Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Economics and Food Security,Vol. 2, No 1, 2026 ……...p: 55-64

OPEN ACCESS

Research Paper

# Simulating the Effects of Pollination Service Shocks in a CGE Framework: A Decision-Support Tool for European Agri-Food Systems

**Elnaz Nejatiyan Pour[1], Nicola Gallai[2], Georgios Kleftodimos[3], Peter Zander[1], María Rosa Mosquera-Losada[4], Seyed-Ali Hosseini-Yekani[5]**

1- Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), 15374 Müncheberg, Germany
2- ENSFEA UMR LEREPS, 2 route de Narbonne, 31326 Castanet-Tolosan, France
3- CIHEAM-IAMM, UMR MoISA, Montpellier F-34093, France
4- University of Santiago de Compostela, Lugo, Spain
5- Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), 15374 Müncheberg, Germany
(Corresponding author: Hosseini@zalf.de)

Received: 06 August, 2025 Revised: 10 November, 2025 Accepted: 22 November, 2025

## Extended Abstract

**Background:** Pollinator decline is an important ecological threat to European agri-food systems because animal-mediated pollination contributes to the productivity, quality, and stability of many high-value crops. The economic importance of this ecosystem service extends beyond the farm level because pollination-dependent agricultural products are connected to input markets, food-processing industries, household consumption, and other sectors of the economy. Many previous studies have focused on biophysical, agronomic, or direct economic valuation at the crop or farm level. These approaches are essential for demonstrating the importance of pollination, but they do not fully represent price adjustments, substitution among commodities and production factors, or feedback across sectors. This study, therefore, develops a transparent and replicable computable general equilibrium (CGE) framework to evaluate the economy-wide effects of pollination-service shocks and to compare two types of policy intervention in European agri-food systems. The main methodological contribution is to represent pollination services explicitly as a distinct primary input in the production structure of pollination-dependent crops rather than approximating pollinator decline only as a generic productivity shock.

**Methods:** The analysis uses a static, single-country CGE model calibrated to the 2015 Bio-Social Accounting Matrix (BioSAM) for Italy. To align the database with the research objective, production and commodity accounts were aggregated into five groups: pollination-dependent crops, pollination-independent crops, livestock and animal products, food-processing industries, and other non-agricultural activities. Primary factors include labor, capital, and pollination services (POL), while the institutional structure includes households, enterprises, government, and the rest of the world. Model parameters were calibrated so that the benchmark equilibrium reproduces the flows recorded in the 2015 SAM. Crop-specific pollination-dependence coefficients were based on the classification of Klein et al. (2007). For aggregated accounts containing crops with different dependence levels, harvested-area shares were used in the aggregation procedure. The corresponding pollination-service share was then separated from the value-added block of dependent activities and recorded as the POL factor, while remaining value added was allocated between labor and capital in proportion to their initial shares. This reallocation preserves total value added and the balance of the SAM. In the aggregated model, the calibrated POL share in value added of pollination-dependent crops is 0.40. Commodity markets follow the Armington assumption for imperfect substitution between domestic and imported goods and a constant-elasticity-of-transformation (CET) structure for allocation between domestic sales and exports. Product-level trade elasticities were obtained from the GTAP Database and averaged according to the product composition of each aggregated account; the final Armington and CET elasticities used in the model are 0.70 and 2.00, respectively. Under the macroeconomic closure, labor and capital supplies are fixed and fully employed, the exchange rate is fixed, and foreign savings adjust endogenously to maintain the external balance. The exploratory simulations include 10% and 30% reductions in pollination effectiveness, a 30% reduction combined with targeted production support, and a 30% reduction combined with partial ecosystem restoration. The 10% and 30% shocks are stylized exploratory intensities and should not be interpreted as empirical estimates or forecasts of future pollination decline.

Copyright © 2026. Nejatiyan Pour et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]

[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

**Results:** Reductions in pollination services produce substantial and uneven sectoral effects, with the largest losses concentrated in pollination-dependent crops. Under the 10% decline scenario, outputs of pollination-dependent crops and food processing decrease by approximately 4.7% and 3.5%, respectively. When the shock increases to 30%, the corresponding output losses reach approximately 14.5% and 11.5%. Under the targeted production-support scenario, the declines in these two groups are moderated to approximately 11.1% and 8.7%, while they are limited to approximately 7.1% and 5.4% under partial ecosystem restoration. Output changes in the rest of the economy remain very small across all scenarios. Price effects also increase with shock intensity. Under the 10% decline scenario, producer prices rise by 3.53%, food prices by 0.06%, and real income of the representative household falls by 0.08%. Under the 30% decline scenario, producer and food prices increase by 12.56% and 0.20%, respectively, while real household income decreases by 0.28%. In the production-support scenario, producer prices rise by 9.19%, food prices by 0.15%, and real household income declines by 0.20%. Under partial restoration, the corresponding changes are +5.50%, +0.09%, and -0.12%. Wages and returns to capital also decline in the pollination-shock scenarios. The model-implied return to the POL factor falls by 1.02% and 2.69% under the 10% and 30% declines, rises by 3.95% under the support scenario, and falls by 1.50% under restoration. Given the fixed-exchange-rate closure, foreign savings increase by 2.94% and 11.45% under the 10% and 30% shocks and by 8.05% and 4.69% under support and restoration, respectively. These values represent closure-specific external-account adjustments and should not be interpreted as direct changes in imports or exports. Because the model contains a single representative household, the welfare results cannot be used to infer differences across income or social groups.

**Conclusion**: The findings show that pollination services are not only ecological assets but also economically important production inputs whose disruption can propagate through production linkages, relative prices, and factor incomes. Both policy interventions mitigate part of the severe shock. Under the parameterization used in this study, partial restoration produces a larger moderation of output losses, price pressures, and the decline in real household income than targeted production support. However, because the two interventions do not have identical costs or designs, this result should not be interpreted as a cost-effectiveness ranking. From a policy perspective, the results support considering short-run economic support together with measures aimed at protecting and restoring pollination services, while recognizing that the appropriate policy mix depends on implementation costs, budget constraints, and the degree of ecosystem-service recovery. Because the model is static, the reported results represent comparative-equilibrium differences across scenarios rather than temporal pathways of decline or recovery. Future extensions using a dynamic CGE framework and disaggregated households could examine adjustment paths, dynamic costs, and distributional effects.

**Keywords:** Biodiversity, Natural capital, Ecosystem services, Policy analysis, Environmental economics

**How to Cite This Article:** Nejatiyan Pour, E., Gallai, N., Kleftodimos, G., Zander, P., Mosquera-Losada, M. R., & Hosseini-Yekan, S. A. (2026). Simulating the Effects of Pollination Service Shocks in a CGE Framework: A Decision-Support Tool for European Agri-Food Systems. *J Economics Food Sec,* 2(1), 55-64. DOI: 10.66224/efs.2026.90

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]

[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

OPEN ACCESS

**مقاله پژوهشی**

# شبیه‌سازی آثار شوک‌های خدمات گرده‌افشانی در چارچوب تعادل عمومی قابل محاسبه: ابزاری پشتیبان تصمیم‌گیری برای نظام‌های کشاورزی- غذایی اروپا

**الناز نجاتیان‌پور[۱]، نیکولا گالای[۲]، جورجیوس کلفتودیموس[۳]، پیتر زندر[۱]، ماریا روزا موسکرا-لوسادا[۴] و سیدعلی حسینی‌یکانی[۵]**

۱- مرکز تحقیقات چشم‌اندازهای کشاورزی لایبنیتس ۱۵۳۷۴، (ZALF) مونشبرگ، آلمان
۲- مدرسه ملی آموزش عالی کشاورزی (ENSFEA)، واحد پژوهشی مشترک لِرِپس (UMR LEREPS)، شماره ۲، جاده ناربون، کد پستی ۳۱۳۲۶، کاستانه-تولوزان، فرانسه
۳- مرکز بین‌المللی مطالعات پیشرفته کشاورزی مدیترانه‌ای-مؤسسه کشاورزی مدیترانه‌ای مون‌پلیه (CIHEAM-IAMM)، واحد پژوهشی مشترک موئیزا (UMR MoISA)، مون‌پلیه، کد پستی F-34093، فرانسه.
۴- دانشگاه سانتیاگو د کامپوستلا، لوگو، اسپانیا
۵- مرکز تحقیقات چشم‌اندازهای کشاورزی لایبنیتس ۱۵۳۷۴، (ZALF) مونشبرگ، آلمان، (نویسنده مسوول: Hosseini@zalf.de)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
صفحه: ۵۵ تا ۶۴

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** کاهش گرده‌افشان‌ها یکی از مهم‌ترین تهدیدهای اکولوژیکی برای نظام‌های کشاورزی-غذایی اروپا است، زیرا گرده‌افشانی با واسطه جانوران در تولید، کیفیت و پایداری عرضه بسیاری از محصولات باارزش نقش اساسی دارد. اهمیت اقتصادی این خدمت اکوسیستمی صرفاً به عملکرد مزرعه محدود نمی‌شود زیرا محصولات کشاورزی وابسته از طریق بازار نهاده‌ها، صنایع فرآوری مواد غذایی و مصرف خانوار با سایر بخش‌های اقتصاد ارتباط دارند. با وجود اهمیت موضوع، بسیاری از مطالعات پیشین بر ابعاد زیست‌فیزیکی، زراعی یا ارزش‌گذاری مستقیم اقتصادی در سطح محصولات و مزارع تمرکز داشته‌اند. این رویکردها برای نشان دادن اهمیت گرده‌افشانی ضروری‌اند، اما تعدیلات قیمت، جانشینی میان کالاها و عوامل تولید و بازخوردهای بین‌بخشی را به طور کامل بازنمایی نمی‌کنند. هدف این مطالعه، تدوین یک چارچوب تعادل عمومی قابل محاسبه شفاف و قابل تکرار برای ارزیابی آثار کل اقتصادی شوک‌های خدمات گرده‌افشانی و مقایسه دو نوع مداخله سیاستی در نظام کشاورزی-غذایی اروپا است. نوآوری اصلی مطالعه آن است که خدمات گرده‌افشانی به‌جای آنکه صرفاً به‌صورت یک شوک عمومی بهره‌وری بازنمایی شوند، به‌عنوان یک نهاده اولیه متمایز در ساختار تولید محصولات وابسته به گرده‌افشانی وارد می‌شوند.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، از یک مدل ایستای تک‌کشوری تعادل عمومی قابل محاسبه استفاده شد که بر اساس ماتریس حسابداری اجتماعی‌زیستی ایتالیا برای سال ۲۰۱۵ کالیبره شده است. برای انطباق ساختار داده با هدف مطالعه، حساب‌های تولیدی و کالایی در پنج گروه اصلی شامل محصولات زراعی وابسته به گرده‌افشانی، محصولات زراعی غیروابسته، دام و محصولات دامی، صنایع فرآوری مواد غذایی و سایر فعالیت‌های غیرکشاورزی تجمیع شدند. عوامل اولیه تولید شامل نیروی کار، سرمایه و خدمات گرده‌افشانی هستند و ساختار نهادی خانوار، بنگاه، دولت و بقیه جهان را دربر می‌گیرند. پارامترهای مدل به‌گونه‌ای کالیبره شدند که تعادل مبنا جریان‌های ثبت‌شده در SAM سال ۲۰۱۵ را بازتولید کند. ضرایب وابستگی محصولات به گرده‌افشانی بر اساس طبقه‌بندی کلین و همکاران (Klein *et al.*, 2007)، تعیین شدند و در حساب‌های تجمیعی، اطلاعات سهم سطح برداشت برای تجمیع ضرایب مورد استفاده قرار گرفت. سپس، سهم متناظر خدمات گرده‌افشانی از بلوک ارزش افزوده فعالیت‌های وابسته جدا و به‌عنوان عامل اولیه POL ثبت شد؛ ارزش افزوده باقی‌مانده نیز میان نیروی کار و سرمایه متناسب با سهم اولیه آن‌ها تخصیص یافت. این بازتخصیص جمع ارزش افزوده و توازن SAM را تغییر نمی‌دهد. در نسخه تجمیع‌شده مدل، سهم کالیبره‌شده POL در ارزش افزوده بخش محصولات وابسته به گرده‌افشانی ۰/۴۰ است. بازار کالاها از ساختار آرمینگتون و تابع CET استفاده می‌کند. کشش‌های تجاری در سطح محصول از GTAP Database گرفته و بر اساس ترکیب محصولات هر حساب تجمیعی میانگین‌گیری شدند؛ مقادیر نهایی کشش آرمینگتون و CET به‌ترتیب ۰/۷۰ و ۲/۰۰ هستند. در بسته‌شدن کلان‌اقتصادی، عرضه نیروی کار و سرمایه ثابت و با اشتغال کامل فرض شده، نرخ ارز ثابت است و پس‌انداز خارجی برای حفظ تراز خارجی به‌صورت درون‌زا تعدیل می‌شود. سناریوهای اکتشافی شامل کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی اثربخشی گرده‌افشانی، کاهش ۳۰ درصدی همراه با حمایت تولیدی هدفمند و کاهش ۳۰ درصدی همراه با احیای جزئی اکوسیستم هستند. کاهش‌های ۱۰ و ۳۰ درصدی به‌عنوان دو شدت اکتشافی تعریف شده‌اند و نباید به‌عنوان برآورد تجربی یا پیش‌بینی کاهش آینده گرده‌افشانی تفسیر شوند.

**یافته‌ها:** کاهش خدمات گرده‌افشانی آثار تولیدی نامتوازن و قابل توجهی را ایجاد می‌کند و بیشترین زیان در محصولات وابسته به گرده‌افشانی متمرکز است. در سناریوی کاهش ۱۰ درصدی اثربخشی گرده‌افشانی، ستانده محصولات وابسته و صنایع فرآوری غذایی به‌ترتیب حدود ۴/۷ و ۳/۵ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش شدت شوک به ۳۰ درصد، این کاهش‌ها به حدود ۱۴/۵ و ۱۱/۵ درصد می‌رسند. در سناریوی حمایت تولیدی، افت ستانده این دو گروه به‌ترتیب به حدود ۱۱/۱ و ۸/۷ درصد و در سناریوی احیای جزئی به حدود ۷/۱ و ۵/۴ درصد محدود می‌شود. تغییرات سایر بخش‌های اقتصاد در تمام سناریوها بسیار کوچک باقی می‌ماند. در سناریوی کاهش ۱۰ درصدی، قیمت تولیدکننده ۳/۵۳ درصد و قیمت مواد غذایی ۰/۰۶ درصد افزایش می‌یابد و درآمد واقعی خانوار تجمیعی ۰/۰۸ درصد کاهش می‌یابد. در سناریوی کاهش ۳۰ درصدی، افزایش قیمت تولیدکننده و مواد غذایی به‌ترتیب به ۱۲/۵۶ و ۰/۲۰ درصد می‌رسد و درآمد واقعی خانوار ۰/۲۸ درصد کاهش می‌یابد. در سناریوی حمایت تولیدی، افزایش قیمت تولیدکننده و مواد غذایی به‌ترتیب ۹/۱۹ و ۰/۱۵ درصد و کاهش درآمد واقعی خانوار ۰/۲۰ درصد هستند؛ در سناریوی احیای جزئی، مقادیر متناظر ۵/۵۰، ۰/۰۹ و کاهش ۰/۱۲ درصدی هستند. دستمزد و بازده سرمایه نیز در سناریوهای شوک کاهش می‌یابند. بازده عامل POL در سناریوهای کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی به‌ترتیب ۰/۰۲ و ۲/۶۹ درصد کاهش می‌یابد، در حالی که در سناریوی حمایت ۳/۹۵ درصد افزایش و در سناریوی احیا ۱/۵۰ درصد کاهش نشان می‌دهد. با توجه به بسته‌شدن مدل، پس‌انداز خارجی در سناریوهای کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی به‌ترتیب ۲/۹۴ و ۱۱/۴۵ درصد افزایش می‌یابد؛ این تغییر در سناریوهای حمایت و احیا به‌ترتیب ۸/۰۵ و ۴/۶۹ درصد است. این مقادیر بیانگر تعدیل حساب خارجی تحت نرخ ارز ثابت هستند و نباید به‌عنوان تغییر مستقیم واردات یا صادرات تفسیر شوند. از آنجا که خانوار در مدل به‌صورت یک نهاد تجمیعی بازنمایی شده است، نتایج امکان استنباط درباره تفاوت آثار رفاهی میان گروه‌های درآمدی را فراهم نمی‌کنند.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان می‌دهند که خدمات گرده‌افشانی علاوه‌بر نقش اکولوژیکی، یک نهاده اقتصادی مهم در ساختار تولید هستند و محدودیت در این خدمت می‌تواند از طریق پیوندهای تولیدی، قیمت‌ها و درآمد عوامل به سایر اجزای اقتصاد منتقل شود. هر دو مداخله سیاستی بخشی از آثار شوک شدید را تعدیل می‌کنند و تحت پارامترگذاری سناریوهای حاضر، احیای جزئی کاهش بیشتری در افت تولید، فشار قیمتی و زیان درآمد واقعی خانوار نسبت به سناریوی

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]

[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

حمایت تولیدی را نشان می‌دهد. با این‌حال، از آن‌جا که هزینه و طراحی دو مداخله یکسان نیستند، این نتیجه نباید به‌عنوان رتبه‌بندی هزینه- اثربخشی سیاست‌ها تفسیر شود. از منظر سیاستی، نتایج بر ضرورت در نظر گرفتن اقدامات حمایتی در کنار سیاست‌های حفاظت و احیای خدمات گرده‌افشانی تأکید دارند. همچنین، به‌دلیل ایستا بودن مدل، نتایج بیانگر تفاوت میان تعادل‌های مقایسه‌ای هستند و مسیر زمانی کاهش یا بازیابی خدمات گرده‌افشانی را شبیه‌سازی نمی‌کنند. توسعه مدل به یک چارچوب dynamic CGE و تفکیک خانوارها می‌تواند در مطالعات آینده امکان بررسی مسیرهای زمانی، هزینه‌های تعدیل و آثار توزیعی را فراهم سازد.

**واژه‌های کلیدی:** اقتصاد محیط زیست، تحلیل سیاستی، تنوع زیستی، سرمایه طبیعی، خدمات اکوسیستمی

## مقدمه

نظام‌های کشاورزی-غذایی اروپا با همگرایی فزاینده‌ای از فشارهای اکولوژیکی و اقتصادی مواجه‌اند که ناشی از فرسایش تنوع زیستی، تغییرات اقلیمی و افزایش بی‌ثباتی در بازارهای جهانی است (Gallai *et al*., 2009). در این چارچوب، گرده‌افشانی با واسطه جانوران به‌عنوان یکی از آسیب‌پذیرترین خدمات اکوسیستمی برجسته می‌شود. این خدمت، بهره‌وری، کیفیت و قابلیت اتکای بسیاری از محصولات با ارزش بالا را پشتیبانی می‌کند و از این‌رو یکی از ارکان اصلی عملکرد کشاورزی و تاب‌آوری نظام غذایی به‌شمار می‌رود .ارزیابی‌های جهانی اخیر هم ارزش اقتصادی قابل توجه خدمات گرده‌افشانی و هم عدم قطعیت چشمگیر پیرامون اندازه و مسیر کاهش آن‌ها را برجسته می‌کنند (Dicks *et al*., 2021; Montoya *et al*., 2019).

با وجود افزایش توجه به اهمیت اقتصادی گرده‌افشانی، بخش قابل توجهی از ادبیات موجود بر عوامل اکولوژیکی و پیامدهای زیست‌فیزیکی کاهش گرده‌افشان‌ها (Dicks *et al*., 2021) یا بر ارزش‌گذاری مستقیم اقتصادی در سطح محصولات، با استفاده از ارزش تولید و ضرایب وابستگی، متمرکز بوده است (Gallai *et al*., 2009). این مطالعات برای نشان دادن اهمیت اقتصادی خدمات گرده‌افشانی ضروری‌اند، اما تعدیلات قیمت، جانشینی میان کالاها و عوامل تولید و بازخوردهای بین‌بخشی را به‌طور کامل بازنمایی نمی‌کنند. در مقابل، تحلیل‌های تعادل عمومی نشان داده‌اند که آثار کاهش خدمات گرده‌افشانی می‌تواند از بخش‌های مستقیماً وابسته فراتر رود و از طریق پیوندهای تولیدی و تعدیلات بازار به سایر بخش‌های اقتصاد منتقل شود (Bauer & Sue Wing, 2016). در مطالعه بائر و سو وینگ (Bauer & Sue Wing 2016)، کاهش خدمات گرده‌افشانی به‌صورت کاهش برون‌زای بهره‌وری در بخش‌های زراعی وابسته بازنمایی شده است. مطالعه حاضر این مسیر را با بازنمایی صریح خدمات گرده‌افشانی به عنوان یک نهاده اولیه متمایز در ساختار تولید گسترش می‌دهد، به گونه‌ای که محدودیت اکولوژیکی مستقیماً از طریق این نهاده وارد سازوکار تعادل عمومی می‌شود. در مجموع، ادبیات موجود از یک سو اهمیت زیستی و اقتصادی گرده‌افشانی را نشان داده است و از سوی دیگر ظرفیت مدل‌های تعادل عمومی برای ثبت آثار غیر مستقیم شوک‌های اکولوژیکی را تأیید کرده است. با این‌حال، بازنمایی صریح خدمات گرده‌افشانی به عنوان یک نهاده متمایز تولید می‌تواند ارتباط میان وابستگی اکولوژیکی و سازوکارهای تعدیل اقتصادی را شفاف‌تر سازد.

هدف این مطالعه، تدوین یک چارچوب تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) شفاف و قابل تکرار است که خدمات گرده‌افشانی را به‌طور صریح در فرایندهای تولید محصولات وابسته به گرده‌افشانی وارد می‌کند و تحلیل‌های پیشین مبتنی بر CGE درباره کاهش گرده‌افشان‌ها را گسترش می‌دهد (Bauer & Sue Wing, 2016).

با مدل‌سازی گرده‌افشانی به‌عنوان یک نهاده بنیادینِ خدمات اکوسیستمی در ساختارهای تولید، این چارچوب از رویکردهای متعارفی فاصله می‌گیرد که کاهش تنوع زیستی را به‌صورت یک اختلال بهره‌وری نامتمایز در نظر می‌گیرند و امکان ارزیابی منسجم آثار آن در سطح کل اقتصاد را فراهم می‌کند. تحلیل حول دو پرسش پژوهشی اصلی سازماندهی شده است. پرسش نخست بررسی می‌کند که چگونه اختلال در خدمات گرده‌افشانی از طریق ساز و کارهای تعدیل تعادل عمومی منتشرشده و پیامدهایی برای تولید بخشی، قیمت‌های نسبی، رفاه خانوار و حساب خارجی ایجاد می‌کند. توجه ویژه‌ای به تغییرات در تولید بخشی، قیمت‌های نسبی، رفاه خانوار و تراز خارجی معطوف شده است تا هم پیامدهای مستقیم برای کشاورزی و هم سرریزهای غیر مستقیمی که فعالیت‌های پایین‌دستی و بخش‌های غیر کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، پوشش داده شود. پرسش دوم ظرفیت سیاست‌های هدفمند کاهش اثرات را برای تخفیف این پیامدهای اقتصادی بررسی می‌کند. در این زمینه، مطالعه حمایت هدفمند از تولید را با راهبرد احیای اکوسیستم مقایسه می‌کند، راهبردی که بخشی از کاهش خدمات گرده‌افشانی را در سناریوی تعریف‌شده بازیابی می‌کند.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) ایستا و تک‌کشوری استفاده می‌کند که بر اساس ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM) ایتالیا برای سال ۲۰۱۵ کالیبره شده است تا پیامدهای کل‌اقتصادی شوک‌های وارد بر خدمات گرده‌افشانی در نظام ملی کشاورزی-غذایی را بررسی کند (European Commission, Joint Research Centre, 2015). مدل‌های CGE نظریه تعادل عمومی را به یک چارچوب مدل‌سازی تجربی تبدیل می‌کنند که برای تحلیل تخصیص منابع، تعیین قیمت‌ها و توزیع درآمد در اقتصادهایی طراحی‌شده است که با بازارهای به‌هم پیوسته مشخص می‌شوند. از آن‌جا که این مدل‌ها روابط بین بخشی و آثار بازخوردی کلان‌اقتصادی را به‌طور صریح بازنمایی می‌کنند، برای ارزیابی سیاست‌های زیست‌محیطی و کشاورزی به‌ویژه در مواردی مناسب‌اند که شوک‌های اکولوژیکی یا سیاستی فراتر از بخش‌هایی گسترش می‌یابند که مستقیماً در معرض آن‌ها قرار

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]
[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

دارند (Bergman, 2005; Horridge *et al*., 2017; Jendrzejewski, 2020; Pan & Richardson, 2015).

پایگاه داده مبنا، ماتریس حسابداری اجتماعی‌زیستی (BioSAM) ایتالیا برای سال ۲۰۱۵ است که توسط مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا تهیه شده است. برای انطباق ساختار داده با هدف مطالعه، حساب‌های تولیدی و کالایی در پنج گروه اصلی شامل محصولات زراعی وابسته به گرده‌افشانی (PDC)، محصولات زراعی غیروابسته (PIC)، دام و محصولات دامی (LAP)، صنایع فرآوری مواد غذایی (FIP) و سایر فعالیت‌های غیر کشاورزی (NAS) تجمیع شدند. عوامل اولیه تولید شامل نیروی کار، سرمایه و خدمات گرده‌افشانی (POL) هستند و ساختار نهادی شامل خانوار، بنگاه، دولت و بقیه جهان است. پارامترهای سهم و ضرایب مقیاس مدل به‌گونه‌ای کالیبره شدند که تعادل مبنا جریان‌های ثبت‌شده در SAM سال ۲۰۱۵ را باز تولید کند. در نسخه تجمیع‌شده مورد استفاده، سهم کالیبره‌شده POL در ارزش افزوده بخش محصولات وابسته به گرده‌افشانی برابر ۰/۴۰ است.

مدل، یک اقتصاد ملی را بازنمایی می‌کند که از فعالیت‌های تولیدی، کالاها، عوامل اولیه، نهادها و تجارت بین‌الملل تشکیل شده است. فعالیت‌های تولیدی شامل تولید محصولات زراعی و دامی، فرآوری مواد غذایی، و همچنین بخش‌ها و خدمات غیر کشاورزی هستند. عاملان نهادی شامل خانوارها، بنگاه‌ها، دولت و بقیه جهان هستند. عوامل اولیه تولید شامل نیروی کار، سرمایه و خدمات گرده‌افشانی هستند. بازارهای کالا و عوامل تولید از طریق تعدیلات درون‌زای قیمت‌ها و مقادیر به یکدیگر متصل‌اند و این امکان را فراهم می‌کنند که شوک‌های ایجاد شده در یک بخش از اقتصاد به سایر بخش‌ها و نهادها منتقل شوند.

کالیبراسیون بر اساس ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM) انجام می‌شود که هم‌زمان به‌عنوان پایگاه داده عددی و بازنمایی تعادل مبنا در اقتصاد عمل می‌کند. SAM تمام معاملات پولی میان بخش‌های تولیدی، بازارهای عوامل تولید و نهادها را در چارچوبی حسابداری و متوازن ثبت می‌کند. پارامترهای مدل به‌گونه‌ای کالیبره می‌شوند که تعادل مبنا دقیقاً جریان‌های مشاهده شده در SAM را بازتولید کند و شرایط سود صفر و تسویه بازار را برآورده سازد (Kretschmer & Peterson, 2010; Robinson *et al*., 1999). این راهبرد کالیبراسیون تضمین می‌کند که شوک‌های شبیه‌سازی‌شده، پاسخ‌هایی را از نظر داخلی سازگار در تولید، مصرف، توزیع درآمد و تجارت ایجاد کنند (Jendrzejewski, 2020).

فناوری تولید در سطح فعالیت با استفاده از تابع ارزش‌افزوده کاب–داگلاس همراه با ضرایب ثابت نهاده‌های واسطه‌ای مشخص می‌شود. سهم روش‌شناختی کلیدی این مطالعه در ادغام صریح خدمات گرده‌افشانی در ساختار تولید محصولات وابسته به گرده‌افشانی نهفته است. به‌جای تقریب‌زدن زیان‌های گرده‌افشانی به‌صورت یک شوک برون‌زای بهره‌وری، گرده‌افشانی به‌عنوان یک نهاده متمایزِ خدمات اکوسیستمی در تولید مدل‌سازی می‌شود. بنا بر این، ستانده در فعالیت‌های وابسته به گرده‌افشانی به‌طور مشترک به نیروی کار، سرمایه و خدمات گرده‌افشانی وابسته است و با یک پارامتر اثربخشی گرده‌افشانی مقیاس‌بندی می‌شود.

ساختار پایه تابع تولید و شرایط تعادل از مشخصات استاندارد مدل‌های تعادل عمومی قابل محاسبه اقتباس شده است (Ochuodho & Alavalapati, 2016; Robinson *et al*., 1999). در مطالعه حاضر، این ساختار برای فعالیت‌های وابسته به گرده‌افشانی توسعه یافته است و خدمات گرده‌افشانی به‌عنوان یک عامل اولیه متمایز در آشیانه ارزش افزوده وارد شده است.

برای بخش‌های محصولات وابسته به گرده‌افشان‌ها، تولید با استفاده از یک فناوری آشیانه‌ای دومرحله‌ای بازنمایی می‌شود. در مرحله نخست، یعنی آشیانه درونی، یک ترکیب ارزش افزوده با استفاده از تابع ارزش افزوده کاب–داگلاس تولید می‌شود که در آن خدمات گرده‌افشانی به‌عنوان یک عامل اولیه صریح وارد و با پارامتر اثربخشی گرده‌افشانی مقیاس‌بندی می‌شود.

فرض کنید a شاخص فعالیت‌ها و $f \in \{LAB,CAP,POL\}$ شاخص عوامل اولیه باشند. برای فعالیت‌های وابسته به گرده‌افشانی $a \in Adep$، ترکیب ارزش افزوده به‌صورت زیر است:

$$QA_a = ad_a \left[\prod_{f\in\{LAB,CAP\}} QFf_{,a}^{\alpha f_{,a}}\right] \times \left[polEff_a\, QFPOL_{,a}^{\alpha POL_{,a}}\right], \quad \Sigma_f \alpha f_{,a} = 1 \qquad (۱)$$

برای فعالیت‌های غیر وابسته $a \notin Adep$، گرده‌افشانی وارد آشیانه ارزش افزوده نمی‌شود:

$$QA_a = ad_a \prod_{f \in \{LAB, CAP\}} QFf_{,a}^{\alpha f_{,a}} \qquad (۲)$$

در اینجا، $QA_a$ ترکیب ارزش افزوده، $QFf_{,a}$ تقاضای فعالیت a برای عامل f، $ad_a$ پارامتر کارایی یا انتقال و $\alpha f_{,a}$ سهم هزینه‌ای عوامل تولید است که بر اساس SAM کالیبره می‌شود. $polEff_a$ ضریب اثربخشی گرده‌افشانی است؛ کاهش در این پارامتر، نهاده مؤثر گرده‌افشانی را کاهش داده و هزینه‌های واحد تولید را در بخش‌های وابسته به گرده‌افشانی افزایش می‌دهد. در مرحله دوم، یعنی آشیانه بیرونی، ستانده ناخالص از ترکیب ارزش‌افزوده حاصل از مرحله نخست با نهاده‌های واسطه‌ای تولید می‌شود که می‌تواند به‌صورت لئونتیف مشخص شود.

ضرایب وابستگی محصولات به گرده‌افشانی بر اساس طبقه‌بندی کلین و همکاران (Klein *et al*., 2007) تعیین شدند. در حساب‌های تجمیعی که شامل چند محصول با درجات متفاوت وابستگی بودند، اطلاعات سهم سطح برداشت برای تجمیع ضرایب مورد استفاده قرار گرفت (Schulp *et al*., 2014). سپس، سهم متناظر خدمات گرده‌افشانی از بلوک ارزش افزوده فعالیت‌های وابسته جدا و به‌عنوان عامل اولیه POL ثبت شد و ارزش افزوده باقی‌مانده میان نیروی کار و سرمایه متناسب با سهم اولیه آن‌ها تخصیص یافت. این بازتخصیص جمع ارزش افزوده و توازن SAM را تغییر نمی‌دهد و بنا بر این، ورود POL موجب ایجاد مصنوعی ارزش افزوده جدید در اقتصاد مبنا نمی‌شود.

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]
[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

بازارهای کالا از فرض آرمینگتون پیروی می‌کنند که امکان جانشینی ناقص میان کالاهای تولید داخل و وارداتی را فراهم می‌سازد، در حالی‌که عرضه صادراتی بر اساس تابع کشش ثابت تبدیل (CET) تعیین می‌شود. کشش‌های جانشینی آرمینگتون و تبدیل CET بر اساس داده‌های کشش در سطح محصول از GTAP Database، متعلق به Global Trade Analysis Project (GTAP, n.d.) تعیین شدند. برای انطباق با سطح تجمیع مدل، محصولات متناظر با هر حساب کالایی شناسایی شدند و میانگین مقادیر کشش آن‌ها برای هر حساب محاسبه شد. مقادیر نهایی مورد استفاده برای کشش جانشینی آرمینگتون و کشش تبدیل CET به‌ترتیب ۰/۷۰ و ۲/۰۰ هستند. این مقادیر در جدول ۱ گزارش شده‌اند.

جدول ۱- کشش‌های تجاری مورد استفاده در مدل

Table 1. Trade elasticities used in the model

| حساب<br>Account | کشش آرمینگتون<br>Armington elasticity | کشش CET<br>CET elasticity |
|---|---|---|
| محصولات وابسته به گرده‌افشانی (PDC)<br>Pollination-dependent crops (PDC) | 0.70 | 2.00 |
| محصولات غیر وابسته به گرده‌افشانی (PIC)<br>Pollination-independent crops (PIC) | 0.70 | 2.00 |
| دام و محصولات دامی (LAP)<br>Livestock and animal products (LAP) | 0.70 | 2.00 |
| فرآوری مواد غذایی (FIP)<br>Food processing (FIP) | 0.70 | 2.00 |
| سایر فعالیت‌های غیر کشاورزی (NAS)<br>Other non-agricultural activities (NAS) | 0.70 | 2.00 |

منبع: GTAP Database؛ تجمیع و میانگین‌گیری نویسندگان.

Source: GTAP Database; authors' aggregation and averaging.

خانوارها درآمد خود را از مالکیت عوامل تولید و انتقالات دریافت می‌کنند، مالیات‌های مستقیم می‌پردازند و درآمد قابل تصرف را میان مصرف و پس‌انداز تخصیص می‌دهند؛ تغییرات رفاهی به‌صورت تغییر در درآمد واقعی خانوار گزارش می‌شود، یعنی درآمد اسمی خانوار که با شاخص قیمت مصرف‌کننده تعدیل شده است. درآمد دولت از مالیات‌های مستقیم و غیر مستقیم حاصل می‌شود، در حالی‌که تقاضای دولت برای کالاها در سطوح مبنا ثابت نگه داشته می‌شود. تقاضای سرمایه‌گذاری دارای ترکیب ثابت است و به‌صورت نسبی از طریق یک عامل مقیاس‌بندی سرمایه‌گذاری تعدیل می‌شود. بسته‌شدن کلان‌اقتصادی مدل بر اساس تصریح سرمایه‌گذاری مبتنی‌بر پس‌انداز انجام می‌شود، به‌گونه‌ای‌که نرخ‌های پس‌انداز خانوار ثابت نگه داشته می‌شوند و کل سرمایه‌گذاری به‌صورت درون‌زا تعدیل می‌شود. عرضه نیروی کار و سرمایه ثابت و با اشتغال کامل فرض می‌شود و قیمت عوامل تولید برای تسویه بازارها تعدیل می‌گردد. عرضه خدمات گرده‌افشانی در سطح مبنای خود ثابت است و قیمت متناظر آن به‌صورت درون‌زا تعدیل می‌شود. در حساب خارجی، نرخ ارز ثابت است و پس‌انداز خارجی به‌صورت درون‌زا تعدیل می‌شود تا تعادل تراز پرداخت‌ها برقرار گردد؛ از این‌رو، تغییرات پس‌انداز خارجی در نتایج به‌عنوان تعدیل حساب خارجی تحت بسته‌شدن انتخاب‌شده تفسیر می‌شوند، نه به‌عنوان تغییر مستقیم واردات یا صادرات. شاخص قیمت مصرف‌کننده به‌عنوان نومرر استفاده می‌شود و سطح کلی قیمت‌ها را تثبیت می‌کند.

تحلیل با ایجاد یک تعادل مبنا آغاز می‌شود. سپس، شبیه‌سازی‌های سیاستی، کاهش ۱۰ درصدی و ۳۰ درصدی در اثربخشی گرده‌افشانی و همچنین سناریوهای کاهش اثرات را وارد می‌کنند که کاهش ۳۰ درصدی را با حمایت تولیدی یا احیای جزئی اکوسیستم ترکیب می‌کنند. کاهش‌های ۱۰ و ۳۰ درصدی به‌عنوان سناریوهای اکتشافی با دو شدت متفاوت تعریف شده‌اند و نباید به‌عنوان برآورد تجربی یا پیش‌بینی میزان کاهش آینده خدمات گرده‌افشانی تفسیر شوند. این سناریوهای سبک‌شده بخشی از مرحله روش‌شناختی یک پروژه پژوهشی اروپایی هستند و در مراحل بعدی می‌توانند با استفاده از اطلاعات زمینه‌ای Living Labs پالایش یا جایگزین شوند. اثربخشی گرده‌افشانی در وضعیت مبنا برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. در سناریوی s، اگر نرخ کاهش اثربخشی $d_s$ باشد، اثربخشی مؤثر برابر $1-d_s$ خواهد بود؛ بنا بر این، کاهش‌های ۱۰ و ۳۰ درصدی به ترتیب متناظر با مقادیر ۰/۹۰ و ۰/۷۰ برای پارامتر اثربخشی هستند. این شوک مستقیماً اثربخشی خدمات گرده‌افشانی را کاهش می‌دهد و به‌عنوان کاهش مستقیم نیروی کار، سرمایه یا سایر نهاده‌ها اعمال نمی‌شود. روابط (۳) تا (۶) مشخصات سناریویی تدوین‌شده در مطالعه حاضر هستند.

$$\mathrm{polEff_a}^{s} = \{1 - d_s, a \in \mathrm{Adep}; 1, a \notin \mathrm{Adep}\} \quad (۳)$$

برای سناریوی حمایت هدفمند، اثربخشی گرده‌افشانی مطابق کاهش فوق تغییر می‌کند و حمایت از تولید به‌صورت یک یارانه فعالیتی ارزشی بر بخش‌های وابسته به گرده‌افشانی بازنمایی می‌شود، به این صورت که نرخ مالیات فعالیت کاهش می‌یابد:

$$\mathrm{sa_a}^{s} = \{ \mathrm{sa_a}^{0} - \tau\mathrm{sub}, a \in \mathrm{Adep} ; \mathrm{sa_a}^{0}, a \notin \mathrm{Adep} \} \quad (۴)$$

که در آن $\tau\mathrm{sub} > 0$ نرخ حمایت یا معادل یارانه‌ای است. برای سناریوی احیای جزئی اکوسیستم، اثربخشی گرده‌افشانی بخشی از کاهش اولیه را به میزان $r_s$ بازیابی می‌کند:

$$\mathrm{polEff_a^s} = 1 - (1 - r_s)d_s,\ a \in \mathrm{A_{dep}};\ \mathrm{polEff_a^s} = 1,\ a \notin \mathrm{A_{dep}} \quad (۵)$$

برای انعکاس هزینه‌های برنامه، تقاضای دولت برای خدمات غیر کشاورزی با یک عامل مقیاس‌بندی افزایش می‌یابد:

$$\mathrm{qg}(c*)^{s} = \mathrm{qg}(c*)^{0}(1+\varphi) \quad (۶)$$

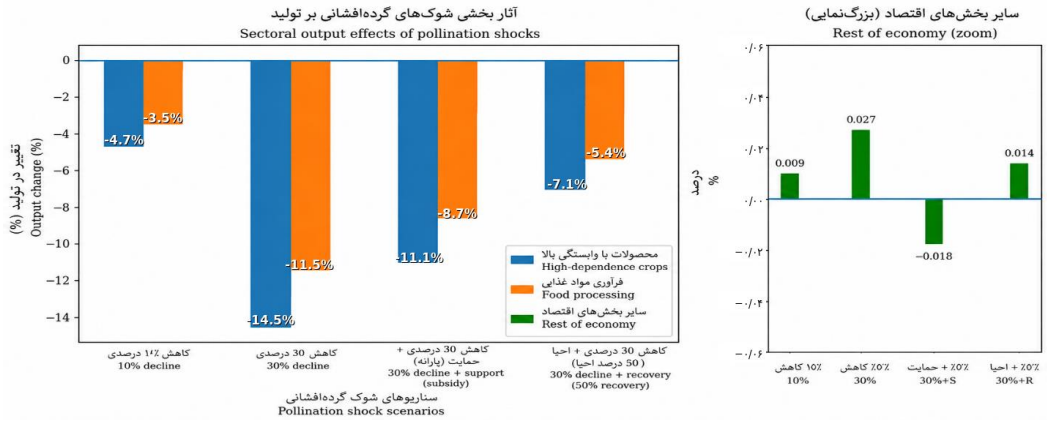
که در آن، $\varphi$ نشان‌دهنده افزایش نسبی و $c^*$ کالای انتخاب‌شده است که در این مطالعه خدمات غیر کشاورزی در نظر گرفته می‌شود. خدمات احیا از طریق خدمات غیر کشاورزی

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]
[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

تقریب زده می‌شوند، زیرا مدیریت اکوسیستم ماهیتی خدمت‌محور و متکی بر خدمات دارد. نتایج شبیه‌سازی به‌صورت درصد انحراف از وضعیت مبنا برای شاخص‌های کلیدی از جمله تولید، قیمت‌ها، رفاه خانوار و ترازهای کلان‌اقتصادی گزارش می‌شوند و امکان مقایسه شفاف میان سناریوهای مختلف شوک و سیاستی را فراهم می‌کنند.

## نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که کاهش در خدمات گرده‌افشانی، آثار تولیدی بزرگ و به شدت نامتوازنی را در میان بخش‌ها ایجاد می‌کند. ستانده بخش‌های محصولات زراعی وابسته به گرده‌افشانی به‌شدت کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در سناریوهای شوک شدیدتر، زیان‌ها به درصدهای دو رقمی می‌رسند. در مقابل، بخش‌هایی که وابستگی اندک یا هیچ وابستگی‌ای به گرده‌افشانی ندارند، تنها تغییرات کوچکی را در ستانده تجربه می‌کنند. با افزایش شدت شوک از ۱۰ به ۳۰ درصد، میزان کاهش ستانده در بخش‌های وابسته به گرده‌افشانی و صنایع فرآوری غذایی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. نکته مهم آن است که آثار ایجادشده فراتر از کشاورزی اولیه گسترش می‌یابند. کاهش ستانده محصولات زراعی وابسته به گرده‌افشانی به سرریزهای قابل اندازه‌گیری در بخش فرآوری مواد غذایی منجر می‌شود، به‌طوری که ستانده این بخش، با وجود نبود مواجهه مستقیم اکولوژیکی، کاهش می‌یابد. این آثار پایین‌دستی از طریق افزایش هزینه نهاده‌ها و کاهش دسترسی به نهاده‌های کلیدی کشاورزی ایجاد می‌شوند. در مقابل، سایر بخش‌های اقتصاد تعدیلات نسبتاً محدودی را تجربه می‌کنند که بازتاب پیوندهای تولیدی ضعیف‌تر است.




شکل ۱– آثار بخشی شوک‌های گرده‌افشانی بر تولید (منبع: یافته‌های تحقیق)
Figure 1. Sectoral output effects of pollination shocks (Source: Research findings)

جدول ۲– تغییر ستانده بخشی نسبت به تعادل مبنا (٪)
Table 2. Sectoral output changes relative to the benchmark (%)

| سناریو<br>Scenario | محصولات وابسته<br>Pollination-dependent crops | فرآوری غذایی<br>Food processing | سایر اقتصاد<br>Rest of economy |
|---|---|---|---|
| کاهش ۱۰ درصد<br>10% decline | −4.7 | −3.5 | +0.009 |
| کاهش ۳۰ درصد<br>30% decline | −14.5 | −11.5 | +0.027 |
| ۳۰ درصد + حمایت<br>30% + support | −11.1 | −8.7 | −0.018 |
| ۳۰ درصد + احیا<br>30% + restoration | −7.1 | −5.4 | +0.014 |

منبع: یافته‌های تحقیق.
Source: Research findings.

همان گونه که در شکل ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است، در سناریوی کاهش ۱۰ درصدی اثربخشی گرده‌افشانی، ستانده محصولات وابسته به گرده‌افشانی و صنایع فرآوری غذایی به‌ترتیب حدود ۴/۷ و ۳/۵ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش شدت شوک به ۳۰ درصد، این کاهش‌ها به‌ترتیب به حدود ۱۴/۵ و ۱۱/۵ درصد می‌رسند. در سناریوی حمایت تولیدی، افت ستانده این دو گروه به‌ترتیب به حدود ۱۱/۱ و ۸/۷ درصد و در سناریوی احیای جزئی به حدود ۷/۱ و ۵/۴ درصد محدود می‌شود. تغییرات سایر بخش‌های اقتصاد در تمام سناریوها بسیار کوچک باقی می‌مانند. شوک‌های گرده‌افشانی عمدتاً از طریق سازوکارهای قیمتیِ فشار هزینه‌ای در اقتصاد منتقل می‌شوند. در سناریوی کاهش ۱۰ درصدی، قیمت تولیدکننده ۳/۵۳ درصد و قیمت مواد غذایی ۰/۰۶ درصد افزایش می‌یابد؛ در سناریوی کاهش ۳۰ درصدی، این تغییرات به‌ترتیب به ۱۲/۵۶ و ۰/۲۰ درصد می‌رسند. در سناریوهای حمایت و احیای جزئی، افزایش قیمت تولیدکننده به‌ترتیب ۹/۱۹ و ۵/۵۰ درصد و افزایش قیمت مواد غذایی ۰/۱۵ و ۰/۰۹ درصد است. این الگو نشان می‌دهد که بیشترین فشار قیمتی در بازار محصولات زراعی وابسته به گرده‌افشانی متمرکز است و اثر قیمتی در بخش‌های غیر کشاورزی محدود باقی می‌ماند. آثار ترکیبی تولید و قیمت نیز به کاهش درآمد واقعی خانوار تجمیعی منجر می‌شود.

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]
[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]




شکل ۲– انتقال قیمتی و آثار رفاهی خانوار ناشی از شوک‌های گرده‌افشانی (منبع: یافته‌های تحقیق)
Figure 2. Price transmission and household welfare effects of pollination shocks (Source: Research findings)

جدول ۳– شاخص‌های منتخب شبیه‌سازی؛ درصد تغییر نسبت به تعادل مبنا
Table 3. Selected simulation indicators; % change from the benchmark

| ۳۰ درصد + احیا<br>30% + restoration | ۳۰ درصد + حمایت<br>30% + support | کاهش ۳۰ درصد<br>30% decline | کاهش ۱۰ درصد<br>10% decline | شاخص<br>Indicator |
|---|---|---|---|---|
| +5.50 | +9.19 | +12.56 | +3.53 | قیمت تولیدکننده<br>Producer price |
| +0.09 | +0.15 | +0.20 | +0.06 | قیمت مواد غذایی<br>Food price |
| −0.12 | −0.20 | −0.28 | −0.08 | درآمد واقعی خانوار<br>Real household income |
| −0.10 | −0.30 | −0.38 | −0.10 | دستمزد<br>Wage |
| −0.18 | −0.27 | −0.40 | −0.11 | بازده سرمایه<br>Capital return |
| −1.50 | +3.95 | −2.69 | −1.02 | بازده عامل خدمات گرده‌افشانی (POL)<br>Pollination-service factor return (POL) |
| +4.69 | +8.05 | +11.45 | +2.94 | پس‌انداز خارجی<br>Foreign savings |

منبع: یافته‌های تحقیق.
Source: Research findings.

کاهش درآمد عوامل تولید که با سطوح پایین‌تر تولید همراه است، در کنار افزایش قیمت مواد غذایی، درآمد واقعی خانوار تجمیعی را کاهش می‌دهد. درآمد واقعی خانوار در سناریوهای کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی به‌ترتیب ۰/۰۸ و ۰/۲۸ درصد کاهش می‌یابد؛ این کاهش در سناریوهای حمایت و احیای جزئی به‌ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۱۲ درصد است. از آن‌جا که خانوار در مدل حاضر به صورت یک نهاد تجمیعی بازنمایی شده است، نتایج امکان استنباط درباره تفاوت آثار رفاهی میان گروه‌های درآمدی یا اجتماعی مختلف را فراهم نمی‌کنند؛ بنا بر این، تغییرات رفاهی گزارش شده باید به عنوان اثر در سطح خانوار تجمیعی تفسیر شوند. حساب خارجی نیز به شوک گرده‌افشانی واکنش نشان می‌دهد. با توجه به بسته‌شدن مدل که در آن نرخ ارز ثابت و پس‌انداز خارجی درون‌زا است، پس‌انداز خارجی در سناریوهای کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی به ترتیب ۲/۹۴ و ۱۱/۴۵ درصد نسبت به تعادل مبنا افزایش می‌یابد. در سناریوی حمایت تولیدی، این تغییر ۸/۰۵ درصد و در سناریوی احیای جزئی ۴/۶۹ درصد است. این مقادیر بیانگر تعدیل حساب خارجی تحت بسته‌شدن انتخاب‌شده هستند و نباید به عنوان تغییر مستقیم واردات یا صادرات تفسیر شوند. این سازوکارها در شکل ۲ خلاصه شده‌اند که کانال‌های قیمت، درآمد عوامل تولید، رفاه خانوار و تعدیل حساب خارجی را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص‌های منتخب در جدول ۳ گزارش شده‌اند.

انحرافات درصدی از تعادل مبنا افزایش فشار هزینه‌ای در قیمت‌های تولیدکننده و مواد غذایی و زیان درآمد واقعی خانوار را نشان می‌دهند؛ همچنین، تعدیل نسبی این آثار تحت سیاست‌های حمایتی و احیایی را نمایش می‌دهند. شبیه‌سازی‌های سیاستی تفاوت‌هایی را میان دو نوع مداخله نشان می‌دهند. اقدامات حمایتی هدفمند بخشی از زیان تولید و فشارهای قیمتی ناشی از شوک را کاهش می‌دهند، در حالی که در سناریوی احیای جزئی، بازیابی بخشی از اثربخشی گرده‌افشانی موجب کاهش بیشتر افت تولید، فشار قیمتی و زیان درآمد واقعی خانوار نسبت به سناریوی حمایت، تحت پارامترگذاری حاضر، می‌شود. با این حال، این نتایج بیانگر مقایسه تعادل‌های سناریویی هستند و نباید به عنوان مسیر زمانی بازیابی، برتری بلندمدت یکی از مداخلات یا رتبه‌بندی هزینه–اثربخشی سیاست‌ها تفسیر شوند.

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]
[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

الگوی کلی نتایج با مطالعات پیشین درباره آثار اقتصادی کاهش گرده‌افشانی سازگار است. بائر و سو (Bauer & Sue Wing, 2016) نشان می‌دهند که اختلال در خدمات گرده‌افشانی می‌تواند از فعالیت‌های مستقیماً وابسته فراتر رفته و از طریق پیوندهای تولیدی و تعدیلات بازار به سایر بخش‌های اقتصاد منتقل شود؛ الگویی که در مطالعه حاضر نیز در سرریز کاهش تولید به صنایع فرآوری مواد غذایی مشاهده می‌شود. در مقابل، مطالعات ارزش‌گذاری مستقیم مانند گالای و همکاران (Gallai *et al*., 2009)، عمدتاً اهمیت اقتصادی گرده‌افشانی را بر اساس ارزش تولید و ضرایب وابستگی محصولات اندازه‌گیری می‌کنند. نتایج حاضر مکمل این رویکرد هستند، زیرا نشان می‌دهند که پس از ورود شوک به یک چارچوب تعادل عمومی، تعدیلات قیمت، درآمد عوامل تولید و پیوندهای بین‌بخشی نیز در تعیین پیامد اقتصادی نهایی نقش دارند.

یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر استفاده از چارچوب تعادل عمومی ایستا است. بنا بر این، نتایج سناریوها تفاوت میان تعادل‌های مقایسه‌ای تحت سطوح مختلف خدمات گرده‌افشانی و مداخلات سیاستی را نشان می‌دهند و نباید به‌عنوان پیش‌بینی مسیر زمانی کاهش یا بازیابی اکوسیستم تفسیر شوند. توسعه مدل به یک چارچوب recursive-dynamic یا dynamic CGE می‌تواند در مطالعات آینده امکان بررسی مسیرهای زمانی، هزینه‌های تعدیل و پویایی بازیابی خدمات اکوسیستمی را فراهم سازد. همچنین، تفکیک خانوارها در توسعه‌های آتی می‌تواند امکان بررسی آثار توزیعی میان گروه‌های درآمدی مختلف را فراهم کند.

## نتیجه‌گیری کلی

### پیامدهای عملی

مدل به‌عنوان ابزاری برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری عمل می‌کند و می‌تواند برای سیاست‌گذاران، تحلیلگران و سایر ذی‌نفعانی مفید باشد که در پی شناسایی ریسک‌های مرتبط با گرده‌افشانی و ارزیابی پیامدهای اقتصادی گزینه‌های سیاستی هستند. نتایج نشان می‌دهند که کاهش گرده‌افشانی آثاری را ایجاد می‌کند که در سراسر نظام غذایی گسترش می‌یابند. زیان‌های تولیدی در محصولات وابسته به گرده‌افشانی به فعالیت‌های فرآوری مواد غذایی سرایت می‌کنند و در نهایت به افزایش قیمت‌های مصرف‌کننده و کاهش درآمد واقعی خانوار تجمیعی منجر می‌شوند. شبیه‌سازی‌های سیاستی نشان می‌دهند که اقدامات حمایتی هدفمند می‌توانند بخشی از زیان‌های تولیدی و فشارهای قیمتی را کاهش دهند و سناریوی احیای جزئی، تحت پارامترگذاری حاضر، تعدیل بیشتری در شاخص‌های گزارش‌شده ایجاد می‌کند. از منظر سیاستی، نتایج بر ضرورت در نظر گرفتن مجموعه‌ای مکمل از مداخلات تأکید دارند که در آن اقدامات حمایتی برای تعدیل آثار اقتصادی شوک‌ها با سیاست‌های حفاظت و احیای خدمات گرده‌افشانی همراه شوند. با این حال، انتخاب ترکیب مناسب این سیاست‌ها مستلزم توجه هم‌زمان به هزینه اجرای مداخلات، محدودیت‌های بودجه‌ای و میزان بازیابی خدمات اکوسیستمی است؛ عواملی که در مدل حاضر به‌صورت کامل ارزیابی نشده‌اند.

### پیامدهای نظری

گنجاندن گرده‌افشانی در ساختار تولید یک مدل CGE، پیشرفتی اساسی در ادغام خدمات اکوسیستمی در تحلیل کلان‌اقتصادی به‌شمار می‌رود. این چارچوب با فراتر رفتن از رویکردی که کاهش تنوع زیستی را صرفاً به عنوان یک اختلال عمومی در بهره‌وری در نظر می‌گیرد و با پیونددادن مستقیم کمیابی اکولوژیکی به ساختار اقتصادی زیربنایی، امکان می‌دهد تا محدودیت‌های گرده‌افشانی به‌صورتی منظم و از نظر داخلی سازگار بر بازارهای عوامل تولید، قیمت‌های نسبی و روابط بین‌بخشی اثر بگذارند. در معنایی گسترده‌تر، راهبرد مدل‌سازی این مطالعه الگویی قابل انتقال برای وارد کردن سایر خدمات اکوسیستمی، مانند تنظیم آب یا حاصل‌خیزی خاک، را در چارچوب‌های تحلیلی سطح کل اقتصاد فراهم می‌کند. به این ترتیب، این رویکرد به توسعه جاری مدل‌سازی CGE معطوف به پایداری کمک می‌کند، آن هم از طریق تقویت بنیان‌های نظری و ساختاری‌ای که بر اساس آن‌ها می‌توان تعاملات میان تنوع زیستی و اقتصاد را بازنمایی کرد.

## References

Bauer, D. M., & Sue Wing, I. (2016). The macroeconomic cost of catastrophic pollinator declines. *Ecological Economics,* 126, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.011

Bergman, L. (2005). CGE modeling of environmental policy and resource management. *Handbook of Environmental Economics,* 3, 1273-1306. https://doi.org/10.1016/S1574-0099(05)03024-X

Dicks, L. V., Breeze, T. D., Ngo, H. T., Senapathi, D., An, J., Aizen, M. A., ... & Potts, S. G. (2021). A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nature Ecology & Evolution,* 5(10), 1453-1461. https://doi.org/10.1038/s41559-021-01534-9

European Commission, Joint Research Centre. (2015). BIOSAMS_EU_2015 dataset [Data set]. JRC DataM. https://datam.jrc.ec.europa.eu/datam/mashup/BIOSAMS_EU_2015/index.html

Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics,* 68(3), 810–821. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014

Global Trade Analysis Project (GTAP). (n.d.). GTAP Data Base [Data set]. Center for Global Trade Analysis, Purdue University. https://gtap.agecon.purdue.edu/databases/

Horridge, M., Rokicki, B., & Zawalińska, K. (2017). The TERM regional CGE model and examples of its application in Poland. *University of Warsaw Press.* https://doi.org/10.31338/uw.9788323528890

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]

[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]

Jendrzejewski, B. (2020). Bioeconomic modelling–An application of environmentally adjusted economic accounts and the computable general equilibrium model. *Land Use Policy,* 92, 104431. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104431

Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Kretschmer, B., & Peterson, S. (2010). Integrating bioenergy into computable general equilibrium models – A survey. *Energy Economics,* 32(3), 673–686. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.09.011

Montoya, D., Haegeman, B., Gaba, S., de Mazancourt, C., Bretagnolle, V., & Loreau, M. (2019). Trade-offs in the provisioning and stability of ecosystem services in agroecosystems. *Ecological Applications,* 29(2), Article e01853. https://doi.org/10.1002/eap.1853

Ochuodho, T. O., & Alavalapati, J. R. R. (2016). Integrating natural capital into system of national accounts for policy analysis: An application of a computable general equilibrium model. *Forest Policy and Economics,* 72, 99–105. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.06.020

Pan, Q., & Richardson, H. W. (2015). Theory and methodologies: Input–output, SCPM and CGE. In H. W. Richardson, Q. Pan, J. Park, & J. E. Moore II (Eds.), Regional economic impacts of terrorist attacks, natural disasters and metropolitan policies (pp. 21–45). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14322-4_2

Robinson, S., Yúnez-Naude, A., Hinojosa-Ojeda, R., Lewis, J. D., & Devarajan, S. (1999). From stylized to applied models: Building multisector CGE models for policy analysis. *The North American Journal of Economics and Finance,* 10(1), 5–38. https://doi.org/10.1016/S1062-9408(99)00014-5

Schulp, C. J. E., Lautenbach, S., & Verburg, P. H. (2014). Quantifying and mapping ecosystem services: Demand and supply of pollination in the European Union. *Ecological Indicators,* 36, 131–141. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.014

[ Downloaded from efs.sanru.ac.ir on 2026-11-23 ]

[ DOI: 10.66224/efs.2026.90 ]