

Original Article



Meta-Analysis of the Effect of Biological and Organic Fertilizers on the Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) and Cumin (*Cuminum cyminum* L.)

Received: 2024.09.14

Accepted: 2024.10.23

Alireza Shahmohammadi,^{1*}  Abdulmajid Mahdavi Damghani,¹ Mahnaz Salatin,² Haniyeh Rashid Rostami³

¹ Ecological Agriculture
Department, Environmental
Sciences Research Institute,
Shahid Beheshti University,
Tehran, Iran

² Research Department
Manager of Agriculture and
Animal husbandry Holding
of Etka Organization,
Tehran, Iran

³ Department of
Agrometeorology, Faculty
of Agriculture, Ferdowsi
University, Mashhad, Iran

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Sustainable and organic agriculture is becoming an alternative production approach with an emphasis on ecological processes along with guaranteeing human health and the environment. However, there are concerns about the performance of sustainable and organic agricultural production and meeting the demand of a growing population. The purpose of this research was to analyze the statistical analysis of independent experiments of the studies of medicinal plants with a consolidated and quantitative review of the studies and the effect of different inputs on the seed yield of Black Seed plants (*Nigella sativa* L.) and Cumin (*Cuminum cyminum* L.).

Material and methods: Meta-analysis examines and analyzes existing research findings in a specific field. This method allows the researcher to make a more detailed comparison and check by using the information obtained from the previous research and gain a deeper understanding about the phenomena. Based on the Roses method and the selection of related studies, a total of 74 articles were selected, of which 42 were related to black seed and 32 were related to cumin. In relation to each group, Hedges effect size, Bias (using Begg and Mazumdar rank correlation) and Kendall's tau coefficient were calculated and funnel plots were drawn using Comprehensive Meta-Analysis software. In order to fit and modify funnel charts, dual and Tudy methods were also used.

Results and Discussion: According to the results, the effect size of hedges had the highest effect on black seed yield for mycorrhiza, vermicompost, animal manure, humic acid and biofertilizers (bacteria base) respectively. On the other hand, for cumin, the size of the Hedges effect had an equal effect on the yield of cumin seeds for the manure, and humic acid groups, respectively, with a slight difference. Also, vermicompost treatment showed a greater effect size than biofertilizer. The results of Begg and Mazumdar's correlation test for all fertilizer treatments were higher than the determined coefficients, which indicates the homogeneity of the meta-analysis studies. Therefore, it is recommended to use these fertilizers in black seed and cumin medicinal plants with 95% confidence. The classic fail-safe N test was also a suitable and significant value in all treatments; which showed the high precision and accuracy of the studies and the results obtained in this research. Evaluation and adjustment of publication bias with Duval and Tweedie's Fit method showed that 5 studies are needed in order to eliminate partial bias error in the meta-analysis of biofertilizer groups in black seed plant. Also, 1 study should be added to the study of the effect of humic acid for cumin and 1 study to the study of the effect of humic acid for each of black seed and cumin plants.

Conclusion: The results of this study emphasize the positive effect of biological and animal fertilizer treatments on the growth and performance of black seed and cumin medicinal plants based on available scientific evidence. Therefore, it can be used in organic cultivation systems as permitted materials and also in combination with chemical fertilizers in common systems and good agricultural practice. In general, the results of the research showed that sustainable and organic agricultural ecosystems have adequate production capacity despite the yield gap compared to conventional agricultural ecosystems, and the yield gap between conventional and sustainable systems can be reduced with integrated management.

Keywords: Sustainable agriculture, Organic, Effect size, Biofertilizers, Funnel plot

How to cite this article:
Shahmohammadi, A.,
Mahdavi Damghani, A.,
Salatin, M. and Rashid
Rostami, H., 2025. Meta-
Analysis of the Effect of
Biological and Organic
Fertilizers on the Yield of
Black Seed (*Nigella sativa*
L.) and Cumin (*Cuminum*
cyminum L.) Adv. Environ.
Sci. 23(3): 687-704.

* Corresponding Author Email Address: a_shahmohammadi@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1438



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

فرا تحلیل اثر کودهای زیستی و آلی بر عملکرد دانه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۲

علیرضا شاه محمدی^{۱*}، عبدالمجید مهدوی دامغانی^۱، مهناز سلاطین^۲، هانیه رشید رستمی^۳

^۱ گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ مرکز تحقیقات هلدینگ کشاورزی و دامپروری سازمان اتکا، تهران، ایران

^۳ گروه هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

چکیده مبسوط

سابقه و هدف: کشاورزی پایدار و ارگانیک در حال تبدیل شدن به رویکرد تولیدی جایگزین با تأکید بر فرایندهای اکولوژیکی همراه با تضمین سلامت انسان و محیط زیست است. باین حال، نگرانی هایی در مورد عملکرد تولید کشاورزی پایدار و ارگانیک و پاسخگویی به تقاضای جمعیت در حال رشد وجود دارد. هدف از این مطالعه تجزیه و تحلیل آماری آزمایش های مستقل مطالعات گیاهان دارویی با بررسی تلفیقی و کمی مطالعات و تأثیر نهاده های مختلف بر عملکرد دانه گیاهان سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) در ۲۰ سال گذشته با روش فراتحلیل بود.

مواد و روش ها: فراتحلیل به بررسی و تحلیل یافته های پژوهشی موجود در یک حوزه خاص می پردازد. این روش به پژوهشگر این امکان را می دهد که با بهره گیری از اطلاعات به دست آمده از تحقیقات پیشین، مقایسه و بررسی دقیق تری انجام دهد و در مورد پدیده ها، درک عمیق تری پیدا کند. بر اساس روش Roses و انتخاب مطالعات مرتبط مجموعاً ۷۴ مقاله انتخاب شد که ۴۲ مقاله مربوط به سیاهدانه و ۳۲ مقاله مربوط به زیره سبز بود. در رابطه با هر گروه اندازه اثر هجس، خطای انتشار (با استفاده از همبستگی بگ و مازومدار) و ضریب همبستگی تای کندال محاسبه و نمودارهای قیفی با استفاده از نرم افزار Comprehensive Meta-Analysis ترسیم شدند. به منظور برازش و اصلاح نمودارهای قیفی نیز از روش دوال و تویدی استفاده شد.

نتایج و بحث: بر اساس نتایج، اندازه اثر هجس به ترتیب برای گروه های قارچ مایکوریزا، ورمی کمپوست، کود دامی، هیومیک اسید و کودهای زیستی (پایه باکتری) بالاترین تأثیر را بر عملکرد دانه سیاهدانه داشتند. در مقابل برای زیره سبز اندازه اثر هجس به ترتیب برای گروه های کود دامی و هیومیک اسید با اختلاف اندکی تأثیر برابری بر عملکرد دانه زیره سبز داشتند. همچنین تیمار ورمی کمپوست مقدار اندازه اثر بیشتری نسبت به کود زیستی نشان داد. نتایج آزمون همبستگی بگ و مازومدار برای تمام تیمارهای کودی بالاتر از ضرایب تعیین شده بود که نشان دهنده همگن بودن مطالعات فراتحلیل است. بنابراین با اطمینان ۹۵ درصد مصرف این کودها در گیاهان دارویی سیاهدانه و زیره سبز توصیه می شود. آزمون N ایمن از خطای کلاسیک نیز در تمام تیمارها مقدار مناسب و قابل توجهی بود؛ که نشان دهنده دقت و صحت بالای مطالعات و نتایج به دست آمده در این تحقیق بود. ارزیابی و تعدیل سوگیری انتشار با روش برازش دوال و تویدی نشان داد ۵ مطالعه به منظور تقارن کامل نمودار قیفی در فراتحلیل گروه های کودهای زیستی در گیاه سیاهدانه نیاز است. همچنین برای باید ۱ مطالعه به مطالعات اثر هیومیک اسید برای گیاه زیره سبز و ۱ مطالعه به مطالعات اثر هیومیک اسید برای هر یک از گیاهان سیاهدانه و زیره اضافه گردد.

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه به تأثیر مثبت تیمارهای کودی زیستی و دامی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی سیاهدانه و زیره سبز بر اساس شواهد علمی موجود تأکید دارد؛ بنابراین می توان در سیستم های کشت ارگانیک به عنوان مواد مجاز و همچنین به صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی در سیستم های رایج و عملیات خوب کشاورزی استفاده نمود. به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد اکوسیستم های کشاورزی پایدار و ارگانیک توان تولید مناسب را علیرغم شکاف عملکردی نسبت به اکوسیستم های کشاورزی رایج دارا هستند و می توان با مدیریت یکپارچه شکاف عملکرد بین سیستم های رایج و پایدار را کاهش داد.

واژه های کلیدی: کشاورزی پایدار، ارگانیک، اندازه اثر، کودهای زیستی، نمودار قیفی

استناد به این مقاله: شاه محمدی، ع.، ع. مهدوی دامغانی، م. سلاطین و ه. رشید رستمی. ۱۴۰۴. فراتحلیل اثر کودهای زیستی و آلی بر عملکرد دانه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.). فصلنامه علوم محیطی نوین. ۷۰۴-۶۸۷: (۳) ۲۳.

* Corresponding Author Email Address: a_shahmohammadi@sbu.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1438



مقدمه

به عنوان راه حلی پایدار برای پاسخگویی به نیازهای بشر ایجاد کرده است (Seufert *et al.*, 2012). بنابراین بررسی و مطالعه ثبات عملکرد و میزان تولید محصول در نظام‌های مختلف کشت مستلزم به کارگیری راهکارها و روش‌های تجزیه و تحلیل آماری جامع است.

فرا تحلیل روشی برای مقایسه آماری نتایج حاصل از مطالعات مستقل از هم در خصوص یک موضوع است. در واقع فرا تحلیل نوعی پژوهش درباره پژوهش‌های دیگر است و به کمک آن می‌توان پژوهش‌های متعددی را که در مورد یک موضوع خاص انجام شده مجدداً مورد مطالعه قرار داده و به صورت آماری با یکدیگر مقایسه کرد. این روش در بسیاری از مطالعات علوم انسانی، پزشکی و کشاورزی کاربرد دارد. (Valkama *et al.*, 2009) با بررسی ۴۰۰ مطالعه انجام شده طی ۸۰ سال (۱۹۲۷-۲۰۰۷) فرا تحلیلی بر روی تأثیر مقادیر مختلف کود فسفر بر عملکرد گیاهان زراعی انجام دادند. نتایج این فرا تحلیل حاکی از آن بود که کاربرد کود فسفر در اغلب گیاهان زراعی سبب افزایش عملکرد تا حدود ۱۱ درصد می‌شود. تعیین مداوم میانگین عملکرد به دست آمده با کودهای آلی در مقایسه با کودهای مصنوعی برای ارزیابی پتانسیل آن‌ها در کشاورزی تجاری و ارگانیک ضروری است (Curadelli *et al.*, 2023). (Badgley *et al.*, 2007) در یک فرا تحلیل نشان دادند که کشاورزی ارگانیک ۳۳ درصد متوسط بازده محصول بیشتری نسبت به کشاورزی معمولی در سطح جهانی دارد؛ اما در کشورهای توسعه یافته، عملکرد محصولات ارگانیک ۹ درصد کمتر از عملکرد محصولات معمولی بود. در حالی که در کشورهای در حال توسعه، عملکردهای ارگانیک باعث افزایش ۷۴ درصدی محصول شد. سه فرا تحلیل علمی از مقایسه عملکرد محصولات ارگانیک و معمولی در چند سال گذشته منتشر شده است (de Ponti *et al.*, 2012; Seufert *et al.*, 2012; Ponisio *et al.*, 2015). نتایج این تحلیل‌ها نشان داد در تمام

روند افزایش جمعیت جهان تا قبل از سال ۱۶۵۰ آهسته بوده و بعد از آن شتاب بیشتری به خود گرفته است. به طوری که پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر برسد (Ferreira *et al.*, 2024). با افزایش جمعیت، استفاده از کود و سموم شیمیایی به منظور افزایش تولید و رفع نیاز بشر شتاب بیشتری گرفت. به طوری که در سال ۲۰۲۲ استفاده از کودهای شیمیایی در جهان و ایران معادل ۱۸۵ میلیون تن و ۸۰۲ هزار تن برآورد شد (Amirhoseini *et al.*, 2021; FAO, 2024). اما اثر مصرف نهاده‌های شیمیایی تنها محدود به افزایش تولید نگردید و در دهه‌های اخیر اثرات مخربی بر سلامت انسان و محیط زیست وارد کرده است. بر اساس نظر Sharma and Singhvi (2017) جایگزینی روش‌های کشاورزی مرسوم فعلی با کشاورزی ارگانیک و اجتناب از کاربرد مواد شیمیایی یک درمان مناسب برای مسائل انسانی و محیطی است. به طوری که مدل جدید «کیفیت بهتر و ایمن‌تر» جایگزین مدل موجود «بیشتر و ارزان‌تر» شده است (Khodakivska *et al.*, 2020). همچنین بر اساس نظرسنجی‌های انجام شده در سال ۲۰۱۹ توسط موسسه تحقیقات کشاورزی ارگانیک^۱ و سازمان جهانی جنبش‌های کشاورزی زیستی^۲، نگرش ارگانیک در سال‌های اخیر به طور چشمگیری مورد استقبال قرار گرفته است (Reganold and Wachter, 2016; Seufert *et al.*, 2017). از سویی دیگر مطالعات مرتبط با کشاورزی ارگانیک و مقایسه آن با کشاورزی معمولی از جنبه ثبات عملکردی، اثرات محیط زیستی، کیفیت محصول و غیره رو به رشد است. به طوری که برخی محققان آن را الگوی کشاورزی پایدار برای تولید غذا و برخی دیگر ناکارآمد و برخاسته از ایدئولوژی می‌دانند (Connor and Mínguez, 2012; Lotter, 2015; Reganold and Wachter, 2016; Mercati, 2016). شکاف عملکردی که تفاوت ساختاری بین عملکرد سیستم‌های کشاورزی مختلف را ایجاد کرده است؛ نگرانی‌هایی را در مورد پتانسیل کشاورزی ارگانیک

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، مطالعات انجام‌شده بر روی تأثیر مقادیر مختلف کودهای زیستی و آلی و مقایسه این نوع کودها بر عملکرد دانه گیاهان دارویی سیاهدانه و زیره سبز طی ۲۰ سال گذشته با استفاده از پایگاه‌های علمی معتبر از جمله Springer, Wiley, Web of Science, Scopus، سیولیکا، ایرانداک و پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی بر اساس روش Roses^۳ جمع‌آوری شدند. این روش شامل مراحل جستجو، غربالگری و آماده‌سازی مطالعات برای ورود به فرآیند فراتحلیل است. در حقیقت به‌وسیله آن مسیر غربالگری مطالعات به‌صورت ساختارمند و روشن مشخص می‌شود (Delbaz et al., 2021). جستجو بر اساس نام گونه دارویی موردنظر، کودهای زیستی (ازتوباکتر، آزوسپریلیوم، باسیلیوس)، ورمی کمپوست، کود دامی، مایکوریزا و هیومیک اسید انجام شد. این اطلاعات شامل نوع گیاه دارویی، نوع تیمارهای آزمایشی، نوع و مقادیر کودهای زیستی و آلی، جدول تجزیه واریانس و جدول مقایسه میانگین تیمارها نتایج پژوهش بود که در ادامه جهت اجرای فراتحلیل مورد استفاده قرار گرفت. در مجموع ۷۴ مقاله شرایط ورود به فراتحلیل را دارا بودند. از ۷۴ مورد مطالعه انتخاب‌شده ۴۲ مقاله مربوط به سیاهدانه، ۳۲ مقاله مربوط به زیره سبز بود. پس‌از آن، مقالات بر اساس روش کوپر و هجس (Hedges and Cooper, 1994) شناسایی و کدگذاری شدند و اطلاعات و داده‌های موردنیاز مربوط به عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز شامل نوع طرح، تعداد تکرار، میانگین مربعات تیمار و شاهد، انحراف معیار تیمار و شاهد استخراج گردید. تحلیل آماری در مطالعات فراتحلیل از دو بخش معنی‌داری و محاسبه اندازه اثر تشکیل می‌شود. معنی‌داری آماری نشان می‌دهد که ارتباط و اختلاف مشاهده‌شده بین گروه‌های مطالعه با شانس و تصادف همراه بوده است (فرضیه صفر، H_0 و فرضیه مخالف، H_1)، که میزان این احتمال توسط P-value محاسبه می‌شود.

محصولات زراعی، میانگین شکاف عملکرد کشاورزی ارگانیک بین ۱۹-۲۵ درصد است. گیاهان دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) از منظر استفاده از دانه اهمیت ویژه‌ای دارند. حدود ۹۱ درصد زیره جهان از چهار کشور هند، سوریه، ترکیه و امارات متحده عربی تولید می‌شود. هند حدود ۷۰ درصد زیره جهان را تولید می‌کند. در سال ۲۰۱۸، هند حدود ۱۸۷۰۰۰ تن زیره به ارزش خالص ۴۳۸ میلیون دلار آمریکا صادر کرد (Rahman et al., 2020). اندازه بازار روغن سیاهدانه در سال ۲۰۱۸ بیش از ۱۵ میلیون دلار بوده است (Haque et al., 2022). ایران با ارزش صادرات گیاهان دارویی حدود ۵۷۰ میلیون دلار در سال از جایگاه مناسبی در تجارت جهانی گیاهان دارویی برخوردار نیست (Sefidkon, 2021). بنابراین بررسی سیستماتیک یا فراتحلیل به‌ویژه در کمی‌سازی پتانسیل تیمارهای زیستی و آلی در تولید و عملکرد مؤثر است. افزایش شناخت و دانش در مورد بهترین عملکرد تیمارهای زیستی و آلی گیاهان دارویی در پذیرش کودهای زیستی و آلی مؤثر خواهد بود. به‌طوری‌که پیش‌بینی‌شده است سهم بازار کودهای زیستی در سال ۲۰۱۶ از ۱۱۰۶ میلیون دلار با نرخ ۱۴/۲ درصد تا پایان ۲۰۲۴ به ۳۱۲۴ میلیون دلار برسد (Lamichhane et al., 2020). این به‌نوبه خود باعث توجه و جایگزینی روش‌های تولید ارگانیک و کاهش خطرات زیست‌محیطی و سلامت می‌شود (Lamichhane et al., 2022). بر این اساس، توجه به جنبه‌های کمی و کیفی گیاهان دارویی و تعیین خلأها و مدیریت پایدار بوم نظام‌ها بر مبنای کودهای زیستی و آلی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین راهبردهای زراعی مؤثر بر کمیت و کیفیت تولید گیاهان دارویی ضروری است. بنابراین سؤال این است که بینش‌های متضاد چگونه باهم مقایسه می‌شوند؟ از این‌رو با استفاده از رویکرد فراتحلیل به رابطه اثر مصرف کودهای زیستی-آلی و عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز پرداخته شد.

فرضیه صفر در واقع بیانگر اندازه اثر صفر است و هرگاه فرضیه صفر رد شود یعنی مقدار اندازه اثر در جامعه غیر صفر است. بنابراین، اندازه اثر نشان‌دهنده میزان یا درجه حضور پدیده در جامعه است و هر چه اندازه اثر بزرگ‌تر باشد، درجه حضور پدیده هم بیشتر است (Thompson and Snyder, 1997). بنابراین، از طریق آزمون معنی‌داری می‌توان دریافت که آیا نتایج به علت شانس رخ داده است یا خیر و از طریق محاسبه اندازه اثر درمی‌یابیم که متغیر مستقل تا چه اندازه بر متغیر وابسته اثر گذاشته است (Ghorbanizadeh and Behfar, 2014). از آنجاکه آزمون‌های آماری نمی‌توانند قدرت یا شدت روابط بین متغیرها را نشان دهند، لذا در این آزمون‌ها محاسبه اندازه اثر که در حقیقت تفاوت بین شاخص مورد مطالعه در تیمار شاهد و آزمایشی را نشان می‌دهد، ضروری به نظر می‌رسد. مهم‌ترین شاخص محاسبه اندازه اثر، شاخص گروه d است و عمدتاً برای تعیین تفاوت استاندارد بین میانگین‌ها (تفاوت‌های گروهی) محاسبه می‌شود. این شاخص برای تعیین اندازه اثر هجس^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از موضوعات مورد توجه در فراتحلیل، ارزیابی سوگیری انتشار است. منظور از سوگیری انتشار این است؛ که یک فراتحلیل شامل تمام مطالعات انجام‌شده در مورد موضوع مورد بررسی نیست. به بیانی دیگر ممکن است برخی از مطالعات به دلایل مختلف منتشر نشده باشند یا حداقل در مجلات نمایه‌سازی نشده منتشر شده باشند (Michael and Ghebremichael, 2023). زمانی که سوگیری انتشار وجود دارد، نتایج نهایی فراتحلیل تحت تأثیر قرار گرفته و برآوردهای نهایی حاصل از آن دارای خطا خواهد بود. پس لازم است سوگیری انتشار در گام‌های اولیه فراتحلیل شناسایی و تصحیح شود تا اعتبار نتایج افزایش یابد (Macaskill et al., 2001). برای تشخیص سوگیری انتشار از نمودار کیفی^۵، روش همبستگی رتبه‌ای بگ و مازومدار^۶ و آزمون N خطای ایمن کلاسیک استفاده شد. از لحاظ تفسیری در نمودارهای کیفی شکل، مطالعاتی که

خطای استاندارد پایین دارند دارای سوگیری انتشار نیستند. اما هر چه مطالعات به سمت پایین کیف کشیده می‌شوند، خطای استاندارد آن‌ها بالا می‌رود و سوگیری انتشارشان افزایش می‌یابد (Crowther et al., 2010). بنابراین، در صورت متقارن بودن نمودار کیفی می‌توان خطای انتشار را رد کرد؛ اما برای قضاوت صریح باید از آزمون آماری استفاده نمود (Michael and Ghebremichael, 2023). برای بررسی میزان و چگونگی خطای انتشار (ناشی از انتشار نتایج معنی‌دار مثبت)، از آزمون همبستگی رتبه‌ای بگ و مازومدار استفاده شد. به بیان دیگر، این آزمون وابستگی بین اندازه اثر و واریانس نمونه را بررسی می‌کند. آماره Z دارای توزیع نرمال است و معمولاً مقادیر معنی‌داری دوطرفه آزمون گزارش می‌شود. سطح معنی‌داری درواقع، مقدار آزمون آماری احتمالی است که سازگاری داده‌های نمونه را با فرض صفر تعیین می‌کند و بر اساس آن، فرض صفر رد یا تأیید می‌شود (Samawi, 2021). همچنین از برازش دوال و تیودی^۷ برای اصلاح نمودارهای کیفی دارای سوگیری جزئی و یا عدم تقارن استفاده شد (Borenstein et al., 2019). برای محاسبه اندازه اثر گروه‌های d و r ، شاخص اندازه اثر هجس و خطای انتشار و ترسیم نمودارهای کیفی از نرم‌افزار-Meta-Comprehensive Analysis استفاده شد.

آنالیز آماری

شرح کامل روش محاسبات آماری فراتحلیل توسط Hedges et al., (1999) ارائه شده است. اولین مرحله در اجرای فراتحلیل محاسبه اختلاف استاندارد میانگین تیمار شاهد و میانگین تیمارهای آزمایشی در هر سطح تغذیه‌ای است که به آن اندازه اثر گفته می‌شود. بنابراین برای هر یک از ۷۴ آزمایشی که در این فراتحلیل موردبررسی قرار گرفته‌اند. شاخص‌های مبتنی بر تفاوت‌های گروهی (d) از رابطه کوهن (Cohen's method standard deviation) محاسبه شد (معادله ۱). در این مطالعه تیمارهای کودی به‌عنوان تیمار و عدم کاربرد کود

به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند.

$$d = \frac{M_1 - M_2}{\delta_{pooled}} \quad (1)$$

که در آن M_1 و M_2 به ترتیب میانگین تیمارهای شاهد و کودی، δ_{pooled} ریشه دوم واریانس ادغام شده دو گروه را نشان می دهد. در همین رابطه به منظور محاسبه واریانس ادغام شده دو گروه از معادله (۲) استفاده شد.

$$\delta_{pooled} = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2}{2}} \quad (2)$$

که در آن ها δ_1^2 و δ_2^2 به ترتیب واریانس تیمار و واریانس شاهد است. برای بررسی شاخص بزرگی اندازه اثر هجس نیز از معادله ۳ استفاده شد.

$$g = \frac{M_1 - M_2}{\delta_{pooled}} \quad (3)$$

در این معادله، g شاخص تفاوت میانگین های گروهی هجس، M_1 میانگین تیمار، M_2 میانگین شاهد و δ_{pooled} واریانس ادغام شده دو گروه است.

نتایج و بحث

بر اساس مقالات انتخابی و بر اساس شاخص های مورد نظر، ۲۶ مطالعه در زمینه اثر کودهای زیستی، ۱۶ مطالعه در زمینه کود دامی، ۱۰ مطالعه مرتبط با ورمی کمپوست، ۱۲ مطالعه در رابطه با اسید هیومیک و ۱۰ مطالعه مرتبط با قارچ میکوریزا بود. از این میان، ۳۲ و ۴۲ مطالعه به ترتیب به زیره سبز و سیاهدانه اختصاص داشت. نتایج اندازه اثر کاربرد انواع کودهای زیستی بر عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز به صورت موردی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- اندازه اثر کودهای زیستی بر عملکرد کمی دانه گیاه سیاهدانه و زیره سبز با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

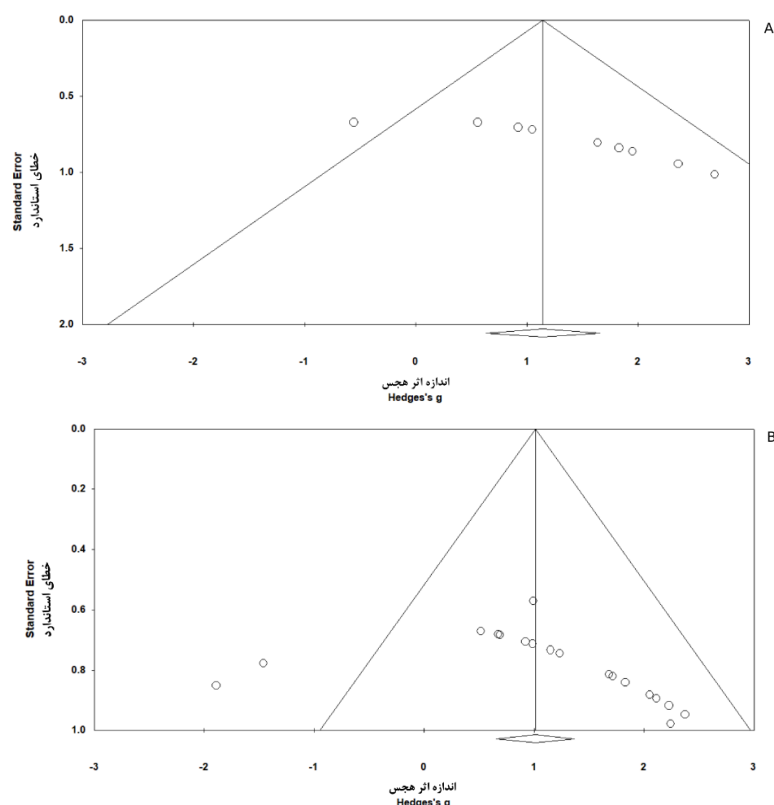
Table 1. The effect size of biofertilizers on the quantitative yield of black seed and cumin with a 95% confidence interval

BIOFERTILIZERS کود زیستی	NUMBER OF STUDIES تعداد مطالعه	HEDGES EFFECT SIZE اندازه اثر هجس	P- VALUE مقدار P- VALUE	STANDARD ERROR خطای استاندارد
AZOTOBACTER ON SEED YIELD OF BLACK SEED ازتوباکتر بر عملکرد دانه سیاهدانه	9	0.791	0.001	0.238
AZOTOBACTER ON SEED YIELD OF CUMIN ازتوباکتر بر عملکرد دانه زیره سبز	3	1.019	0.015	0.420
AZOSPRILLIUM AND AZOTOBACTER ON SEED YIELD OF BLACK SEED آزوسپرلیوم و ازتوباکتر بر عملکرد دانه سیاهدانه	4	1.935	0.000	0.437
AZOSPRILLIUM AND AZOTOBACTER ON SEED YIELD OF CUMIN آزوسپرلیوم و ازتوباکتر بر عملکرد دانه زیره سبز	2	0.435	0.437	0.561
AZOSPRILLIUM ON SEED YIELD OF BLACK SEED آزوسپرلیوم بر عملکرد دانه سیاهدانه	2	0.415	0.375	0.467
AZOSPRILLIUM ON SEED YIELD OF CUMIN آزوسپرلیوم بر عملکرد دانه زیره سبز	2	1.623	0.001	0.458
BARVAR 1 ON SEED YIELD OF BLACK SEED بارور ۱ بر عملکرد دانه سیاهدانه	2	1.596	0.005	0.572
BARVAR 1 ON SEED YIELD OF CUMIN بارور ۱ بر عملکرد دانه زیره سبز	2	2.365	0.012	0.945

بر اساس نتایج جدول ۱ کاربرد کودهای زیستی ازتوباکتر در گیاه سیاهدانه با ۹ مطالعه و زیره سبز با ۳ مطالعه با اطمینان ۹۵ درصد سبب افزایش عملکرد دانه شده است. میانگین اندازه اثر به دست آمده بر روی گیاه سیاهدانه و زیره سبز به ترتیب معادل ($g=0/791$) و ($g=1/019$) به دست آمد. این امر نشان داد کود زیستی ازتوباکتر تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه زیره سبز نسبت به گیاه سیاهدانه دارد. میانگین اندازه اثر کاربرد کودهای زیستی حاوی آزوسپریلیوم و ازتوباکتر در گیاه سیاهدانه با ۴ مطالعه و زیره سبز با ۲ مطالعه به ترتیب معادل ($g=1/935$) و ($g=0/435$) به دست آمد. بنابراین کاربرد تلفیقی کودهای زیستی آزوسپریلیوم و ازتوباکتر اثر بیشتری بر عملکرد دانه سیاهدانه نشان داد. در مقابل میانگین اندازه اثر استفاده از کود زیستی آزوسپریلیوم در گیاه زیره سبز با دو مطالعه معادل ($g=1/623$) به دست آمد که در مقایسه با گیاه سیاهدانه با میانگین اندازه اثر ($g=0/415$) تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه زیره سبز داشت. میانگین اندازه اثر تیمارهای بارور ۱ در گیاه سیاهدانه و زیره سبز نیز به ترتیب معادل ($g=1/596$)، و ($g=2/365$) به دست آمد. به طور کلی کاربرد کودهای زیستی حاوی ازتوباکتر، آزوسپریلیوم، و بارور ۱ نقش مؤثری در افزایش عملکرد دانه گیاهان سیاهدانه و زیره سبز دارد. (Herrmann et al. (2022 با بررسی ۱۸۶ مطالعه بر روی تأثیر کودهای زیستی بر عملکرد نشان داد که کودهای زیستی نه تنها عملکرد محصول را تا حدود ۳۰ درصد افزایش می دهد، بلکه کیفیت محصول را بهبود می بخشد. همچنین نتایج نشان داد کودهای زیستی برای ارتقای کیفیت و افزایش عملکرد گیاهان دارویی و حبوبات مناسب تر هستند. سوگیری انتشار یک مشکل جدی در بررسی های سیستماتیک و فراتحلیل

است؛ که می تواند بر اعتبار و تعمیم نتیجه گیری تأثیر بگذارد. در حال حاضر، رویکردهای مقابله با سوگیری انتشار را می توان به دو دسته مدل های انتخابی بر اساس وزن دهی و روش های مبتنی بر نمودار کیفی بیان کرد (Lin and Chu, 2018).

نمودار کیفی مطالعه که نشان دهنده خطای استاندارد محور عمودی به عنوان تابعی از اندازه اثر بر روی محور افقی است. مطالعات بزرگ در بالای نمودار ظاهر می شوند و تمایل دارند نزدیک به میانگین اندازه اثر قرار بگیرند. مطالعات کوچک تر در پایین نمودار ظاهر می شوند و در طیفی از مقادیر پراکنده خواهند شد. در غیاب سوگیری انتشار، انتظار داریم که مطالعات به طور متقارن در مورد اندازه اثر ترکیبی توزیع شوند. در مقابل، در حضور سوگیری، پایین نمودار تمرکز بالاتری از مطالعات را در یک طرف میانگین نسبت به طرف دیگر نشان دهد. این نشان دهنده این واقعیت است که مطالعات کوچک تر در صورتی که اثرات بزرگ تر از میانگین داشته باشند، احتمال بیشتری برای انتشار دارند. بنابراین اثر مصرف کود زیستی بر عملکرد دانه زیره سبز (شکل ۱a) نسبتاً متقارن بود؛ اما در گیاه سیاهدانه به دلیل انتشار مطالعات به سمت پایین خطای انتشار جزئی به سمت راست نمودار مشاهده گردید (شکل ۱b). اگر نمودار کیف به سمت راست اثر میانگین و تعداد نسبتاً کمی به سمت چپ مشاهده شوند این نگرانی وجود دارد که برخی مطالعات در تحلیل وارد نشده باشند. بنابراین در این بخش از مدل برازش دوال و تویدی به منظور تعیین مطالعات گمشده استفاده گردید. با برآورد روش دوال و تویدی مشخص گردید که باید ۵ مطالعه به مطالعات کود زیستی در گیاه سیاهدانه اضافه گردد تا تقارن کامل نمودار کیفی شکل بگیرد.



شکل ۱- نمودار قیفی عملکرد دانه زیره سبز (A) و سیاهدانه (B) تحت تأثیر کودهای زیستی
Fig. 1- Funnel plot of yield of cumin (A) and black seed (B) under the influence of biofertilizers ers

خاک) به طور متوسط ۶۶ درصد نسبت به عدم وجود مواد مغذی عملکرد سورگوم را افزایش داد. به طور اختصاصی عملکرد تحت تیمار کود شیمیایی ۴۷-۹۸ درصد عملکرد را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد و کود دامی ۴۳-۸۷ درصد عملکرد را افزایش دادند. بررسی ۴۷ مطالعه در رابطه اثرات کود دامی بر وزن خشک زعفران، کود دامی با فاصله اطمینان ۹۵ درصد بیشترین تأثیر را بر وزن خشک زعفران داشت. $(g=1/493)$ میانگین ۴۰ تا ۵۰ تن در هکتار کود گاوی، ۲۰ تا ۳۰ تن در هکتار کمپوست که در ترکیب با کود زیستی (نیتروکسین با باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن) بر عملکرد زعفران مؤثر بود (Mokhtari *et al.*, 2018). در همین راستا برخی محققان تأثیر مثبت کودهای دامی بر عملکرد دانه به منظور جایگزینی با کودهای شیمیایی را تأیید نموده‌اند (Fan *et al.*, 2021). بنابراین این امر نشان می‌دهد استفاده از کودهای حیوانی می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی در سلامت اکوسیستم و تولید گیاهان دارویی باشد.

بر اساس نتایج جدول ۲ و با اطمینان ۹۵ درصد کاربرد کودهای دامی در گیاهان سیاهدانه و زیره سبز سبب افزایش عملکرد دانه در هر دو گیاه شد. از ۱۶ مورد مطالعه اثر کاربرد کود گاوی بر عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز، ۸ مطالعه بر روی گیاه سیاهدانه با میانگین اندازه اثر $(g=1/76)$ بود و از ۸ مطالعه مرتبط با زیره سبز میانگین اندازه اثر $(g=1/67)$ به دست آمد. همچنین در ۸ مطالعه مرتبط با زیره سبز، بیشترین اندازه اثر در کاربرد ۱۵ و ۲۰ تن کود ترتیب معادل $(g=3/065)$ و $(g=2/713)$ به دست آمد. بیشترین اندازه اثر در مصرف ۲۰ و ۳۰ تن کود گاوی در مطالعات مرتبط با سیاهدانه به ترتیب معادل $(g=2/754)$ و $(g=2/608)$ در هکتار به دست آمد. به عنوان یک نتیجه کلی استفاده از ۱۰ تا ۳۰ تن کود گاوی اثرات مثبتی برافزایش عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز داشت. نتایج Tonitto *et al.* (2016) نشان داد بهبود عملکرد در همه سناریوها (کود نیتروژن، کود فسفر، تلفیق نیتروژن و فسفر، کود دامی، اصلاح کننده‌های

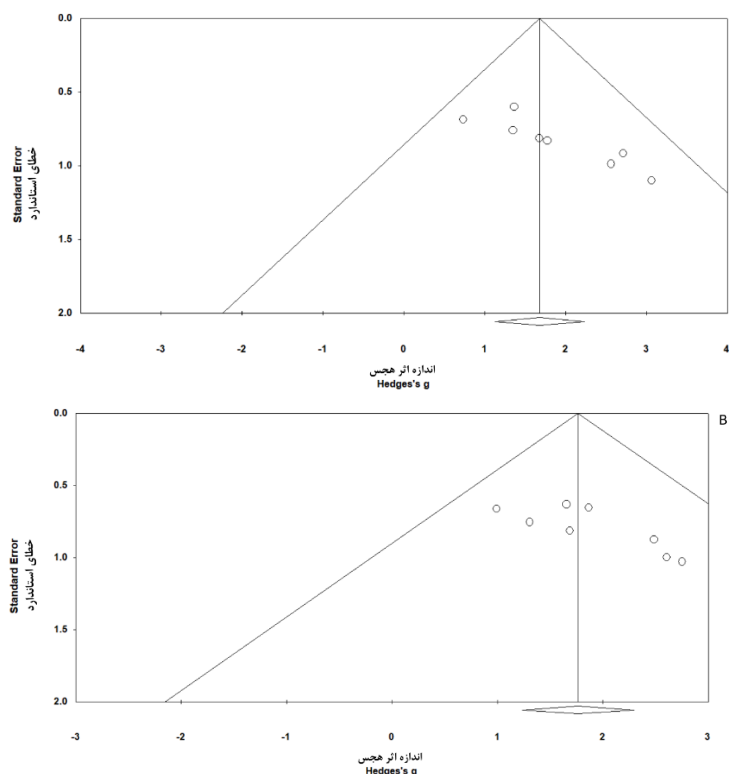
جدول ۲- اندازه اثر کود دامی بر عملکرد کمی دانه گیاه سیاهدانه و زیره سبز با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

Table 2. The size of the effect of animal manure on the quantitative yield of black seed and cumin with a confidence interval of 95%

Cow Manure (کود دامی (گاوی)	Number of Studies تعداد مطالعه	Hedges Effect Size اندازه اثر هجس	P- Value P-Value مقدار	Standard Error خطای استاندارد
Cow manure on seed yield of black seed کود گاوی بر عملکرد دانه سیاهدانه	8	1.76	0.000	0.271
Cow manure on seed yield of cumin کود گاوی بر عملکرد دانه زیره سبز	8	1.67	0.000	0.282

شیمیایی، کودهای دامی و زیستی است. در مطالعه Fan *et al.* (2023) بر روی ۱۲۴ مطالعه، کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی عملکرد گوجه‌فرنگی را ۳/۴۸ درصد افزایش دادند. از طرفی دیگر کودهای زیستی عملکرد گوجه‌فرنگی را تا ۱۵ درصد افزایش دادند. تقارن نسبتاً مناسب نقاط در نمودار کیفی و آزمون خطای N کلاسیک در گیاه زیره سبز (شکل ۲a) نشان‌دهنده اطمینان از عدم سوگیری در داده‌های مورد مطالعه است. همچنین پراکندگی نسبی نقاط در بالای نمودار گیاه سیاهدانه نشان‌دهنده بالا بودن دقت مطالعات است (شکل ۲b).

Khorramdel *et al.* (2022) با بررسی ۷ مطالعه در رابطه با اثر کود شیمیایی بر عملکرد و درصد اسانس سیاهدانه و ۵ مطالعه در رابطه با اثر کود زیستی بر عملکرد و درصد اسانس سیاهدانه نشان دادند اندازه اثر کود شیمیایی و کود زیستی بر افزایش عملکرد دانه و اسانس گیاه سیاهدانه معنی‌دار و مثبت است. که بیشترین اندازه اثر مرتبط با گروه کودی شیمیایی مشخص گردید. در همین رابطه نتایج ۷ مطالعه در رابطه با اثر کود شیمیایی، ۴ مطالعه در رابطه با کودهای زیستی و ۳ مطالعه در رابطه با کود دامی در گیاه زیره سبز نشان داد بیشترین اندازه اثر به ترتیب مربوط به کودهای



شکل ۲- نمودارهای کیفی عملکرد دانه زیره سبز (A) و سیاهدانه (B) تحت تأثیر کودهای دامی

Fig. 3- Funnel plot of cumin (A) and black seed (B) yield under the influence of animal fertilizers

جدول ۳- اندازه اثر ورمی کمپوست بر عملکرد کمی دانه گیاه سیاهدانه و زیره سبز با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

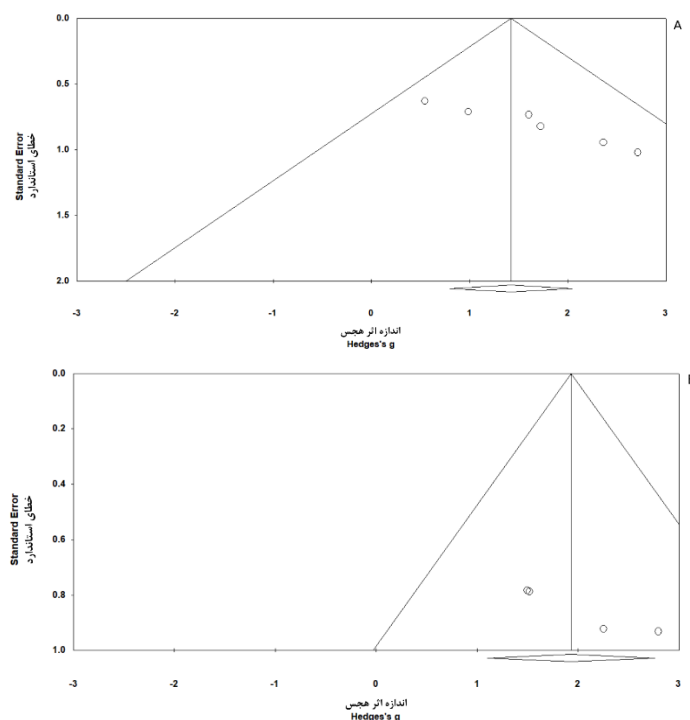
Table 3. The size of effect of vermicompost on the quantitative yield of black seed and cumin with a 95% confidence interval

VERMICOMPOST ورمی کمپوست	NUMBER OF STUDIES تعداد مطالعه	HEDGES EFFECT SIZE اندازه اثر هجس	P- VALUE P-VALUE مقدار	STANDARD ERROR خطای استاندارد
VERMICOMPOST ON SEED YIELD OF BLACK SEED ورمی کمپوست بر عملکرد دانه سیاهدانه	4	1.93	0.000	0.424
VERMICOMPOST ON SEED YIELD OF CUMIN ورمی کمپوست بر عملکرد دانه زیره سبز	6	1.42	0.000	0.318

عملکرد از نظر آماری مشابه با آن‌هایی بود که با تیمارهای معمولی با کود شیمیایی به دست آمده بود و به طور متوسط تنها ۲ درصد کمتر از تیمار معمولی بودند. نتایج تحقیق *et al.* (2022) *Ma* نشان داد که ورمی کمپوست به طور قابل توجهی محتوای مواد مغذی محیط رشد به ویژه میزان نیتروژن و فسفر موجود را به ترتیب ۱۳۳/۸ و ۲۵۶/۷ درصد افزایش داد. علاوه بر این ورمی کمپوست سرعت جوانه زنی بذر، شاخص گیاهچه، زیست توده اندام هوایی، زیست توده ریشه و زیست توده کل را به ترتیب ۳۰/۴، ۵۲/۸، ۵۲/۶، ۵۸/۳ و ۵۴/۴ درصد افزایش داد. *Khorrarnadel et al.* (2022) با بررسی ۶ مطالعه در رابطه با اثر ورمی کمپوست، ۶ مطالعه در رابطه با کودهای زیستی و ۸ مطالعه در رابطه با کودهای شیمیایی بر درصد اسانس زیره سبز نشان داد اندازه اثر هر سه گروه کودی در افزایش اسانس زیره سبز مثبت است اما اثر کودهای شیمیایی و زیستی از ورمی کمپوست بزرگ تر بود. نتایج *Alidadi et al.* (2014) نشان داد که استفاده از ورمی کمپوست با کود گاوی به میزان ۵۰۰ گرم در مترمربع می تواند عملکرد گوجه فرنگی را به طور قابل توجهی افزایش دهد. فراتحلیل *Blouin et al.* (2019) نشان داد ورمی کمپوست باعث افزایش متوسط ۲۶ درصدی در عملکرد تجاری، ۱۳ درصدی در زیست توده کل، ۷۸ درصدی در زیست توده اندام هوایی و ۵۷ درصدی در زیست توده ریشه شد. اثر مثبت ورمی کمپوست بر رشد گیاه زمانی به حداکثر رسید که ورمی کمپوست ۳۰ تا ۵۰ درصد حجم خاک را تشکیل دهد.

بر اساس نتایج جدول ۳ و با اطمینان ۹۵ درصد کاربرد ورمی کمپوست در گیاهان سیاهدانه و زیره سبز با اطمینان بالایی سبب افزایش عملکرد دانه شد. از ۱۰ مورد مطالعه اثر کاربرد کود گاوی بر عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز، ۴ مطالعه بر روی گیاه سیاهدانه بود که میانگین اندازه اثر ($g=1/93$) به دست آمد. همچنین میانگین اندازه اثر عملکرد دانه زیره سبز معادل ($g=1/42$) برای ۶ مطالعه به دست آمد. بنابراین اثر کاربرد ورمی کمپوست در گیاه سیاهدانه تاثیر بیشتری بر عملکرد دانه دارد. بر اساس نتایج مطالعات مرتبط با هر دو گیاه کاربرد ۱۰ تا ۲۰ تن کود گاوی اثرات مثبتی بر افزایش عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز داشت. پراکندگی داده های مطالعه به صورت مساوی در دو طرف نمودار نشان دهنده اطمینان بالا و کاهش خطای انتشار در گیاه زیره سبز بود (شکل 3a). به دلیل وجود مطالعات محدود مرتبط با گیاه سیاهدانه نمودار کیفی گیاه سیاهدانه به سمت پایین نمودار کشیده شد. برازش دوال و تیودی بر روی مطالعات گیاه سیاهدانه هیچ گونه مطالعه اضافی را مبتنی تقارن کامل نمودار نشان نداد. این بدان معنی است که نمودار کیفی سیاهدانه از تقارن خوبی برخوردار است اما به دلیل خطای استاندارد بالا، مطالعات در پایین کیف ظاهر شده است (شکل 3b).

Curadelli et al. (2023) با مطالعه ۳۵ مقاله داده های عملکردی محصولات با کود دهی کمپوست چای، تیمارهای شاهد و کود مصنوعی نشان دادند که کود دهی با کمپوست ۸۰ درصد بیشتر از شاهد عملکرد بیشتری داشته است.



شکل ۳- نمودار کیفی عملکرد دانه زیره سبز (A) و سیاهدانه (B) تحت تأثیر ورمی کمپوست

Fig. 5- Funnel plot of yield of cumin (A) and black seed (B) under the influence of vermicompost

جدول ۴- اندازه اثر کود هیومیک اسید بر عملکرد کمی دانه گیاه سیاهدانه و زیره سبز با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

Table 4. The size of effect of Humic acid on the quantitative yield of black seed and cumin with a 95% confidence interval

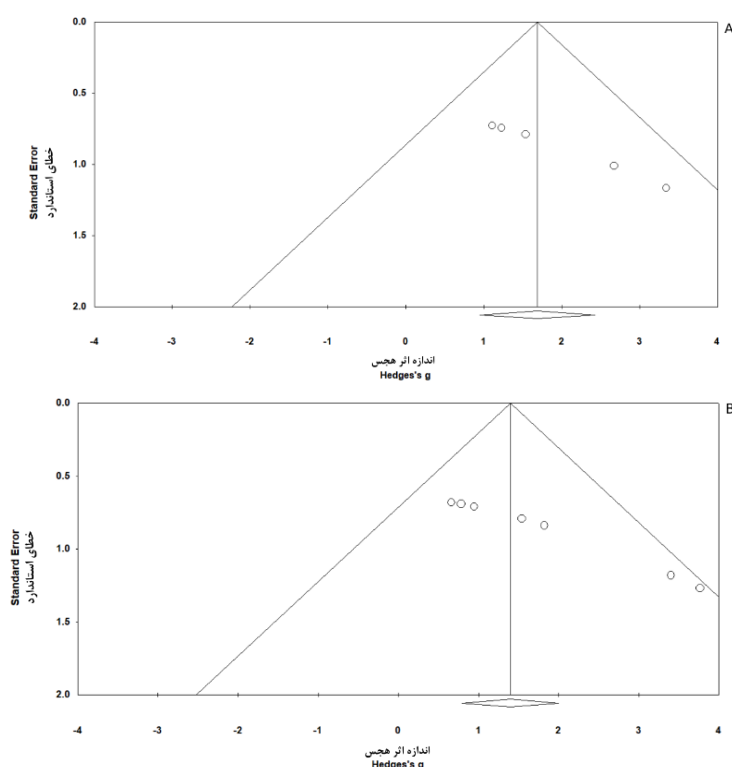
HUMIC ACID هیومیک اسید	NUMBER OF STUDIES تعداد مطالعه	HEDGES EFFECT SIZE اندازه اثر هجس	P- VALUE P-VALUE مقدار	STANDARD ERROR خطای استاندارد
HUMIC ACID ON SEED YIELD OF BLACK SEED هیومیک اسید بر عملکرد دانه سیاهدانه	7	1.39	0.000	0.307
HUMIC ACID ON SEED YIELD OF CUMIN هیومیک اسید بر عملکرد دانه زیره سبز	5	1.69	0.000	0.377

اسید هیومیک اثرات مثبت تری بر عملکرد دانه دارد. بنابراین کود اسید هیومیک می تواند در برنامه های کشت گیاهان دارویی به عنوان یک کود سالم سبب افزایش عملکرد اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و میکروارگانیسم های خاکی شود. انتشار نتایج مطالعات انجام گرفته به سمت راست نمودار و بزرگ شدن اندازه اثر برخی از مطالعات نشان داد که سوگیری جزئی در داده های مورد مطالعه برای هر دو گیاه وجود دارد (شکل 4a,b). این نشان می دهد افزایش عملکرد دانه زیره سبز و سیاهدانه نسبت به تیمار شاهد در برخی مطالعات مقدار قابل توجهی از خود نشان داده است.

بر اساس نتایج جدول ۴ و با اطمینان ۹۵ درصد کاربرد کود هیومیک اسید در گیاهان سیاهدانه و زیره سبز با اطمینان بالایی سبب افزایش عملکرد دانه شد. از مجموع ۱۲ مورد مطالعه اثر هیومیک اسید بر گیاه سیاهدانه و زیره سبز، ۷ مطالعه مرتبط با سیاهدانه بود. نتایج نشان داد میانگین اندازه اثر اسید هیومیک بر روی عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز به ترتیب معادل ($g=1/39$) و ($g=1/69$) به دست آمد. به بیانی دیگر کاربرد اسید هیومیک اثر مثبت و معنی داری بر افزایش عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز نشان داد. به طوری که در گیاه زیره سبز کاربرد

عمدتاً تحت تأثیر منبع هیومیک اسید است. از سویی دیگر افزودن اسید هیومیک به کود می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد محصول را افزایش دهد، خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را بهبود بخشد، ظرفیت جذب خاک برای NH_4^+ را افزایش دهد، فعالیت میکروبی را تقویت کند، محتوای کربن آلی خاک را افزایش دهد و نیتروژن معدنی را به نیتروژن آلی تثبیت کند (Purwanto *et al.*, 2021; Xiao *et al.*, 2021).

بنابراین با برآورد روش دوال و تویدی مشخص گردید که باید ۱ مطالعه به مطالعات اثر هیومیک اسید برای هر یک از گیاهان سیاهدانه و زیره سبز اضافه گردد تا تقارن کامل نمودار کیفی شکل بگیرد و خطای انتشار برطرف گردد. (Rose *et al.* (2014) در یک فراتحلیل نشان داد وزن خشک ریشه (21 ± 6) درصد) در پاسخ به کاربرد هیومیک اسید افزایش یافت. با این‌وجود، پاسخ‌های واقعی به‌طور قابل‌توجهی متفاوت و



شکل ۴- نمودار کیفی عملکرد دانه زیره سبز (A) و سیاهدانه (B) تحت تأثیر هیومیک اسید

Fig. 7- Funnel plot of cumin (A) and black seed (B) yield under the influence of humic acid

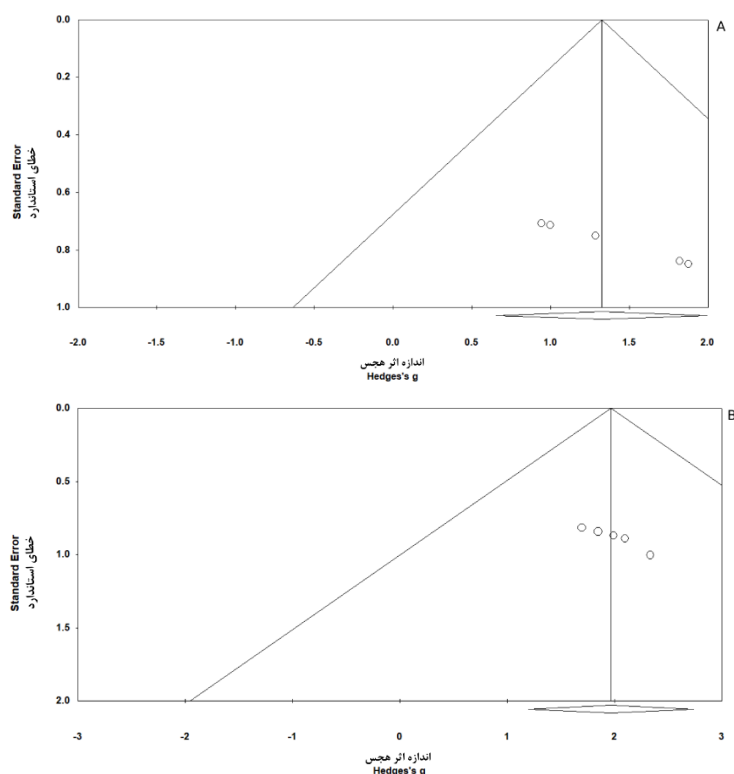
جدول ۵- مقادیر اندازه اثر قارچ میکوریزا بر عملکرد کمی دانه گیاه سیاهدانه و زیره سبز با فاصله اطمینان ۹۵ درصد

Table 5. Values of the effect size of mycorrhizal on the quantitative yield of black seed and cumin with a 95% confidence interval

VERMICOMPOST ورمی کمپوست	NUMBER OF STUDIES تعداد مطالعه	HEDGES EFFECT SIZE اندازه اثر هجس	P- VALUE P-VALUE مقدار	STANDARD ERROR خطای استاندارد
MYCORRHIZA ON SEED YIELD OF BLACK SEED مایکوریزا بر عملکرد دانه سیاهدانه	5	1.97	0.000	0.339
MYCORRHIZA ON SEED YIELD OF CUMIN مایکوریزا بر عملکرد دانه زیره سبز	5	1.32	0.000	0.428

مایکوریزا با افزایش ۹۶ درصد و ۹۷ درصد توده خشک اندام هوایی در نعناعیان و فرفیونیان به ترتیب افزایش یافته است. بنابراین قارچ مایکوریزا می‌تواند در برنامه‌های کشت گیاهان دارویی به‌عنوان یک کود سالم سبب افزایش عملکرد اقتصادی و همچنین حفاظت از محیط‌زیست و میکروارگانیسم‌های خاک شود. قرارگیری داده‌ها در بالای نمودار کیفی استفاده از قارچ مایکوریزا در گیاه سیاهدانه نشان داد که سوگیری کمتری در داده‌های مورد مطالعه وجود دارد (شکل 5a). با برازش دوال و تویدی مشخص شد که باید ۱ مطالعه به مطالعات اثر هیومیک اسید برای گیاه زیره سبز اضافه گردد تا تقارن کامل نمودار کیفی شکل بگیرد (شکل 5b).

بر اساس نتایج جدول ۵ و با اطمینان ۹۵ درصد کاربرد قارچ مایکوریزا در گیاهان سیاهدانه و زیره سبز با اطمینان بالایی سبب افزایش عملکرد دانه شده است. از ۵ مورد مطالعه قارچ مایکوریزا در گیاه سیاهدانه میانگین اندازه اثر معادل ($g=1/97$) به دست آمد. مقدار میانگین اندازه اثر در گیاه زیره سبز نیز معادل ($g=1/32$) به دست آمد. بنابراین استفاده از قارچ مایکوریزا در گیاه سیاهدانه تأثیر بیشتری در افزایش عملکرد دانه داشت. Beltrame *et al.* (2019) برای تجزیه و تحلیل اثرات تلقیح قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار یک فراتحلیل با استفاده از ۱۸۳ داده از گیاهان نعناعیان و ۶۸ داده از گیاهان فرفیونیان انجام دادند. نتایج نشان داد که میانگین تولید گیاهان تلقیح شده با قارچ‌های



شکل ۵- نمودار کیفی عملکرد دانه زیره سبز (A) و سیاهدانه (B) تحت تأثیر مایکوریزا
Fig. 9- Funnel plot of cumin (A) and black seed (B) yield under the influence of mycorrhiza

مطالعات غیر معنی‌دار برای کاهش یک نتیجه به سطح معنی‌داری موردنیاز باشد، نتایج به‌دست‌آمده احتمالاً فاقد اطمینان است (Vegas *et al.*, 2005). رابرت روزنتال پیشنهاد کرد که به‌جای حدس و گمان صرفاً در مورد تأثیر مطالعات

آزمون N ایمن از خطای کلاسیک
آزمون N ایمن از خطای کلاسیک^۸ تعداد مطالعات گم‌شده را محاسبه می‌کند تا عدم معنی‌داری آماری اثر کلی به دست آید (Safari Ojgaz *et al.*, 2020). به‌طور واضح اگر تعداد

از دست رفته، تعداد مطالعاتی را که برای از بین بردن این تأثیر لازم است محاسبه شود. اگر عدد محاسبه شده نسبتاً کم باشد، نتایج از اطمینان کافی برخوردار نیست. با توجه به نتایج باید تعداد ۴۵ و ۱۴۰ مطالعه به ترتیب به مطالعات تیمار کود زیستی برای گیاه زیره سبز و سیاهدانه اضافه گردد تا اعتبار فراتحلیل از بین برود. همچنین ۷۶ و ۷۴ مطالعه برای تیمار کود دامی به ترتیب برای سیاهدانه و زیره سبز، ۴۰ و ۲۵ مطالعه برای تیمار هیومیک اسید به ترتیب برای سیاهدانه و زیره سبز، ۲۸ و ۱۶ مطالعه برای تیمار مایکوریزا و ۳۰ و ۱۹ مطالعه برای تیمار ورمی کمپوست برای زیره سبز و سیاهدانه نیاز است؛ تا مقدار P دو دامنه از ۰/۰۵ برای تیمارهای اشاره شده تجاوز نکند.

مقایسه آماری تیمارهای کودی

در صورت متقارن بودن نمودار کیفی، وجود خطای انتشار را می توان رد کرد؛ اما برای قضاوت صریح باید از آزمون آماری استفاده نمود. برای بررسی میزان و چگونگی خطای انتشار (ناشی از انتشار نتایج معنی دار مثبت)، از آزمون همبستگی رتبه بندی بگ و مازومدار استفاده شد.

آماره آزمون Z دارای توزیع نرمال بوده و معمولاً مقادیر معنی داری دوطرفه آزمون گزارش می شود. سطح معنی داری در واقع، مقدار آزمون آماری احتمالی است که سازگاری داده های نمونه را با فرض صفر (وجود تقارن در نمودار کیفی) تعیین می کند و بر اساس آن، فرض صفر رد یا تأیید می شود (Duval et al., 2005). بر اساس تحقیقات، مطالعاتی که ضریب همبستگی تای کندال^۹ بین ۰/۵ و ۰/۷۵ همگن هستند. در مقابل، مطالعاتی که ضریب همبستگی تای کندال بیش از ۰/۷۵ تعیین می شود، خطای انتشار ندارند و می توان نتایج فراتحلیل را با اطمینان ۹۵ درصد صحیح و قابل توصیه دانست. بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده از ضریب تای کندال کودهای زیستی کمترین ضریب تای کندال را به خود اختصاص داد اگرچه این مقدار بین بازه مشخص شده ($0/5 < \text{Tau} < 0/75$) است و از نظر خطای انتشار وضعیت مطلوبی دارد. مطالعات مرتبط با کود دامی، ورمی کمپوست، هیومیک اسید و قارچ مایکوریزا دارای همگنی و خطای انتشار کمی بودند (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه اندازه اثرهای گروه های تیماری مورد بررسی و آزمون خطای انتشار همبستگی بگ و مازومدار

Table 7. Comparing the size of the effects of the investigated groups and test of publication bias by Begg and Mazumdar correlation

Group گروه	Number of studies تعداد مطالعه	Hedges effect size اندازه اثر هجس	standard error خطای استاندارد	P-Value P-مقدار Value	Z -value Z-مقدار	Kendall's tau coefficient ضریب تای کندال	Test result نتیجه آزمون
Biofertilizer (black seed) (کود زیستی (سیاهدانه)	18	1.01	0.181	0.000	5.591	0.65	Homogeneous همگن
Biofertilizer (cumin) (کود زیستی (زیره سبز)	8	1.14	0.260	0.000	4.398	0.97	Homogeneous همگن
Animal manure (black seed) (کود دامی (سیاهدانه)	8	1.76	0.271	0.000	6.523	0.68	Homogeneous همگن
Animal manure (cumin) (کود دامی (زیره سبز)	8	1.67	0.282	0.000	5.965	0.82	Homogeneous همگن
Vermicompost (cumin) (ورمی کمپوست (زیره سبز)	6	1.42	0.318	0.000	4.482	0.92	Homogeneous همگن
Vermicompost (black seed) (ورمی کمپوست (سیاهدانه)	4	1.93	0.424	0.000	4.564	0.83	Homogeneous همگن
Humic acid (black seed) (هیومیک اسید (سیاهدانه)	7	1.39	0.307	0.000	4.547	0.95	Homogeneous همگن
Humic acid (cumin) (هیومیک اسید (زیره سبز)	5	1.69	0.377	0.000	4.476	0.90	Homogeneous همگن
Mycorrhiza (black seed) (مایکوریزا (سیاهدانه)	5	1.97	0.339	0.000	5.002	0.90	Homogeneous همگن
Mycorrhiza (cumin) (مایکوریزا (زیره سبز)	5	1.32	0.428	0.000	3.873	0.90	Homogeneous همگن

نتیجه‌گیری

مطالعات فردی متعددی در رابطه با تفاوت‌های عملکردی سیستم‌های ارگانیک و معمولی انجام گرفته است. طبق مطالعات شده، میانگین عملکرد در سیستم‌های ارگانیک ۸ تا ۲۵ درصد نسبت به سیستم کشت معمولی کمتر است. با این حال، در محصولات خاص، شرایط رشد و شیوه‌های مدیریتی، سیستم‌های ارگانیک از نظر عملکرد به سیستم‌های معمولی نزدیک‌تر می‌شوند (Reganold et al., 2016). یک فراتحلیل از ۳۲ آزمایش طولانی مدت در چین، استفاده ترکیبی از نهاده‌های آلی و کودها را فقط با ورودی‌های آلی یا فقط با کودها مقایسه کرد (Wei et al., 2016). میانگین افزایش عملکرد ترکیب کود زیستی و کود آلی در گندم، ذرت و برنج در مقایسه با استفاده از کود آلی تنها ۸ درصد بود. در یک مورد دیگر، هیچ بهبودی در روند عملکرد دانه با استفاده از کود یا کاه در سیستم‌های فشرده برنج مشاهده نشد (Dawe et al., 2003). از دیدگاهی دیگر (Smith et al., 2019) تولید مزارع ارگانیک را یک برد-برد برای پایداری محیطی اعلام کردند، در حالی که مزارع معمولی وضعیت برد-برد را برای تولید با ارتقای عملکرد محصول بالا با تنوع کم فراهم می‌کند. بر اساس نتایج مطالعه فراتحلیل در این پژوهش اثر کودهای زیستی و آلی بر عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز مشخص گردید که آزمون همگنی و خطای انتشار تمام کودهای مصرفی مورد مطالعه بر عملکرد دانه زیره سبز و سیاهدانه همگن است. مطالعات دارای اندازه اثرهای بزرگ‌تر از یک می‌توانند به صورت وسیع و قابل اطمینان مورد استفاده کشاورزان و تولیدکنندگان کشاورزی رایج و ارگانیک قرار بگیرد. این امر سبب سلامت اکوسیستم‌های کشاورزی و اطمینان از سطح تولید مناسب در رابطه با گیاهان دارویی را در پی خواهد داشت. از طرفی بیشترین اندازه اثر برای سیاهدانه به ترتیب شامل مایکوریزا، ورمی کمپوست و کود دامی، هیومیک اسید و کود زیستی بود. برای گیاه زیره سبز اندازه اثرهای مجموع مطالعات نشان داد تیمارهای کود دامی و هیومیک اسید نسبت به سایر

تیمارها تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه زیره سبز داشتند. بر اساس نتایج آزمون همگنی بگ و مازومدار مشخص شد که اثر گروه‌های کودی (زیستی و آلی) در دو گیاه سیاهدانه و زیره سبز دارای همگنی و عدم خطای انتشار است. همچنین آزمون N ایمن از خطای کلاسیک برای هر گروه از تیمارها نشان‌دهنده دقت و صحت فراتحلیل بود. همچنین اصلاح و برازش دوال و تویدی نیز به عنوان آزمونی که به کاهش خطا و سوگیری انتشار کمک می‌کند نیز در این تحقیق بررسی گردید. بنابراین به عنوان نتیجه نهایی استفاده از کودهای زیستی، دامی و ورمی کمپوست برای افزایش عملکرد دانه سیاهدانه و زیره سبز توصیه می‌شود. توجه به این نکته اهمیت دارد که تأثیر کودهای شیمیایی سبب افزایش عملکرد و برخی صفات گیاهان دارویی شده است. بنابراین لازم است در سیستم‌های صرفاً ارگانیک کودهای دامی، ورمی کمپوست، قارچ مایکوریزا، هیومیک اسید و کودهای زیستی با توجه به شرایط خاک و رشدی گیاه اعمال شود. همچنین می‌توان در سیستم عملیات خوب کشاورزی^{۱۰} با تلفیق کودهای شیمیایی و تیمارهای کودی بررسی شده عملکرد دانه را افزایش داد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری سازمان تحقیقات اتکا و شرکت مزارع نوین ایرانیان تشکر و قدردانی می‌گردد. لازم به ذکر است در انجام تحقیق حاضر، از هیچ سازمان یا نهادی کمک مالی دریافت نگردید.

پی‌نوشت‌ها

¹ Research Institute of Organic Agriculture

² International Federation of Organic Agriculture Movements

³ Reporting standards for systematic evidence syntheses

⁴ Hedges effect size

⁵ Funnel Plot

⁶ Begg and Mazumdar Rank Correlation

⁷ Duval and Tweedie's Fit

⁸ Classic fail-safe N test

⁹ Kendall's tau coefficient

¹⁰ Good Agricultural Practice

References

منابع

- Alidadi, H., Saffari, A.R., Ketabi, D., Peiravi, R., & Hosseinzadeh, A. (2014). Comparison of vermicompost and cow manure efficiency on the growth and yield of tomato plant. *Health scope*, 3(4), 1-5. <https://doi.org/10.17795/jhealthscope-14661>
- Amirhoseini, K., Haghani, Z., & Moteszarezhadeh, B. (2021). A comparative analysis of the consumption of chemical fertilizers in Iran and some other countries in the East and North Africa. In *Proceedings 17th Congress of Soil Sciences of Iran and the 4th National Conference on Water Management in the Farm of Wise Soil Regeneration and Wise Water Governance*. 14th November, Karaj, Iran. p.4178.
- Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M.J., Aviles-Vazquez, K., & Perfecto, I. (2007). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable agriculture and food systems*, 22(2), 86-108. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001640>
- Beltrame, S.R., da Cruz, R.M.S., Lourenço, E.L.B., & Alberton, O. (2019). Meta-analysis of Lamiaceae and Euphorbiaceae medicinal plants inoculated with Arbuscular mycorrhizal fungi. *Australian Journal of Crop Science*, 13(4), 588-598. doi: 10.21475/ajcs.19.13.04.p1615
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Borenstein, M., & Hedges, L. (2019). Effect sizes for meta-analysis. *The handbook of research synthesis and meta-analysis*, 3, 207-243.
- Connor, D.J., & Mínguez, M.I. (2012). Evolution not revolution of farming systems will best feed and green the world. *Global Food Security*, 1(2), 106-13. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.10.004>
- Cooper, H.M., & Hedges, L.V. (1994). *The Hand Book of Research Synthesis*. Russell Sage Foundation. New York.
- Crowther, M., Lim, W., & Crowther, M.A. (2010). Systematic review and meta-analysis methodology. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 116(17), 3140-3146. <https://doi.org/10.1182/blood-2010-05-280883>
- Curadelli, F., Alberto, M., Uliarte, E.M., Combina, M., & Funes-Pinter, I. (2023). Meta-analysis of yields of crops fertilized with compost tea and anaerobic digestate. *Sustainability*, 15(2), 1357. <https://doi.org/10.3390/su15021357>
- Dawe, D., Dobermann, A., Ladha, J.K., Yadav, R.L., Bao, L., Gupta, R. K., & Zhen, Q.X. (2003). Do organic amendments improve yield trends and profitability in intensive rice systems? *Field Crops Research*, 83(2), 191-213. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00074-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00074-1)
- de Ponti, T., Rijk, B., & van Ittersum, M.K. (2012). The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural systems*, 108, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.12.004>
- Delbaz, R., Ebrahimian, H., Abbasi, F., & Nazi Ghameshlou, A. (2021). Meta-analysis of surface and drip fertigation effectiveness on crop yield, fertilizer, and water productivity. *Journal of Water Research in Agriculture*. 35 (2), 139-150. (In Persian with English abstract). 10.22092/jwra.2021.353417.855
- Fan, H., Zhang, Y., Li, J., Jiang, J., Waheed, A., Wang, S., & Zhang, R. (2023). Effects of organic fertilizer supply on soil properties, tomato yield, and fruit quality, A global meta-analysis. *Sustainability*, 15(3), 2556. <https://doi.org/10.3390/su15032556>
- FAO. (2024). Inorganic fertilizers – 2002–2022. FAOSTAT Analytical Briefs. Rome. No. 90.
- Ferreira, A.C., Cruz, R.C., Rosa, C.Q., de Fátima, Â., & Modolo, L.V. (2024). Reaching food security: harnessing urease inhibitors to meet the challenges of growing global population. In: Ligabue-Braun, R., Carlini, C.R. (Eds.), *In Foundations and Frontiers in Enzymology. Ureases*, Academic Press. pp. 359-373.
- Ghorbanizadeh, V., & Behfar, S. (2014). Meta-analysis of organizations e-readiness researches in Iran. *Smart business management studies*, 2(6), 1-22. (In Persian with English abstract).
- Haque, M., Singh, R., Nadeem, A., Rasool, S., Wani, J. A., Khan, A., & Zehra, U. (2022). *Nigella sativa*, A promise for industrial and agricultural economic growth. In: Andleeb, K. and Muneeb, R. (Eds.), *Black seed (Nigella sativa)*, Pharmacological and therapeutic applications in endocrine dysfunction. Elsevier, pp. 439-460.
- Hedges, L.V., Gurevitch, J., & Curtis, P.S. (1999). The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology*. 80(4), 1150-1156. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1150:TMAORR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1150:TMAORR]2.0.CO;2)
- Herrmann, M.N., Wang, Y., Hartung, J., Hartmann, T., Zhang, W., Nkebiwe, P.M., & Yang, H. (2022). A global network meta-analysis of the promotion of crop growth, yield, and quality by bioeffectors. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.816438>
- Khodakivska, O.P.M., Hermaniuk, N., Mohylnyi, O., & Tomashuk, O. (2020). The organic agriculture: world trends and opportunities. *International Journal*

- of Advanced Science and Technology, 9, 5308-5317.
- Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Mokhtari, M., & Latifi, H. (2022). Meta-Analysis of the Impact of Soil Fertilizers on Quantitative and Quality Yield of Medicinal Plants, From Past to Now. *Journal of Crop Production*, 15(4), 183-204. (In Persian with English abstract). 10.22069/EJCP.2023.20086.2502
- Lamichhane, J.R., Corrales, D.C., & Soltani, E. (2022). Biological seed treatments promote crop establishment and yield, a global meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(3), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00761-z>
- Lin, L., & Chu, H. (2018). Quantifying publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 74(3), 785-794.
- Lotter, D. (2015). Facing food insecurity in Africa, why, after 30 years of work in organic agriculture, I am promoting the use of synthetic fertilizers and herbicides in small-scale staple crop production. *Agriculture and Human Values*, 32, 111-18. <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9547-x>
- Ma, H., Zhao, S., Hou, J., Feyissa, T., Duan, Z., Pan, Z., & Zhang, W. (2022). Vermicompost improves physicochemical properties of growing medium and promotes plant growth, A meta-analysis. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 3745-3755. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00924-7>
- Macaskill, P., Walter, S.D., & Irwig, L. (2001). A comparison of methods to detect publication bias in meta-analysis. *Statistics in medicine*, 20(4), 641-654. <https://doi.org/10.1002/sim.698>
- Mercati, V. (2016). Organic agriculture as a paradigm of sustainability, Italian food and its progression in the global market. *Agriculture and agricultural science Procedia*, 8, 798-802. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.071>
- Michael, H., & Ghebremichael, M. (2023). A correction to Begg's test for publication bias. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 53(21), 7678-7698.
- Mokhtari, M., Koocheki, A., & Mahallati, M.N. (2018). Meta-analysis of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomical researches, with an emphasis on the consumption of organic fertilizers and agronomical practices in Iran. *Saffron Agronomy and Technology*, 5(4), 311-327. (In Persian with English abstract).
- Ponisio, L.C., M'Gonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., De Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 1-7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Purwanto, B.H., Wulandari, P., Sulistyarningsih, E., Utami, S.N., & Handayani, S. (2021). Improved corn yields when humic acid extracted from composted manure is applied to acid soils with phosphorus fertilizer. *Applied and Environmental Soil Science*, (1), 1-12. <https://doi.org/10.1155/2021/8838420>
- Rahman, A., Akbar, D., Bhattarai, S., Thomson, M., Trotter, T., & Timilsina, S., 2020. Market analysis of cumin seed. Online, Central Queensland University.
- Reganold, J.P., & Wachter, J.M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature plants*, 2(2), 1-8.
- Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., & Cavagnaro, T.R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances, practical implications for agriculture. *Advances in agronomy*, 124, 37-89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
- Duval, S. (2005). The 'trim and fill' method. In: Rothstein, H.R., Sutton, A.J., Borenstein, M. (Eds.), *Publication bias in meta-analysis: Prevention, assessment, and adjustments*. West Sussex, England: John Wiley & Sons. pp. 127-144.
- Safari Ojgaz, F., & Rangriz, H. (2020). The relationship between intellectual capital and human resource productivity, A meta-analysis study. *The Journal of Productivity Management*, 14(4), 50-71.
- Samawi, H. (2021). Publication Bias in Meta-Analysis. In: Chen, D.G. and Peace, K.E. *Applied Meta-Analysis with R and Stata* (Eds.), Chapman and Hall/CRC. New York, pp. 237-252.
- Sefidkon, F. (2021). Increasing Iran's share of world trade in medicinal plants by using the comparative advantage of native and exclusive plants and their processing. *Iran Nature*, 6(5), 103-103. 10.22092/irn.2021.125260
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J.A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485, 229-32. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Mayerhofer, T. (2017). What is this thing called organic? How organic farming is codified in regulations. *Food Policy*, 68, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.12.009>
- Smith, O.M., Cohen, A.L., Rieser, C.J., Davis, A.G., Taylor, J.M., Adesanya, A.W. and Crowder, D.W. (2019). Organic farming provides reliable environmental benefits but increases variability in crop yields, A global meta-analysis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 82. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00082>
- Thompson, B., & Snyder, P.A. (1997). Statistical significance testing practices. *Journal of Experimental Education*, 66, 75-83.

Tonitto, C., & Ricker-Gilbert, J.E. (2016). Nutrient management in African sorghum cropping systems, applying meta-analysis to assess yield and profitability. *Agronomy for Sustainable Development*. 36, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0336-8>

Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P., & Turtola, E. (2009). Phosphorus fertilization, A meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, ecosystems & environment*, 130(3-4), 75-85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.12.004>

Vegas, K. (2005). The Effectiveness of Functional Behavior Assessment - Based behavioral Interventions for Reducing Problem Behaviors, A Meta-analysis. Ph.D. thesis. Department of Educational Psychology, University of Utah.

Wei, W., Yan, Y., Cao, J., Christie, P., Zhang, F., & Fan, M. (2016). Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter, An integrated analysis of long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 225, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.004>

Xiao, Q.L., Zhu, J., Peng, H., Li, S.N., & Ji, X.H. (2021). Ammonia volatilization loss and emission reduction measures in paddy fields. *Journal of Agro-Environment Science*, 40(1), 16-25. <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-07>

