌دار باشد. داده‌های مطالعاتی که دارای اندازه‌های دقیق بیشتری هستند وزن بالاتری می‌گیرند بنابراین آن‌ها تأثیر بیشتری بر برآورد کل دارند (Gates, 2002). با این حال فراتحلیل دارای نقاط ضعف بالقوه‌ای مانند سوگرایی انتشار[3] و سوگرایی‌های دیگری که در مراحل جستجو، انتخاب و ترکیب مطالعات اتفاق می‌افتد است (Egger et al., 1997; Noble, 2006). سوگرایی انتشار تمایل گروهی از محققین، داورها و سردبیران برای ارسال و پذیرش دست نوشته‌ها بر اساس یافته‌های تحقیق است.

در مطالعه‌ای اثر برخی عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی، سطوح کود نیتروژن، تنش شوری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گندم با روش فرا تحلیل بررسی شد. نتایج نشان داد که تیمار کم‌خاک‌ورزی (گاوآهن قلمی + پنجه‌غازی) نسبت به تیمار رایج (شخم با گاوآهن برگردان‌دار + اکثراً 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 (Khaliliaqdam et al., 2018).

در پژوهشی برخی عامل‌های زراعی موثر بر کاهش عملکرد ذرت علوفه‌ای در ایران با روش فراتحلیل بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه در رابطه با گیاه ذرت علوفه‌ای مشاهده شد که تراکم بوته ۵/۶۵ درصد، تنش خشکی ۱۳/۴۴- درصد، رقم ۰/۳۱ درصد، تاریخ کاشت ۲/۵۴- درصد و کود نیتروژن ۲۴/۰۰ درصد از تغییرات عملکرد ذرت را توجیه کردند. به طور کلی کود نیتروژن، تنش خشکی و تراکم کاشت به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر عملکرد ذرت علوفه‌ای شناخته شدند (Azizi et al., 2022).

---

[1] بی خاک‌ورزی شامل عملیات یک مرحله ای قرارگیری بذر در خاک دست نخورده است. در این سیستم، تا حدی که ممکن باشد سطح خاک با بقایای گیاهی پوشیده می شود. بنابراین حفاظتی ترین سیستم محسوب می شود. در کشت مستقیم، خاک از زمان برداشت تا کاشت گیاه بعدی دست نخورده باقی می ماند. کشت بذر در شیارهایی که توسط کارنده مخصوص (کشت مستقیم) بوجود آمده انجام می شود. کنترل علف های هرز، بیشتر توسط علف کش ها صورت می گیرد.

[2] کم‌خاک‌ورزی یک نوع روش خاک‌ورزی حفاظتی است که به دو شیوه خاک‌ورزی تمام سطح مزرعه و خاک‌ورزی قسمتی از سطح مزرعه انجام می‌شود. در روش کم-خاک‌ورزی تمام سطح مزرعه، تمام سطح مزرعه در عمق کم (حداکثر ۱۵ سانتی‌متر) خاک‌ورزی می‌شود که معمولاً برای کشت‌های خطی و سراسری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که کم‌خاک‌ورزی قسمتی از سطح مزرعه در کشت‌های ردیفی کاربرد دارد و در آن فقط ردیف‌های کشت (خاک‌ورزی نواری) یا بین ردیف‌های کشت (کشت روی پشته‌های دائمی) خاک‌ورزی می‌شوند و بقیه مزرعه دست نخورده باقی می‌ماند.

[3] Publication bias

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 (Pittelkow et al., 2015).

با روش فراتحلیل به این سوال که آیا خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک[1] در کشاورزی ارگانیک باعث حفظ عملکرد محصول (گندم، جو و چاودار) و افزایش ماده آلی 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 رایج (برگردان خاک) نداشت (Cooper et al., 2016).

تغییر سامانه خاک‌ورزی از شخم با گاوآهن برگردان‌دار به گاوآهن قلمی بر خواص فیزیکی خاک (شاخص‌های ساختمان خاک) تأثیر نداشت. اما کاهش شدت خاک‌ورزی از گاوآهن 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 گاوآهن برگردان‌دار، بی‌خاک‌ورزی تأثیر کمی بر شاخص‌های فشردگی خاک (چگالی ظاهری و مقاومت به نفوذ در خاک) داشت اما تغییر از شخم با گاوآهن برگردان‌دار به سامانه‌های کشت محصولات چند ساله[2]، خواص فیزیکی خاک را در تمام عمق ۴۰ 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). تغییر سامانه خاک‌ورزی از گاوآهن برگردان‌دار به گاوآهن 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 گاوآهن 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 افزایش داد. در لایه‌های پایین خاک (۲۵-۱۵ سانتی‌متر) بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش شاخص‌های کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی و تنفس خاک را نسبت به گاوآهن برگردان‌دار گردید (Nunes et al., 2020).

بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد، تبخیر و تعرق، و کارآیی مصرف آب گندم در شمال‌غربی و شمال چین 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).

Heidari (2022) با روش فراتحلیل اثر زیرشکنی را بر عملکرد سیب‌زمینی بررسی کرد. نتایج نشان داد که با توجه به مقدار اندازه اثر کل (SMD[3]=+۰/۳۷)، 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 ردیفی بعد از کاشت عملکرد سیب‌زمینی را به ترتیب ۱/۲۳، ۵/۱۸ و ۴/۷۵ درصد نسبت به تیمار کنترل (بدون زیرشکنی) افزایش داده است. در مطالعه دیگری با روش فراتحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد سیب‌زمینی بررسی شد. نتایج نشان داد که با توجه به مقدار اندازه اثر (SMD=+۰/۰۷) روش کم‌خاک‌ورزی اثر مثبت جزیی بر افزایش عملکرد سیب‌زمینی داشته است و در مقایسه با خاک‌ورزی رایج در کل باعث افزایش ۰/۱۳ درصدی عملکرد شده است (Heidari et al., 2022).

با روش فراتحلیل اثر خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی در ایران بررسی شد. نتایج حاکی از تاثیر منفی روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی بود. روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی عملکرد گندم را در مقایسه با خاک‌ورزی رایج به‌ترتیب ۲/۸۷ و ۸/۲ درصد کاهش داد (Heidari, 2023). در مطالعه دیگری با روش فراتحلیل، گزارش شده که زیرشکنی نسبت به بدون زیرشکنی عملکرد گندم آبی، گندم دیم، چغندرقند، ذرت دانه‌ای و پنبه را به ترتیب ۱۳/۲۷، ۱۶/۰۲، ۳/۷۴، ۵/۸۴ و ۱۴/۰۰ درصد افزایش داد (Heidari, 2025).

ذرت بعد از برنج و گندم سومین منبع تولید کننده کالری رژیم غذایی مردم کشورهای در حال توسعه می‌باشد (FAO, 2012). ذرت، گندم و برنج حداقل ۳۰ درصد کالری بیش از ۴/۵ میلیارد نفر جمعیت جهان را در ۹۴ کشور در حال توسعه جهان تولید می‌کنند (Von Braun et al., 2010). در ایران نیز، ذرت به‌عنوان یک محصول استراتژیک، نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی و توسعه اقتصادی کشور ایفا می‌کند. تاریخچه کشت ذرت در ایران به دهه‌های گذشته بازمی‌گردد. اگرچه در ابتدا این گیاه چندان متداول نبود، اما با توجه به نیاز روزافزون به خوراک دام و طیور و استفاده از

[1] Shallow non-inversion
[2] Perennial cropping systems
[3] The standardized mean difference (SMD)

فراورده‌های ذرت در صنایع مختلف، سطح زیر کشت آن به‌طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است. امروزه، استان‌های مختلفی در ایران به کشت ذرت مشغول هستند و تلاش می‌کنند با بهره‌گیری از ظرفیت‌های اقلیمی و دانش فنی، عملکرد تولید را بهبود بخشند. 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 مطالعه، با استفاده از داده‌های مطالعات انجام شده در کشور با شرایط محیطی مختلف، خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) با خاک‌ورزی رایج در زراعت ذرت با روش فراتحلیل مقایسه شدند.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات (داده‌ها)

داده‌های عملکرد ذرت (دانه‌ای و علوفه‌ای) از مطالعات و پژوهش‌های طولانی مدت تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی در بازهٔ زمانی ۱۴۰۴-۱۳۷۰ به‌دست 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)، Irandoc، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به‌دست آمد. جستجوی جامع و بر اساس واژه‌های کلیدی و ترکیب آن‌ها شامل خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی، شخم، کشاورزی حفاظتی، کشت مستقیم و عملکرد ذرت بود. در نهایت ۱۹ مطالعه (۱۷ مطالعه برای مقایسه کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و ۱۴ مطالعه برای مقایسه بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج) وارد فرایند فراتحلیل شدند (جدول۱). مقالاتی که طبق جدول شماره ۳ تیمارهای مورد اشاره در آن‌ها اجرا نشده بود در مرحله ۳ و ۴ حذف شدند.

جدول۱- فرایند انتخاب مقالات

Table 1. Article selection process

مرحله Step	عنوان Title	تعداد Number
۱	مقالات شناسایی شده در جستجوی اولیه	۲۶
۲	مقاله تکراری حذف شده	۲
۳	مقالات حذف شده در مرحله عنوان و چکیده	۴
۴	مقالات انتخاب شده برای بررسی متن کامل	۲۰
۵	مطالعات وارد مرور نهایی	۱۹

۲-۲- 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 (جدول۲). این عوامل تاثیر بسزایی بر اندازه اثر[1] دارند. مطالعاتی که طبق جدول شماره ۳ تیمارهای مورد نظر را نداشتند حذف شدند. همچنین مطالعات انتخاب شده باید دارای سه مقدار (میانگین تیمار، انحراف معیار استاندار یا خطای استاندارد و ضریب تغییرات و تعداد تکرار) باشند.

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 (Gates, 2002).

۲-۳- استخراج داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای فراتحلیل عبارت‌اند از میانگین تیمار ($\bar{X}$)، انحراف معیار استلندارد ($SD_{\bar{X}}$) و تعداد تکرار یا تعداد نمونه[5] (n) در طرح آزمایشی. در تعدادی از پژوهش‌ها، نویسندگان داده آماری را در شکل‌های مختلف مانند خطای استلندارد ($SE_{\bar{X}}$) و ضریب تغییرات (CV%) گزارش کردند. این شکل‌ها به انحراف معیار استاندارد با استفاده از روابط ۱ و ۲ تغییر پیدا کردند:

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

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

عواملی مانند محل جغرافیایی، تناوب گیاهی، بافت خاک و ... می‌توانند روی اندازهٔ اثر تاثیر بگذارند. در این پروژه مدل اثر تصادفی[6] انتخاب شد (Ried, 2006).

[1] Effect size
[2] Heterogeneity
[3] Confounder
[4] Homogeneous
[5] Sample size
[6] مدل های فراتحلیل مبتی بر اثرات ثابت و اثرات تصادفی هستند. معیار انتخاب مدل مناسب در فراتحلیل آزمون های ناهمگونی هستند. انتخاب کدام مدل در انجام فراتحلیل مهم است. اگر آزمون ناهمگونی معنادار بود و نشان داد که مطالعات حاضر در فراتحلیل از جهات مختلف مانند آزمودنی، شیوه نمونه‌گیری، طرح تحقیق و ... ناهمگون و متفاوت هستند از مدل اثرات تصادفی و در غیر این صورت از مدل اثرات ثابت استفاده می شود.

۲-۴- تیمارهای فراتحلیل

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

۲-۵- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه تحلیل داده‌ها از پارامتر تفاضل میانگین استاندارد[1] شده (SMD) (رابطهٔ ۳)، که از شاخص‌های مهم اندازهٔ اثر است، در عملکرد بین تیمار کنترل و آزمایش استفاده شد (Cohen, 1988).

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

در این رابطه، M_1 و M_2 به‌ترتیب میانگین عملکرد تیمارآزمایش و تیمارکنترل و SD_{Pooled} ، انحراف معیارترکیب شده (رابطه۴) است (Cohen, 1988).

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

که در این رابطه SD_1 و SD_2 به‌ترتیب انحراف معیار گروه آزمایش و کنترل است.

بهترین راه برای مقایسهٔ پژوهش‌های مختلف، استفاده از میانگین اثر آن‌هاست. هر چند در تخمین اندازهٔ اثر آزمایش‌های مختلف، دقت‌های (اشتباه معیار) متفاوتی وجود دارد. بنابراین، پیش 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 اندازهٔ اثر تخمین زده خواهد شد (Soltani & Soltani, 2014). میانگین وزن‌دهی از رابطهٔ ۵ محاسبه شد.

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

وزن داده شده به هر مطالعه $(\mathrm{W_i})$ با معکوس کردن واریانس محاسبه شد (رابطهٔ۶).

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

حدود اطمینان از رابطهٔ ۷ محاسبه شد.

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

آزمون Q (کوکران) و تجزیه آماری[2] I^2 (I-squared) برای تشخیصِ ناهمگنی مطالعات استفاده شد (Higgins et al., 2019) .

ناهمگنی در چهار گروه طبقه‌بندی شد، ناهمگنی زیاد (۷۵ درصد ≤I-squared)ناهمگنی متوسط (۷۴- ۵۰ درصد =I-squared)، ناهمگنی کم (۴۹- ۲۵ درصد =I-squared)، نداشتن ناهمگنی (۲۵ درصد >I-squared) (Higgins *et al*., 2019).

به‌منظور اجرای سوگیری انتشار از آزمون بگ (Begg & Mazumdar, 1994) و اِگر (Egger *et al*., 1997) استفاده شد.

از نرم افزار Stata 14.2 برای فراتحلیل داده‌ها استفاده شد. نرم افزارهای بسیاری مانند Stata، OpenMEE و CMA وجود دارند که در مراحل مختلف گردآوری، سازماندهی و تجزیه و تحلیل و ارائه گزارش نهایی در فراتحلیل استفاده می‌شوند. نرم افزار Stata یکی از جامع‌ترین نرم افزارهای تحلیل فراتحلیل در دنیا است.

[1] The standardized mean difference (SMD)

[2] I-squared

جدول۲- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Table 2. 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	زمان آزمایش (سال) Duration (year)
Shahraki, 2009	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (دیسک) Reduced tillage (disc) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	کرمان (کرمان) Kerman	شنی Sand	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-Corn	1
Asadi et al., 2016	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	علی‌آباد (گلستان) Ali Abd(Golestan)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت علوفه‌ای Wheat-silage corn	2
Afzalinia et al., 2023	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	زرقان (فارس) Zarghan (Fars)	لومی رسی سیلت‌دار Silty clay loam	گندم- ذرت علوفه‌ای Wheat-silage corn	2
Afzalinia and Karami, 2018	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	مرودشت (فارس) Marvdasht(Fars)	رسی Clay	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-corn	1
Haddadi and Mohseni, 2015	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (دیسک) Reduced tillage (disc) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	ساری (مازندران) Sari (Mazandaran)	نامشخص Unknown	گندم- ذرت علوفه‌ای Wheat-silage corn	3
Hasanzadeh Moghadam et al., 2017	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	تربت حیدریه (خراسان رضوی) Torbat-e Heydariyeh (Razavi Khorasan)	لومی Loam	گندم- ذرت علوفه‌ای Wheat-silage corn	1
Hamzei and Borbor, 2014	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	همدان (همدان) Hamedan (Hamedan)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-corn	1
Heidari et al., 2017	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller)	همدان (همدان) Hamedan (Hamedan)	لومی Loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-corn	2
Zeidali et al., 2022	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller)	دره شهر (ایلام) Darreh Shahr (Ilam)	لومی شنی Sandy loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-corn	2

ادامه جدول۲- مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

Table 2 (continued)). 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	زمان آزمایش (سال) Duration (year)
Ghaseminejad Raeini et al., 2014	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (دیسک) Reduced tillage (disc)	اهواز (خوزستان) Ahvaz (Khuzestan)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-corn	2
Fathi et al., 2018	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	دره شهر (ایلام) Drrreh Shahr (Ilam)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat-corn	2
Ghasemi et al., 2016	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	سیستان و بلوچستان Sistan and Baluchestan	لومی شنی Sandy loam	جو- ذرت دانه‌ای Barly-corn	2
Ghazinejad et al., 2022	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	دزفول (خوزستان) Dezful (Khuzestan)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat- corn	1
Ghanbaryan Alavijeh et al., 2014	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (دیسک) Reduced tillage (disc)	ورامین (تهران) Varamin (Tehran)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت علوفه‌ای Wheat-silage corn	1
Mohseni and Haddadi, 2016	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (دیسک) Reduced tillage (disc) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	ساری (مازندران) Sari (Mazandaran)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت علوفه‌ای Wheat-silage corn	3
Nael et al., 2023	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز حفاظتی مرکب) Reduced tillage (combined conservation tiller) ۳-بی‌خاک‌ورزی(کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	همدان (همدان) Hamedan (Hamedan)	لومی رسی Clay loam	گیاه پوششی[1]- ذرت دانه‌ای Cover crop-corn	3
Nisi et al., 2017	۱-خاک‌ورزی رایج Conventional tillage ۲-کم‌خاک‌ورزی (دیسک) Reduced tillage (disc) ۳-بی‌خاک‌ورزی(چیزل) No tillage (chisel)	شاهرود (سمنان) Shahrud (Semnan)	لومی رسی Clay loam	گندم- ذرت دانه‌ای Wheat- corn	1

[1] در کشاورزی، گیاهان پوششی به گیاهانی گفته می‌شود که برای پوشاندن خاک کاشته می‌شوند نه برای برداشت. محصولات پوششی فرسایش خاک، حاصلخیزی خاک، کیفیت خاک، آب، علف های هرز، آفات، بیماری ها، تنوع زیستی و حیات وحش را در یک اکوسیستم زراعی مدیریت می کنند.

جدول۳- شرح کوتاه از تیمارهای مورد استفاده در ارزیابی اثر کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت

Table 3. A brief description of the treatments used to evaluate the effect of minimum tillage and no tillage on corn yield

روش خاک‌ورزی Tillage method	توضیح مختصر brief explanation
خاک‌ورزی رایج Conventional tillage	شخم با گاوآهن برگرداندار + دیسک + ماله+ کارنده ذرت Mouldboard plow+ disc + leveler+ corn planter
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	۱- شخم با خاک‌ورز حفاظتی مرکب + کارنده ذرت 1-plowing with combined conservation tiller+ corn planter
	۲- دیسک (یک یا دو بار) + کارنده ذرت 2-Disc+ corn planter
بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) No tillage (direct planting)	کاشت ذرت با کارنده کشت مستقیم Corn planting with no till planter

۳- نتایج و بحث

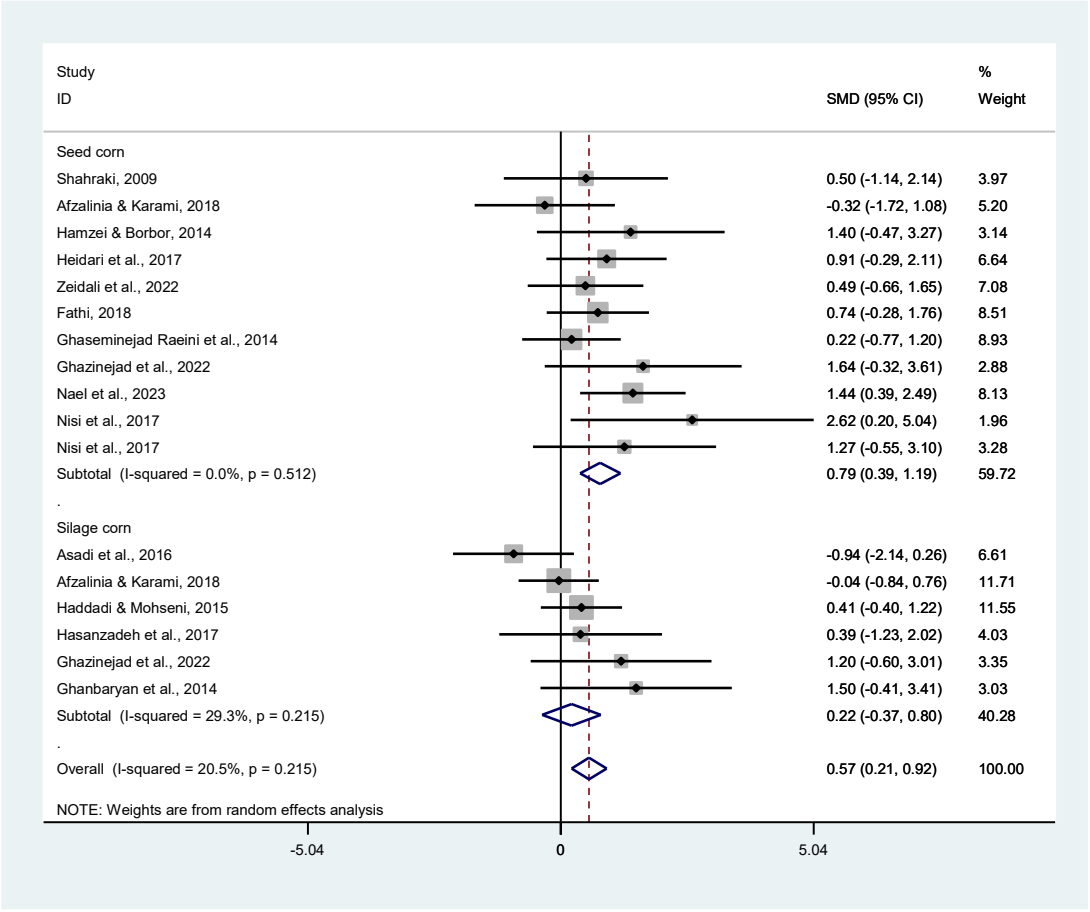
۳-۱- اثر کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای

نتایج تجزیهٔ آماری پارامتر تفاضل میانگین استلندارد شده (SMD) اثر کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت در شکل ۱ آورده شده است. با توجه به مقدار SMD در روش کم‌خاک‌ورزی (۰/۵۷+)، می‌توان نتیجه گرفت که روش کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج باعث افزایش عملکرد ذرت شده است. باتوجه به اینکه پایین‌ترین لوزی که میانگین مطالعات ذرت (دانه‌ای و علوفه‌ای) را نشان می‌دهد در شکل مربوطه در قسمت مثبت شکل قرار گرفته و خط مرکزی را قطع نکرده است، می‌توان نتیجه گرفت که کم‌خاک‌ورزی اثر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد ذرت داشته است. با توجه به شکل ۱، اثر کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت دانه‌ای مثبت و معنی‌دار بوده ولیکن اثر کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت علوفه‌ای مثبت و غیر معنی‌دار بوده است. کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد ذرت دانه‌ای را ۶/۴۱ درصد افزایش داد. میانگین عملکرد کل ذرت دانه‌ای در روش خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب برابر ۸۲۴۴/۶ و ۸۸۷۱/۹ کیلوگرم در هکتار است که بعد از وزن‌دهی (شکل ۱) به هر یک از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب ۷۴۰/۳ و ۷۸۷/۷ به‌دست آمد. همچنین کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد ذرت علوفه‌ای را ۴/۸۰ درصد افزایش داد. میانگین عملکرد کل ذرت علوفه‌ای در روش خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به‌ترتیب برابر ۵۱۸۲۲/۶ و ۵۵۹۴۰/۶ کیلوگرم در هکتار است که بعد از وزن‌دهی (شکل ۱) به هر یک از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب ۷۷۴۸/۷ و ۸۱۲۰/۸ به‌دست آمد. با توجه به ساختار گاوآهن حفاظتی مرکب (ساقه و تیغه‌ها)، این گاوآهن توانسته است گسیختگی مناسبی (با توجه به عمق نفوذ بیشتر تیغه‌ها) در خاک ایجاد نماید، در نتیجه بستر مناسبی برای رشد و توسعه ریشه ذرت فراهم نموده است.

با توجه به مقدار شاخص آماری ناهمگنی بین مطالعات (٪ ۲۰/۵ = I-squared)، بین مطالعات ناهمگنی کم وجود دارد.

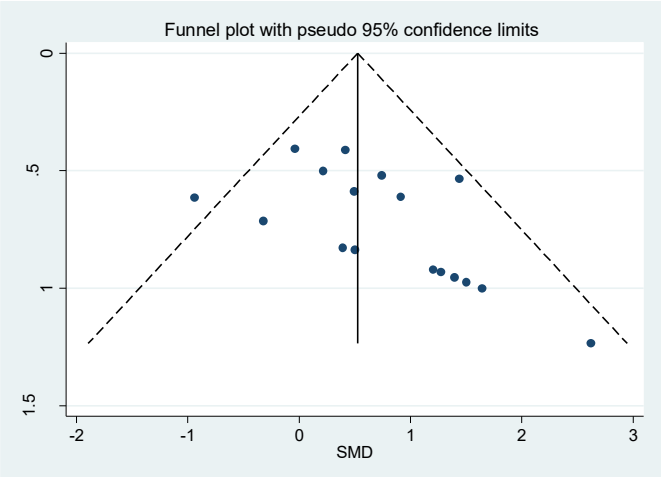
۳-۲- سوگرایی انتشار

مقدار سطح احتمال در روش Begg وEgger (برای تخمین سوگرایی انتشار) به‌ترتیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۳۷ به‌دست آمد (کمتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در پژوهش‌های مقایسه روش کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج در محصول ذرت وجود دارد. با توجه به شکل ۲ (نمودار قیفی و رابطه بین خطای استاندارد با اندازه اثر)، مطالعات به‌طور متقارن در اطراف اندازه اثر ترکیبی توزیع شده‌اند، عدم وجود سوگیری انتشار را نشان می‌دهد (Higgins & Green, 2011).



شکل۱- نمودار انباشت اثر کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت (SMD (اندازه اثر)، Weight%(درصد وزن)، Study ID (منبع)، Seed corn (ذرت دانه‌ای)، Silage corn (ذرت علوفه‌ای)، Subtotal (زیر گروه)، Overall (کل)

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



شکل ۲- نمودار قیفی[1] تاثیر پذیری عملکرد ذرت در برابر کم‌خاک‌ورزی

Fig 2. Funnel diagram of the effectiveness of corn yield against reduced tillage

[1] نمودار قیفی، میزان انحراف در آزمایش‌ها و میزان احتمال سوگیری در مقالات را نشان می‌دهد. محور افقی نشان دهنده اندازه اثر است و محور عمودی شاخصی از دقت بوده و می‌تواند خطای استاندارد مطالعات، معکوس واریانس، تعداد نمونه‌ها و موارد مشابه باشند(Rothstein et al., 2005).

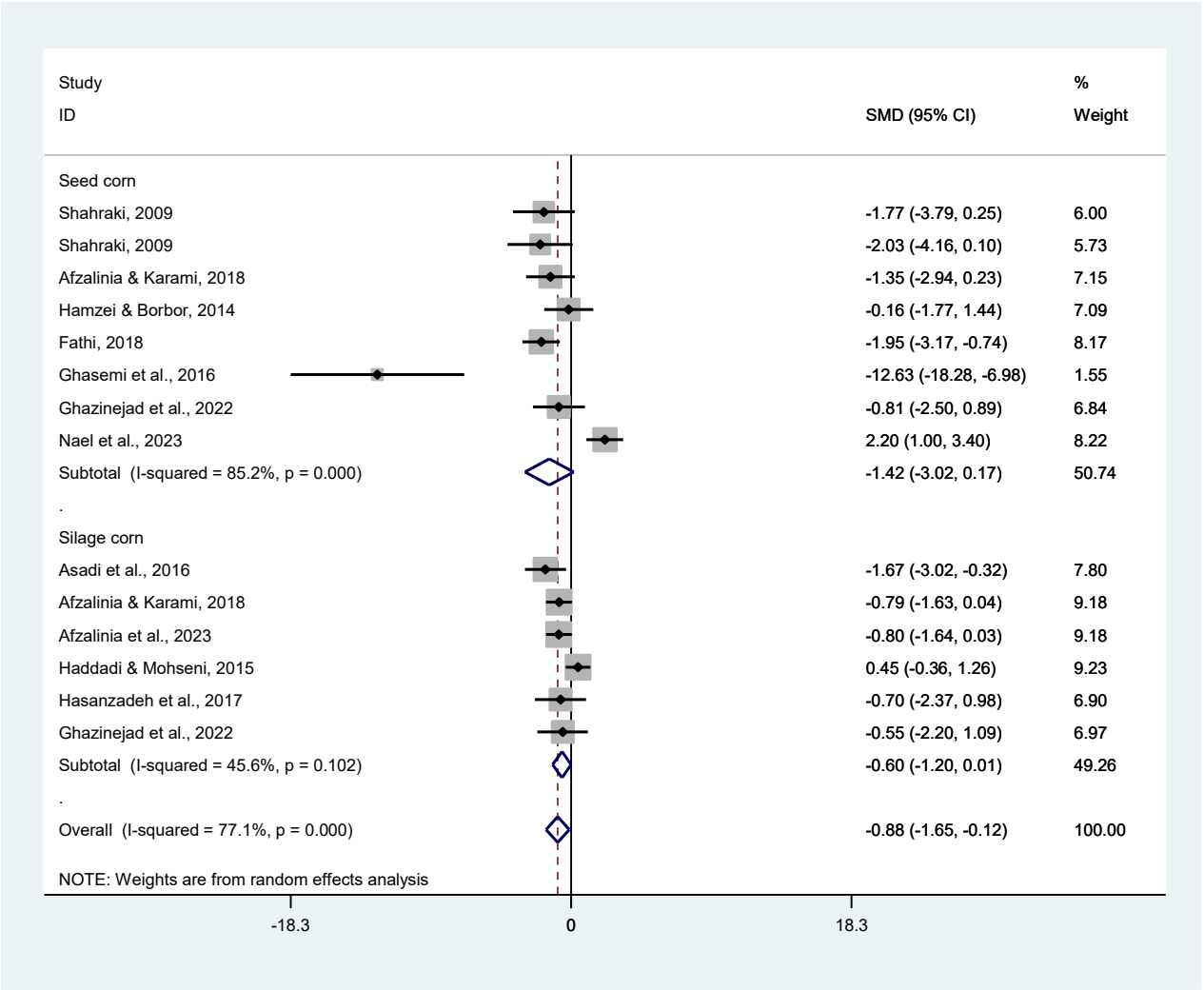
۳-۳- اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای

نتایج تجزیهٔ آماری پارامتر تفاضل میانگین استلندارد شده (SMD) اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به مقدار اندازه اثر در روش بی‌خاک‌ورزی(۰/۸۸- =SMD) می‌توان نتیجه گرفت که روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش خاک‌ورزی رایج باعث کاهش عملکرد ذرت شده است. باتوجه به اینکه پایین‌ترین لوزی که میانگین مطالعات ذرت (دلنه‌ای و علوفه‌ای) را نشان می‌دهد در شکل مربوطه در قسمت منفی شکل قرار گرفته و خط مرکزی را قطع نکرده است، می‌توان نتیجه گرفت که بی‌خاک‌ورزی اثر منفی و معنی‌داری بر عملکرد ذرت داشته است. بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد ذرت دانه‌ای را ۸/۵۵ درصد کاهش داد. میانگین عملکرد کل ذرت دانه‌ای در روش خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب برابر ۸۹۰۳/۳ و ۷۹۸۰/۲ کیلوگرم در هکتار است که بعد از وزن‌دهی (شکل ۲) به هر یک از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۱۱۱۶/۵ و ۱۰۲۱/۰ به‌دست آمد. همچنین بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد ذرت علوفه‌ای را ۵/۵۱ درصد کاهش داد. میانگین عملکرد کل ذرت علوفه‌ای در روش خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به‌ترتیب برابر ۵۶۴۴۹/۳ و ۵۳۲۰۵/۲ کیلوگرم در هکتار است که بعد از وزن‌دهی (شکل۳) به هر یک از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۹۴۲۱/۵ و ۸۹۰۲/۵ به‌دست آمد. از افزایش عملکرد ذرت در روش کم‌خاک‌ورزی و کاهش آن در روش بی‌خاک‌ورزی می‌توان نتیجه گرفت که در اراضی کشت ذرت با توجه به ساختمان خاک و حاصلخیزی آن، در حال حاضر به یک حداقل خاک‌ورزی نیاز است و گذر از کم‌خاک‌ورزی به بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) نیاز به زمان و تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌باشد. خاک‌ورزی در مقایسه با بی‌خاک‌ورزی امکان کاشت همگن را فراهم می‌کند، شرایطی 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 عامل‌ها اثر مثبت بر استقرار گیاه و عملکرد بگذارند (Van den putte et al., 2010). Van den putte et al(2010) با روش فراتحلیل اعلام کردند که بی‌خاک‌ورزی عملکرد پنجاه محصول را به‌طور متوسط ۸/۵ درصد کاهش داد. Pittekow et al(2015) با روش فراتحلیل گزارش کرد، 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. اجرای کوتاه مدت مدیریت بی‌خاک‌ورزی در ایران می‌تولند یکی از دلایل کاهش عملکرد ذرت 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 (Hilshey et al., 2020). یکی از روش‌های موثر برای حفاظت از منابع تولید نظیر آب و خاک حفظ بقایای گیاهی است. اما باید توجه داشت که مزایای کشاورزی حفاظتی و از جمله خاک‌ورزی حفاظتی در درازمدت آشکار می‌شود. زیرا افزایش کربن آلی خاک و تجزیه آن به عناصر غذایی قابل استفاده، نیازمند زمان بیشتری است. بنابراین سعی شود که مزارعی که برای کاربرد این سیستم به کار می‌روند حداقل چهار سال پیاپی تحت کشاورزی حفاظتی قرار گیرند. از این رو باید فرصت کافی به کربن آلی داد تا پس از تجزیه شدن موجب افزایش عملکرد محصول شود (Asadi et al., 2016). علت کمتر بودن عملکرد در روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج و کم خاک‌ورزی ناشی از استقرار ضعیف‌تر گیاهچه‌های ذرت در شرایط بدون شخم، تهویه کم خاک و رقابت علف‌های هرز با گیاه ذرت در مرحله اولیه‌ی رشد بود (Ghazinejad et al., 2022).

با توجه به مقدار شاخص آماری ناهمگنی بین مطالعات (۷۷/۱٪ =I-squared)، بین مطالعات ناهمگنی زیاد وجود دارد.

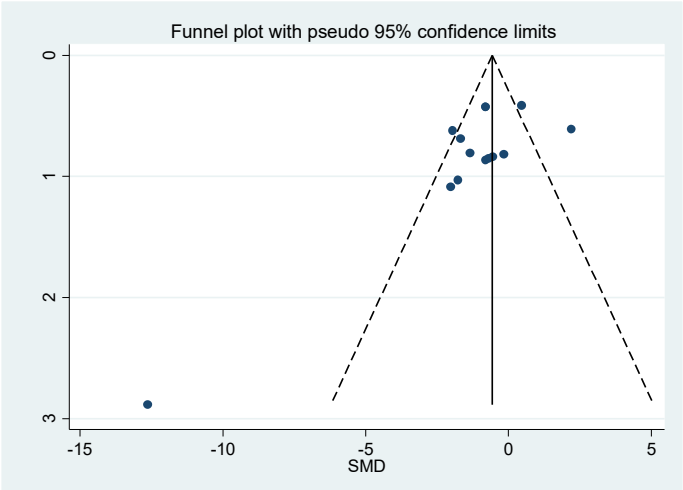
۴-۳- سوگرایی انتشار

مقدار سطح احتمال در روش Begg وEgger (برای تخمین سوگرایی انتشار) به‌ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۰۵۵ به‌دست آمد (کمتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در پژوهش‌های مقایسه روش بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج در محصول ذرت وجود دارد. با توجه به شکل ۴ (نمودار قیفی و رابطه بین خطای استاندارد با اندازه اثر)، مطالعات به‌طور غیرمتقارن در اطراف اندازه اثر ترکیبی توزیع شده‌اند، وجود سوگیری انتشار را نشان می‌دهد (Higgins & Green, 2011).



شکل۳- نمودار انباشت اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد ذرت (SMD (اندازه اثر)، Weight%(درصد وزن)، Study ID (منبع)، Seed corn (ذرت دانه‌ای)، Silage corn (ذرت علوفه‌ای)، Subtotal (زیر گروه)، Overall (کل))

Fig 3. Forest plot of the effect of no tillage on corn yield



شکل ۴- نمودار قیفی تاثرپذیری عملکرد ذرت در برابر بی‌خاک‌ورزی

Fig 4. Funnel diagram of the effectiveness of corn yield against no- tillage

۴- نتیجه‌گیری نهایی

روش کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش خاک‌ورزی رایج باعث افزایش عملکرد ذرت دانه‌ای (۶/۴۱ درصد) و ذرت علوفه‌ای(۴/۸۰ درصد) شد. در حالی‌که روش بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش عملکرد ذرت دانه‌ای (۸/۵۵- درصد) و ذرت علوفه‌ای (۵/۵۱ - درصد) شد. استفاده از روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی در زراعت ذرت نیاز به تحقیقات بیشتر و بلند مدت دارد.

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(1):97-109. http://dx.doi.org/10.1017/S0014479702000182.

Afzalinia, S., Dehghanian, S. I., Alijani, Kh., Mohammadi, D., Hosseini S. M., Estakhr, A., Alavimanesh., S. M. and Zare, M. (2023). *Effect of permanent raised bed planting, no-till, and conventional tillage methods on yield and water productivity in wheat-forage corn rotation*. Journal of Agricultural Mechanization and Systems Research. 24(88):33-50. (In Persian). https://doi.org/10.22092/amsr.2024.364325.1472.

Afzalinia, S., and Karami, A. (2018). *Effect of Conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn- wheat rotation*. Journal of Iran Biosystem Engineering.49(1):129-137.(In Persian). https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.243058.664995.

Arabkhedri, M., Shadfar, S., Jafari-Ardakani, A., Bayat, R., Khajavi, E., and Madian, M. H. (2018). *Improving water erosion estimates for Iran*. Journal of Watershed Management Research. 31(3): 13-27. (In Persian). https://doi.org/10.22092/wmej.2018.121424.1106.

Asadi, M. E., Fizbakhsh, M. T., and Razzaghi, M. H. (2016). *Study of silage maize yield and yield components under different managements of tillage*. Journal of Water and Soil Conversation. 23(3): 151-170. (In Persian). https://doi.org/10.22069/jwfst.2016.3191.

Azizi, F., Mahrokh1,A., Ghotbi, V., Golzardi, F., Mofidian, S. M. A., Zamanian, M, Rahjoo, V., Torabi3.,M., and Elias Soltani, E. (2022). *Meta-Analysis of Some Agronomic Factors Affected on Decreasing Forage Maize Yield in Iran.* Journal of Crops Improvement.24(3):793-805.(In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2021.326061.2570.

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.

Barton, A. P., Fullen, M. A, Mitchell, D. J, Hocking, T. J, Liu, L., Bo, Z.W., Zheng, Y., and Xia, Z. Y. (2004). *Effects of soil conservation measures on soil erosion rates and crop productivity on subtropical Ultisols in Yinnan Province*. China Agricultural EcosystemEnvironmental,104:343–357. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.034.

Begg, C. B., and 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., and Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-analysis*. Wiley,London. https://doi.org/10.1002/9780470743386.

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd Edition. Hillsdale: Lawrence Erlbaum. https://doi.org/10.4324/9780203771587.

Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., and Carliell-Marquet, C. (2011). *The future distribution and production of global phosphate rock reserves*. Resources, Conservation & Recycling, 57: 78–86. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.09.009.

Dumanski, J., Peiretti, R., Benetis, J., McGarry, D., and Pieri, C. (2006). *The paradigm of conservation tillage*. Proceedings of World Association of Soil and Water Conservation, FAO, Rome, 58–64.

Egger, M., Smith, G. D., and Phillips, A. N. (1997). *Meta-analysis: principles and procedures*. BMJ, 315(7121):1533–1537. https://doi.org/10.1136/bmj.315.7121.1533.

FAO. 2012. *FAOSTAT, Statistical databases and data sets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations*. http://faostat.fao.org/default.aspx (Accessed on April 2012).

FAO. 2022. http://www.fao.org/ag/ca/.

Fathi, A., Barari Tari., D., Fallah, H., and Niknezhad, Y.(2018). *Effect of tillage systems and fertilization (NPK) on quantitative and qualitative traits of corn (Zea mays L.)*. Journal of Plant Ecophysiology. 12(44): 102-115. (In Persian)

Gates S. (2002). *Review of methodology of quantitative reviews using. meta-analysis in ecology*. Journal of AnimalEcology.71(4):547-557. https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2002.00634.x.

Ghanbaryan Alavijeh, H. R., Ahmadi Chenarbon, H., and Zand, B. (2014). *Effect of different tillage methods on soil physical properties, and yield of two forage maize cultivars in Varamin Province*. Journal of Agricultural Mechanization. 1(2): 89-96. (In Persian)

Ghasemi1, A., Ghanbari, A., Fakheri, B.A,. and Fanaie, H.R. (2016). *Effect of different fertilizer resources on yield and yield components of grain maize (Zea mays L.) influenced by tillage managements*. Journal of Agroecology. 7(4): 499-512. (In Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v7i4.43938.

Ghaseminejad Raeini, M., Sheikh Davoodi, M., Almasi, M., Bahrami, H., Zand, E., and Alamiisaeid, K. (2014). *Effect of tillage, fertilization and weed control methods on corn yield in the Northern part Khuzestan*. Journal of Agricultural Engineering. 36 (2): 1-16. (In Persian)

Giller, K.E., Witter, E., Corbeels, M., and Tittonell, P. (2009). *Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view*. Field Crop Research.114:14–23. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.06.017.

Haddadi, M. H., and Mohseni, M. (2015). *Comparison of different tillge systems effect on forage silage yield of corn*. Journal of Research Findings in Improving Crop Production. 1(1): 55-66. (In Persian)

Hamzei, J., and Borbor, A. (2014). *Effect of different soil tillage methods and cover crops on yield and yield components of corn and some soil characteristics*. Journal of Sustainable Agricultural and Production Science. 27(3): 35-47. (In Persian)

Hasanzadeh Moghadam, H., Muhammad Galavi, M., Ramroudi, M., and Sharifi, H. R. (2017). *Influence of tillage method and residue retention on yield and some agronomic characteristics of forage maize in water stress conditions.* Journal of Sustainable Agricultural and Production Science. 27(4): 137-151. (In Persian)

Heidari, A. (2022). Meta-Analysis of the Effect of Subsoilinge on Potato Yield. Agricultural Mechanization and Systems Research. 23(80), 71-86. (In Persian). https://doi.org/10.22092/amsr.2022.360309.1428.

Heidari, A. (2023). Meta-Analysis of the Effect of Conservation tillage on irrigated wheat yield in Iran. Jornal of Researches in Mechanics of Agricultural. 11(4),105-115.(InPersian). http://doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13885.589.

Heidari, A. (2025). Meta-analysis of the effect of subsoiling on the yield of wheat, sugar beet, corn and cotton in Iran. Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery.14(2): 1-16. (In Persian). https://doi.org/10.22034/JRMAM.2025.14975.728.

Heidari, A., Bahramloo, R., and Bakhtiyari, M. R. (2022). *Meta-analysis of the effect of conservation tillage on potato yield*. Journal of Agricultural Mechanization. 7 (2), 19–30. (In Persian). https://doi.org/ 10.22034/JAM.2022.15716.

Heidari, A., Haji Agha Alizadeh, H., Yazdanpanah., A. R., and Amiri Parian, J. (2017). *The effect of different tillage methods and fertilizer application on soil physical properties and c orn yield.* Journal of Water and Soil Science. 20(78):103-112. (In Persian). http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jstnar.20.78.103.

Higgins, J. P., and Green, S. (2011). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. John Wiley & Sons, 4,570.

Hilshey, B., Bench, C., and Tessieri, L. (2020). *A practical guide to no-till and cover crops in the Mid-tlantic.* https://projects.sare.org/wp-content/uploads/No-till-and-Cover-Crop-Implimenation-Third-Edition-online.pdf

Khaliliaqdam, N., Hasani, R., and Mir-Mahmoodian, T. (2018). *Meta-analysis of some effective factors on wheat production in Iran. Journal of Agricultural Crops Production,* 20(1): 191-204. (In Persian). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60475.

Knowler, D., and Bradshaw, B. 2007. *Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research.* Food Policy, 32:25–48. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.01.003.

Mohammad Ghazinejad, M., Monjezi, N., Rahnama Ghahfarokhi, A.,& Sheikhdavoodi, M. J.(2022). Effect of tillage method and wheat residues on physical productivity of water and corn yield in Dezful city. Journal of Sustainable Agricultural and Production Science. 32(1): 17-33. (In Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.43900.2604.

Mohammadi, K. h., Nabi Allahi, K., Aghaalikhani, M., and Khoramali, F. (2009). *Study on the effect of different tillage methods on the soil physical properties, yield and yield components of rainfed wheat.* Journal of Plant Production, 16(4): 77-91.

(In Persian). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23222050.1388.16.4.5.6.

Mohseni, M., and Haddadi, M. H. (2016). *Evaluation of different tillage systems and plant densities effects on silage corn yield after wheat harvesting.* Journal of Research Achievement for Improvement Crop Production. 2(2): 1-20. (In Persian). https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11473.

Nael, M., Salehi, S.S., Hamzei, J., and Zandi Baghche-Maryam, M. (2023). *Three-year effects of conservation tillage and cover crop on selected soil quality indicators and corn yield components*. Journal of Water and Soil. 36(6):773-785. https://doi.org/10.22067/jsw.2022.78321.1195.

Nisi, A., Parsaeian, M., Gholami, A., Baradaran Firooz-Abadi, M., and Hamid Abbasdokht, H. (2017). *The effect of tillage management, salicylic acid and mycorrhizal fungi on soil respiration, and some growth characteristics of maize*. Iranian Journal of Field Crop Science.48(3):889-900. https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.239089.654362.

Noble, J. H. (2006). *Meta-analysis: Methods, strengths, weaknesses, and political uses*. Journal of Laboratory and Clinical Medicine,147(1): 7-20. https://doi.org/10.1016/j.lab.2005.08.006.

Nunes, M. R, Karlen, D. L., and Moorman, T. B. (2020). *Tillage intensity effects on soil structure indicators - A US meta-analysis. Sustainability*, 12(5): 2071. https://doi.org/10.3390/su12052071.

Nunes, M. R, Karlen, D. L., Veum, K. S., Moorman, T. B., and Cambardella, C. A. (2020). *Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis*. Geoderma.369,114335. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114335.

Pittelkow, C. M., Linquist, B. A., Lundy, M. E., Liang, X., Van Groenigen, K. J., Lee, J., and Van Kessel, C. (2015). *When does no-till yield more? A global meta-analysis*. Field crops research,183, 156-168. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020.

Ried, K. (2006). *Interpreting and understanding meta-analysis graphs: A practical guide*. Australian family physician, 35(8).

Rothstein, H., Sutton, R., Alexander J., and Borenstein, M., (2005). *Publication Bias in Meta-Analysis: Prevention, Assessment and Adjustments*. John Wiley and Sons Ltd.

Scopel, E., Silva, F.A.M.D., Corbeels, M., Affholder, F., and 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.

Shahraki, F. A. (2009). *Effects of tillage methods and wheat residue management on corn yield and some soil properties*. Final report. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)

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. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.008.

Von Braun, J., Byerlee, D., Chartres, C., Lumpkin, T., Olembo, N., and Waage, J. 2010. *A draft strategy and results framework for the CGIAR*. 20 March 2010. CGIAR, the World Bank, Washington D.C.

Wang, Y., Zhang, Y., Zhou, S., and 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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.202.

Zeidali, E., Moradi, M., & Fathi, A. (2022). *Quantitative and qualitative response of corn yield as influenced by tillage methods and nitrogen consumption*. Journal of Applied Field Crops Research. 35(2):85-105. https://doi.org/10.22092/aj.2023.354173.1542.