

Comparative Assessment of Sustainable Development in Countries with an Emphasis on Sustainable Agriculture (Case Study: Iran, India, the Netherlands, and Germany)

Aliakbar Taghilo¹ 

Professor, Department of Geography, Urmia University, Urmia, Iran

Rozita Mirahmadi

PhD Student, Department of Geography, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 11 June 2026 Revised: 26 July 2026 Accepted: 28 July 2026

Abstract

Sustainability is a multidimensional concept that underlines the stability and continuity of benefits over time, requiring dynamic adaptation and a delicate equilibrium among environmental, economic, and social dimensions. Therefore, this study aims to conduct a comparative assessment of sustainability indicators across diverse nations. A comparative-analytical research design was employed, and documentary approach informed by secondary data was adopted for data collection. The data analysis was conducted using three primary statistical tools: the Normalization Index, the Relative Growth Index (RGI), and the Compound Annual Growth Rate (CAGR). This study, based on the analysis and normalization of data from four countries—Germany, the Netherlands, India, and Iran—for the two time points of 2010 and 2023, reveals the existence of three distinct patterns in the global agricultural sector. First, the technology-driven and sustainability-oriented pattern: Germany and the Netherlands, having completed the transition from labor-intensive agriculture to capital-intensive models, have succeeded in maximizing economic productivity (output value) despite a substantial reduction in agricultural labor, primarily through extensive mechanization and precise input management. In this context, the Netherlands, by becoming a major

1. Corresponding Author. Email: a.taghilo@gmail.com



©2024 The author(s). This is an open access article under the CC BY license: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

How to cite this article: Taghilo, A. & Mirahmadi, R. (2026). Comparative Assessment of Sustainable Development in Countries with an Emphasis on Sustainable Agriculture (Case Study: Iran, India, the Netherlands, and Germany). *Journal of Geography and Regional Development*, 24(1), 445-490. <https://doi.org/10.22067/jgrd.2026.99288.1667>

exporter of agricultural inputs, particularly fertilizers, has transformed its position from that of a consumer into that of a key factor in the global value chain. Second, the traditional and labor-dependent pattern: India, by maintaining a high level of agricultural employment and a strong dependence on chemical pest-management practices, remains in the process of transitioning from traditional to modern agriculture. However, the recent surge in imports of critical fertilizers indicates growing pressure on food security and an urgent need for self-sufficiency in strategic agricultural inputs. Third, the crisis-prone and transformation-dependent pattern: In this comparison, Iran exhibits a pattern characterized by structural challenges. The decline in the value added generated by agricultural production, coupled with high dependence on pesticides and the underutilization of bioenergy potential, highlights the need to reconsider resource management—particularly water and soil resources—and to transition from traditional management practices toward precision agriculture.

Keyword: Sustainable Agricultural Development, Comparative Analysis, Iran, India, Germany.

ارزیابی تطبیقی توسعه پایدار کشورها با تأکید بر کشاورزی پایدار (مطالعه موردی ایران، هند، هلند و آلمان)

علی اکبر تقیلو  (استاد گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، نویسنده مسئول)

a.taghilo@gmail.com

روزینا میراحمدی (دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران)

r.mirahmadi@urmia.ac.ir

چکیده

پایداری مفهومی چندبعدی است که بر ثبات و تداوم مزایا در طول زمان تأکید دارد و تحقق آن نیازمند نوعی سازگاری پویا و تعادل میان ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. هدف این تحقیق بررسی تطبیقی شاخص‌های پایداری در کشورهای مختلف است. روش تحقیق تحلیلی-تطبیقی و روش جمع‌آوری داده مبتنی بر روش اسنادی بر پایه داده‌های ثانویه بوده است. در تجزیه و تحلیل اطلاعات نیز از سه شاخص نرمال‌سازی، شاخص تغییرات نسبی (RGI) و شاخص رشد مرکب استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ایران با چالش جریان‌های معکوس روبه‌روست. این مطالعه با تحلیل و نرمال‌سازی داده‌های چهار کشور آلمان، هلند، هند و ایران در دو بازه زمانی ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳، نشان‌دهنده وجود سه الگوی متمایز در بخش کشاورزی جهانی است، اول، الگوی تکنولوژی‌محور و پایداری، آلمان و هلند با گذار کامل از کشاورزی کاربرمحور به مدل‌های سرمایه‌محور، توانسته‌اند با وجود کاهش چشمگیر نیروی کار، از طریق مکانیزاسیون شدید و مدیریت دقیق نهاده‌ها، بهره‌وری اقتصادی (ارزش تولید) را به حداکثر برسانند. در این میان، هلند با تبدیل شدن به یک قطب صادرات نهاده‌های کشاورزی (کود)، توانسته است از مرحله مصرف‌کننده به مرحله بازیگر کلیدی در زنجیره ارزش جهانی تغییر وضعیت دهد. دوم، الگوی سنتی و وابسته به نیروی کار، هند با حفظ سطح بالای اشتغال کشاورزی و وابستگی شدید به مدیریت شیمیایی آفات، همچنان در گذار از کشاورزی سنتی به مدرن قرار دارد. با این حال، جهش اخیر در واردات کودهای حیاتی،

نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال بیست و چهارم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۵، شماره پیاپی ۵۴ صص ۴۹۰-۴۴۵

تاریخ تصویب: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۲۰

نشان‌دهنده فشار فزاینده بر امنیت غذایی و نیاز مبرم به خودکفایی در نهاده‌های استراتژیک است. و سوم، الگوی در حال بحران و نیازمند تحول، ایران در این مقایسه، الگویی را نشان می‌دهد که با چالش‌های ساختاری روبه‌روست. کاهش ارزش افزوده تولیدات در کنار وابستگی بالا به آفت‌کش‌ها و عدم بهره‌برداری از پتانسیل‌های انرژی‌های زیستی، نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در مدیریت منابع (به‌ویژه آب و خاک) و گذار از مدیریت سنتی به کشاورزی دقیق است.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار کشاورزی، تحلیل تطبیقی، ایران، هند، آلمان.

۱. مقدمه

پایداری مفهومی چندبعدی است که بر ثبات و تداوم مزایا در طول زمان تأکید دارد و تحقق آن نیازمند نوعی سازگاری پویا و تعادل میان ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است (لیتل^۱ و همکاران، ۲۰۱۶) در این چارچوب، کشاورزی پایدار تلاشی هدفمند برای تأمین نیازهای کنونی بدون تضعیف ظرفیت نسل‌های آینده، به‌منظور پاسخ‌گویی به نیازهای خود به‌شمار می‌آید (شارما و کی سی^۲، ۲۰۲۴). این رویکرد مستلزم آن است که نظام‌های تولیدی، سه محور اساسی سودآوری اقتصادی، سلامت و تمامیت زیست‌محیطی و عدالت اجتماعی را به‌صورت هم‌زمان حفظ کنند براساس تعریف سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد^۳ [FAO]، کشاورزی پایدار باید بر سه ستون اصلی استوار باشد: حفاظت محیط‌زیست (شی و امیر^۴، ۲۰۲۴)، توسعه و ثبات اقتصادی (کنستانتین^۵ و همکاران، ۲۰۲۳) و پاسخ‌گویی و عدالت اجتماعی (وارزاکاس و اسمائوی^۶، ۲۰۲۴).

از منظر زیست‌محیطی، توسعه پایدار بر رویکردهایی مبتنی است که سلامت خاک، کارایی مصرف آب، حفظ تنوع زیستی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را تضمین کنند. راهبردهایی چون تنوع

1. Little

2. Sharma & K.C

3. Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]

4. Shi & Umair

5. Constantin

6. Varzakas & Smaoui

کشت، کشاورزی حفاظتی، مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب و خاک، استفاده از رویکردهای تلفیقی غذایی دامی و بهره‌گیری از میکروبیوم‌های گیاهی در این میان اهمیت ویژه‌ای دارند (خیو^۱ و همکاران، ۲۰۲۱؛ کول^۲ و همکاران، ۲۰۲۱) در بعد اقتصادی، پایداری زمانی محقق می‌شود که فعالیت کشاورزی برای بهره‌برداران مقرون به صرفه باشد و به افزایش درآمد، کاهش هزینه‌های تولید، تقویت تاب‌آوری اقتصادی و بهبود دسترسی به بازارها و سازوکارهای حمایتی منجر گردد. روشن است که بدون ایجاد ساختارهای اقتصادی عادلانه و حمایت‌های نهادی پایدار، گذار به نظام‌های کشاورزی پایدار با دشواری همراه خواهد بود (بیودری^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). براین اساس، رشد اقتصادی در صورتی معنادار و پایدار خواهد بود که با ارتقای شاخص‌های اجتماعی و حفظ محیط‌زیست همراه شود (یاسوری و همکاران، ۱۳۹۹).

از منظر اجتماعی نیز پایداری هنگامی قابل تحقق است که عدالت در دسترسی به غذا، بهبود وضعیت معیشتی کشاورزان کوچک، ارتقای حقوق کارگران کشاورزی و مشارکت واقعی جوامع محلی در فرایندهای تصمیم‌سازی تضمین شود. افزون‌براین، حفظ دانش بومی، امنیت غذایی و ایجاد فرصت‌های معیشتی پایدار از عناصر کلیدی پایداری اجتماعی به‌شمار می‌روند (وارزاکاس و اسمائوی، ۲۰۲۴). ضرورت گذار به کشاورزی پایدار در مواجهه با مجموعه‌ای از چالش‌های جهانی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. تغییرات اقلیمی شامل افزایش دما، تغییر الگوهای بارش و افزایش رخداد‌های حدی در بسیاری از مناطق عملکرد محصولات را کاهش داده و پایداری تولید غذایی را تهدید می‌کنند، درحالی‌که خود بخش کشاورزی سهم قابل‌توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (هولتگرن^۴ و همکاران، ۲۰۲۵). کمبود آب نیز که ناشی از برداشت بیش از حد منابع آب شیرین

1. Xue

2. Koul

3. Baudry

4. Hultgren

سطحی و زیرزمینی است، یکی از مهم‌ترین موانع توسعه پایدار کشاورزی به‌شمار می‌رود (اینگرو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳) علاوه‌براین، فرسایش و کاهش ماده آلی خاک، افت حاصلخیزی و تخریب ساختار خاک ظرفیت تولید آینده را تضعیف می‌کند و ازاین‌رو، حفاظت خاک از محورهای بنیادین کشاورزی پایدار است (تنگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). رشد جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای غذا نیز لزوم افزایش تولید با منابع محدود را آشکار می‌کند، به‌ویژه آنکه تغییر الگوهای مصرف غذایی فشار مضاعفی بر زمین و منابع طبیعی وارد می‌سازد و کاهش هدررفت مواد غذایی به یک ضرورت راهبردی تبدیل شده است (کامائو^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).

در چنین بستری، کشاورزی پایدار می‌تواند با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، حفاظت از تنوع زیستی و تقویت خدمات اکوسیستمی پاسخی مؤثر به چالش‌های اقلیمی و زیست‌محیطی ارائه دهد. علاوه‌براین، این رویکرد می‌تواند بهره‌وری اقتصادی را به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه افزایش دهد و درعین‌حال از تخریب خاک و منابع حیاتی جلوگیری کند (موهی^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). بااین‌وجود، گذار به سیستم‌های پایدار فرآیندی یکباره نیست و نیازمند اجرای گام‌به‌گام اصلاحات در نظام‌های تولید، ارتقای دانش و توانمندی کشاورزان و تقویت حمایت‌های سیاستی در سطوح مختلف حکمرانی است (دونمز^۵ و همکاران، ۲۰۲۴). اجرای صحیح رویکردهای پایدار می‌تواند منجر به بهبود سلامت خاک، حفاظت از تنوع زیستی، کاهش آلودگی و افزایش تاب‌آوری اقلیمی شود، هرچند میزان این آثار به شرایط مکانی، نوع مدیریت و سطح فناوری‌های مورد استفاده بستگی دارد (سیکانث^۶ و همکاران، ۲۰۲۳).

5. Ingrao

1. Teng

2. Kamau

3. Muhie

4. Dönmez

5. Saikanth

در چارچوب هدفی که این پژوهش دنبال می‌کند، با بررسی آمایش سرزمینی، کشاورزی پایدار ما نیازمند به‌کارگیری راهبردهای یکپارچه و تطبیقی است؛ راهبردهایی که از فناوری‌های نوین بهره می‌گیرند، رویکردهای بوم‌شناختی را تقویت می‌کنند و عدالت اجتماعی را تضمین می‌نمایند (جیگو و بورل^۱، ۲۰۲۴). مانند، ادغام مدیریت منابع آب، الگوهای کشاورزی پایدار و توسعه صنعتی سبز، نقش تعیین‌کننده‌ای در تحقق اهداف آمایش سرزمین دارد (کالوگانیدس^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). آمایش سرزمین در این میان به‌عنوان بنیانی راهبردی برای دستیابی به رشد اقتصادی پایدار، مدیریت کارآمد منابع و حفاظت محیط‌زیست شناخته می‌شود (شی^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). دستیابی به اهداف پایداری در کشاورزی زمانی امکان‌پذیر است که سیاست‌های بخش کشاورزی با برنامه‌ریزی فضایی و مدیریت سرزمین هماهنگ شوند؛ چراکه بسیاری از محدودیت‌ها و فرصت‌ها ازجمله محدودیت آب، حساسیت خاک، ظرفیت‌های اکولوژیک و تداخل کاربری‌ها ماهیتی فضایی دارند و تنها از طریق ابزارهای مکان‌محور قابل مدیریت مؤثر هستند (رابینسون^۴، ۲۰۲۴).

در مجموع، باتوجه به تنوع چالش‌ها و ظرفیت‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی در کشورها، روشن است که تحقق پایداری صرفاً از مسیر رویکردهای فنی و مدیریتی بخش کشاورزی حاصل نمی‌شود، بلکه نیازمند نگرشی سرزمینی و مکان‌محور است که بتواند روابط پیچیده میان منابع، کاربری اراضی و الگوهای تولید را در مقیاس ملی و منطقه‌ای تحلیل و سامان‌دهی کند. از آنجاکه کشورهایی مانند ایران، هند، هلند و آلمان دارای ساختارهای اقلیمی، نظام‌های حکمرانی و الگوهای بهره‌برداری متفاوتند، مقایسه تطبیقی آن‌ها می‌تواند الگوهای موفق، چالش‌های مشترک و کاستی‌های سیاستی را آشکار سازد. چنین تحلیلی نه تنها امکان ارزیابی دقیق‌تر وضعیت پایداری کشاورزی را ایجاد می‌کند، بلکه می‌تواند مبنایی برای بازنگری سیاست‌ها، بهبود تخصیص منابع، کاهش

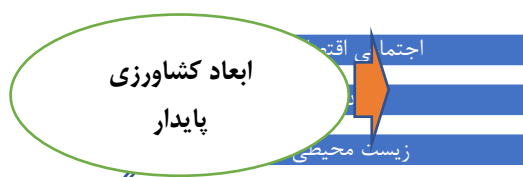
1. Jago Borrell

2. Kalogiannidis

3. Shi

4. Robinson

ناپایداری‌های فضایی و ارتقای کارایی سیستم‌های تولید در چارچوب آمایش سرزمین باشد. از این منظر، مطالعه حاضر می‌کوشد با رویکردی تطبیقی، ابعاد مختلف کشاورزی پایدار را در چهار کشور یادشده بررسی و ظرفیت‌های انتقال‌پذیر آن‌ها را برای سیاست‌گذاری فضایی و برنامه‌ریزی سرزمین تحلیل کند.



شکل ۱. مدل مفهومی

۲. مواد و روش پژوهش

۲.۱. ویژگی‌های جوامع مورد مطالعه

۲.۱.۱. ایران

ایران کشوری است وسیع با آب‌وهوای متنوع که امکان کشت بسیاری از گیاهان زراعی و باغی در منطقه‌های مختلف آن فراهم است، اما بخش کشاورزی نتوانسته پاسخگوی تقاضای بالای غذایی باشد و واردات برخی از فراورده‌های کشاورزی، به‌ویژه محصولات زراعی و خوراک دام، به‌طور چشمگیر افزایش یافته است. وجود چالش‌های اساسی در بخش کشاورزی ایران ازجمله بالا نرفتن افزایش سطح زیرکشت، سه برابر شدن جمعیت کشور در ۴۰ سال گذشته و کاهش مساحت زمین‌های مستعد، افزایش فشارهای بوم‌شناختی در فضاها تولید فراورده‌های کشاورزی، استفاده مکرر از زمین، استفاده نادرست و ویرانگر از منابع آبی، کاهش بازده عامل‌های بنیادی تولید (آب و زمین) و به صرفه نبودن تولید در این بخش، پیری جمعیت بهره‌بردار در بخش کشاورزی و بی‌ رغبت بودن جوانان به فعالیت در آن سبب شده تا ضرورت توجه به موضوع توسعه پایدار کشاورزی نسبت به سایر کشورها بیشتر باشد، به‌طوری که در گذشته و در حال حاضر نیز رشد و توسعه پایدار کشاورزی، یکی از شاخص‌ترین و مهم‌ترین اهداف جمهوری اسلامی بوده است. اما بررسی رویدادهای گذشته،

وضعیت اقلیمی، وضعیت اشتغال و شهرنشینی موجود به خوبی نشان می دهد که سهم بخش کشاورزی از تولید ناخالص ملی در سال های اخیر افزایش یافته و رشد این بخش برخلاف سایر بخش ها، مثبت بوده است. بررسی سهم اشتغال بخش کشاورزی از اشتغال کل کشور نشان می دهد که بخش کشاورزی با قدرت انتشار به تقریب ۴۶/۱ واحد (میلیون ریال)، هزینه اشتغالی معادل یک دوم صنعت ماشین سازی، یک سوم صنعت معدن و یک سی ام صنعت نفت دارد. بخش کشاورزی ایران با سهم ۱۰.۷ درصد از تولید ناخالص ملی ۱۸٪ از کل شاغل ها را در خود جای داده است. افزون بر این ۱۸ درصد از شاغل های ایران در صنایع وابسته به کشاورزی مشغول به کار هستند (وحدتی و ساریخانی، ۱۳۹۹).

۲. ۱. ۲. هند

هند به عنوان دومین کشور پرجمعیت جهان، با تنوع قابل توجهی در اقلیم، توپوگرافی و کاربری اراضی مواجه است و این مسئله، برنامه ریزی استفاده از زمین را به یک چالش اساسی تبدیل می کند (هینز^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). آمایش سرزمین در این کشور بر ارزیابی پتانسیل اراضی برای کاربری های پایدار، به ویژه در بخش کشاورزی، استوار است؛ بخشی که با چالش هایی همچون رشد جمعیت، تغییر الگوی مصرف غذایی و فشارهای فزاینده ناشی از تغییرات اقلیمی روبه رو است (شاه و وو^۲، ۲۰۱۹). مطالعات سناریوسازی نشان می دهد که تا سال ۲۰۳۰، افزایش تولید غذا نیازمند گسترش و شدت یابی کشاورزی است؛ روندی که می تواند امنیت غذایی را تقویت کند، اما در مقابل، خطر کاهش پوشش طبیعی و از دست رفتن تنوع زیستی را نیز افزایش می دهد (هینز، ۲۰۲۰). در این میان، فناوری های سنجش از دور (RS) و GIS به عنوان ابزارهای کلیدی برای ارزیابی تناسب اراضی، پایش تغییرات، و ارائه راهکارهای مبتنی بر شواهد جهت توسعه پایدار مورد استفاده قرار می گیرند (کومار، ۲۰۲۱). تحلیل تغییرات کاربری اراضی طی سه دهه ۱۹۸۵، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵

1. Hinz

2. Shah & Wu

نشان‌دهنده گسترش اراضی زراعی در غرب، کاهش پوشش جنگلی در مرکز و شمال شرق و توسعه نواحی پیرامون شهری است؛ الگوهایی که ارتباط مستقیمی با وابستگی کشاورزی هند به بارندگی‌های موسمی دارند (روی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵) در مناطق نیمه خشک، همچون دامنه‌های آراوالی، بودجه‌بندی انرژی و کربن در سیستم کشت ارزن-گندم نشان می‌دهد که مدیریت پایدار می‌تواند بهره‌وری را در اکوسیستم‌های وابسته به باران افزایش دهد، درحالی‌که شدت یابی هدفمند سبب کاهش گسترش اراضی زراعی جدید می‌شود (کامور و همکاران، ۲۰۲۲). بررسی‌های محلی نیز نقش فناوری‌های مکانی را تأیید می‌کنند. به عنوان نمونه، ارزیابی اراضی در گجرات با استفاده از RS، GIS و روش AHP توانست واحدهای مورفولوژیکی زمین و سری‌های خاک را به دقت تفکیک کرده و مبنایی برای نسخه‌های مدیریتی سازگار با شرایط اکولوژیکی ارائه دهد (شرما^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین در مناطق هیمالیایی، تحلیل GIS-FR-AHP نشان داده است که تنها بخش اندکی از اراضی شیب‌دار برای کشاورزی مناسبند و این یافته‌ها برای توسعه پایدار در عرصه‌های آسیب‌پذیر اهمیت دارد (کامور و همکاران، ۲۰۲۱). در مجموع، آمایش سرزمین در هند زمانی بیشترین اثربخشی را دارد که فناوری‌های GIS/RS با مدیریت پایدار منابع خاک و آب و نیز کشاورزی حفاظتی ادغام شوند؛ رویکردی که هم‌زمان امنیت غذایی و حفاظت محیط‌زیست را هدف قرار می‌دهد و با اهداف توسعه پایدار سازگار است (هوبس^۳ و همکاران، ۲۰۰۸؛ هینز و همکاران، ۲۰۲۰).

۳. ۱. ۲. هلند

پایداری کشاورزی در هلند بر استفاده از چرخه‌های اکولوژیک، مدیریت منابع طبیعی، و تقویت ظرفیت تطبیقی نهادها مبتنی است (گوپتا^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). این کشور باتوجه به تراکم بالای جمعیت و فشار بر منابع، نیازمند برنامه‌ریزی چندسطحی در بخش‌های آب، طبیعت، کشاورزی و

-
1. Roy
 2. Sharma
 3. Hobbs
 4. Gupta

برنامه‌ریزی فضایی است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سازوکارهای نهادی هلند توانایی قابل توجهی در انطباق با چالش‌های جهانی دارند و از ابزارهای مدل‌سازی و ارزیابی برای تحقق اهداف زیست‌محیطی استفاده می‌کنند (گوپتا و همکاران، ۲۰۱۵). از سوی دیگر، مدیریت پایدار خاک و دستیابی به «خنثی‌سازی تخریب زمین» (LDN) در سیاست‌های ملی و منطقه‌ای این کشور با تأکید بر راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، بازسازی اکوسیستم‌ها و بهبود عملکرد کشاورزی دنبال می‌شود (کسترا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین، چارچوب‌های تحلیلی نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی فضایی با ارزیابی تعارضات میان امنیت غذایی و تنزل محیطی، نقش مهمی در تصمیم‌گیری پایدار دارد (کیوی^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). در نهایت، ترکیب فناوری‌های مکانی، برنامه‌ریزی فضایی و سازوکارهای نهادی قوی، هلند را به یکی از موفق‌ترین نمونه‌ها در مدیریت پایدار زمین تبدیل کرده است.

۴.۱.۲. آلمان

در آلمان، آمایش سرزمین با رویکردهای کشاورزی هوشمند اقلیمی (CSA) پیوند یافته است، رویکردی که به دنبال افزایش بهره‌وری، سازگاری با تغییرات اقلیمی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است (کاباتو^۳ و همکاران، ۲۰۲۵). ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب کشاورزی حفاظت شده و بازسازی مناظر، به تحقق اهداف LDN کمک می‌کند، هرچند برخی شکاف‌های اقتصادی-اجتماعی همچنان چالش‌زا هستند (هارتمن^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). فناوری‌های پیشرفته GIS نقش مهمی در توسعه کشاورزی دقیق و برنامه‌ریزی کاربری اراضی آلمان دارند. مطالعات جدید نشان می‌دهد که استفاده از داده‌های مکانی در تحلیل خاک، آب و اقلیم می‌تواند مصرف آب را تا ۵۰٪

1. Keesstra

2. Qi

3. Kabato

4. Hartmann

کاهش داده و کارایی نهاده‌ها را افزایش دهد (توروماد و چیکزی^۱، ۲۰۲۴). همچنین، ابزارهای مکانی و تحلیل‌های داده‌محور در شناسایی مناطق مناسب برای تناوب زراعی، حفاظت از تنوع زیستی و مدیریت یکپارچه منابع اثرگذار هستند (جنج^۲ و همکاران، ۲۰۲۵). به‌طور کلی، آلمان نمونه‌ای از ترکیب سیاست‌های کلان، فناوری‌های پیشرفته و رویکردهای اکولوژیک برای رسیدن به آمایش سرزمین پایدار به‌شمار می‌رود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق از روش تطبیقی استفاده شده است که رویکرد ترکیبی را با تحلیل‌های ساختاری و یافته‌های کیفی موجود در ادبیات تطبیق داده است. هدف اصلی، ارزیابی عملکرد چهار کشور (ایران، هند، هلند، آلمان) در حوزه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ بوده است. در انتخاب کشورها سعی شده است هم از کشورهای جهان توسعه‌یافته که در بخش کشاورزی و صنعت پیشرو هستند استفاده شود. برای همین منظور دو کشور آلمان و هلند انتخاب گردیده است. هند هم به دلیل استفاده زیاد از دستاوردها انقلاب سبز در حوزه کشاورزی برای تحلیل تطبیقی با ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

۳.۱. جمع‌آوری داده‌ها

در جمع‌آوری اطلاعات از روش اسنادی استفاده گردیده است. داده‌های جمع‌آوری شده داده‌های ثانویه است. گردآوری داده‌ها در مرحله نخست با مشخص نمودن شاخص‌ها و مؤلفه‌های تأثیرگذار در ۴ بخش مطالعاتی در کشورهای منتخب و با بهره‌گیری از داده‌های آماری از دو مرکز سازمان ملل و FAO در دو دوره زمانی ۲۰۲۰ و ۲۰۲۵ برای مقایسه تطبیقی بهره گرفته شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحلیل شامل شاخص‌های زیر بوده است:

1. Toromade & Chiekezie

2. Genç

جدول ۱. شاخص‌های تحقیق

منبع: (فائو، ۲۰۲۵)

ابعاد کشاورزی پایدار	شاخص‌ها	واحد
اجتماعی - اقتصادی	سهم شاغلان کشاورزی از کل شاغلان	درصد
	سهم شاغلان کشاورزی مردان از کل شاغلان	درصد
	سهم شاغلان کشاورزی زنان از کل شاغلان	درصد
	سهم شاغلان کشاورزی زن از کل شاغلان کشاورزی	درصد
	سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال	درصد
	سهم اشتغال کشاورزی مردانه از کل اشتغال	درصد
	سهم اشتغال کشاورزی زنانه از کل اشتغال	درصد
	ارزش تولیدات کشاورزی (به دلار آمریکا) به‌ازای هر منطقه	دلار
کالبدی	سهم اراضی کشاورزی در مساحت زمین	درصد
	سهم اراضی آبی از کل زمین زراعی	درصد
	سهم زمین کشاورزی در محصولات دائمی	درصد
زیست‌محیطی	میزان استفاده آفت‌کش‌ها به‌ازای هر مساحت از زمین‌های کشاورزی	کیلوگرم در هکتار
	میزان استفاده آفت‌کش‌ها به‌ازای هر نفر (کیلو گرم)	کیلوگرم
	میزان استفاده آفت‌کش‌ها به‌ازای هر ارزش تولید کشاورزی (گرم)	گرم
	میزان استفاده حشره‌کش‌ها در کشاورزی (تن)	تن
	میزان استفاده علف‌کش‌ها در کشاورزی (تن)	تن
	میزان استفاده قارچ‌کش‌ها و باکتری‌کش‌ها در کشاورزی (تن)	تن
	ارزش صادرات کودهای شیمیایی طبقه‌بندی نشده-هزار دلار	هزار دلار
	ارزش واردات کودهای شیمیایی طبقه‌بندی نشده-هزار دلار	هزار دلار
	ارزش واردات کودهای حیاتی (نیتروژن-فسفر-پتاسیم) هزار دلار	هزار دلار
	تولید بایو دیزل	تراژول
	تولید بایو گاز	تراژول
	تولید بایو گازولین	تراژول
	مصرف بایو دیزل	تراژول

ابعاد کشاورزی پایدار	شاخص‌ها	واحد
	مصرف بایوگاز	تراژول
	مصرف بایو گازولین	تراژول

۳.۲. روش‌های تجزیه و تحلیل اطلاعات

برای تطبیق وضعیت کشورهای مختلف از شاخص‌های زیر استفاده گردیده است:

الف. شاخص نرخ رشد مرکب سالانه

برای درک پویایی تغییرات در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵)، تحلیل نرخ رشد مرکب سالانه (CAGR) برای شاخص‌های کلیدی انجام شد. این معیار برای اندازه‌گیری عملکرد بلندمدت و مقایسه نرخ رشد کشورها در مواجهه با بحران‌های محیط زیستی و رشد اقتصادی به کار رفت.

$$CAGR = \left(\frac{Value_{final}}{Value_{initial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

- مقدار در سال انتهایی (Value_{final})
- مقدار در سال اولیه (Value_{initial})
- تعداد سالها (n)

ب. شاخص نرمال‌سازی

این شاخص بیان می‌کند که یک کشور در مقایسه با «بهترین» و «بدترین» عملکرد در میان گروه در چه جایگاهی ایستاده است. مقادیر به دست آمده بین صفر و یک است. مقادیر هر چقدر به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده وضعیت مطلوب و صفر وضعیت نامطلوب هر عنصر نسبت به عناصر دیگر است.

$$X_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

- X: مقدار فعلی کشور
- X_{min}: کم‌ترین مقدار مشاهده شده در آن شاخص

• X_{max} : بیشترین مقدار مشاهده شده در آن شاخص

ج- شاخص تغییرات نسبی (RGI)

برای اینکه مشخص شود آیا تغییرات یک کشور نسبت به میانگین تغییرات سایر کشورها بهتر بوده یا بدتر، از این فرمول استفاده شد.

$$RGI = \frac{\text{درصد تغییر}}{\text{میانگین درصد تغییر کشورها}}$$

شاخص تغییرات نسبی

در این رابطه:

- اگر شاخص تغییرات نسبی $1 <$ باشد: عملکرد آن کشور در آن شاخص «فراتر» از میانگین گروه بوده است.
- اگر شاخص تغییرات نسبی $1 >$ باشد: عملکرد آن کشور «ضعیف تر» از میانگین گروه بوده است.

۴. مبانی و پیشینه پژوهش

کشاورزی پایدار طی دهه های اخیر به عنوان رویکردی چندبعدی که دستیابی هم زمان به بهره وری اقتصادی، حفاظت از محیط زیست، عدالت اجتماعی و تاب آوری بلندمدت را دنبال می کند، در قانون توجه پژوهشگران قرار گرفته است. یکی از مباحث کلیدی در این حوزه، آمایش سرزمین است که با مدیریت فضایی و کاربری بهینه، گذار به الگوهای بهره برداری پایدار از زمین را امکان پذیر می سازد. شواهد بین المللی نشان می دهد که ادغام مدل های پیش بینی فضایی با سناریوهای اجتماعی-اقتصادی، ابزار مؤثری برای شبیه سازی آینده کاربری اراضی و ارزیابی پیامدهای سیاستی به شمار می آید. در اروپا، مطالعات متعددی به توسعه و کاربرد مدل های فضایی پیشرفته اختصاص یافته است. برای نمونه دلار^۱ و همکاران (۲۰۲۴) با بهره گیری از مدل DYNACLUE و سناریوهای مسیرهای

1. Dellar

اجتماعی-اقتصادی مشترک (SSPs)، تغییرات کاربری اراضی هلند را تا افق ۲۰۵۰ شبیه‌سازی کردند. نتایج آنان نشان داد که در سناریوی پایداری محور (SSP1)، حدود ۱۰۰ هزار هکتار به وسعت جنگل‌ها افزوده شده و در مقابل، مراتع و کشتزارهای فشرده کاهش یافته است؛ تغییری که به کاهش ریسک‌های بهداشتی و زیست‌محیطی منجر می‌شود. این نوع مدل‌سازی، الگویی قابل توجه برای کشورهایی با اقلیم متفاوت به‌ویژه مناطق خشک محسوب می‌شود. در حوزه سیاست‌گذاری، پژوهش‌های انجام‌شده در هند تصویری متفاوت ارائه می‌دهد. گاوهران و وردن^۱ (۲۰۲۵) با تحلیل محتوای کیفی ۳۱ سند سیاست ملی کشاورزی در نرم‌افزار MAXQDA نشان دادند که ۸۷ درصد اسناد همچنان بر افزایش بهره‌وری سنتی تمرکز دارند و تنها هشت سند به‌طور سطحی به تغییر اقلیم اشاره کرده‌اند. همچنین، سهم ابعاد اقتصادی (۵۳ درصد کدها) به‌مراتب بیش از ابعاد زیست‌محیطی (۲۹ درصد) و اجتماعی (۱۸ درصد) است؛ وضعیتی که نیاز به بازنگری اساسی در سیاست‌های کشاورزی هند را برای پاسخ‌گویی به تنوع اقلیمی و نیازهای گوناگون کشاورزان برجسته می‌کند. برگر^۲ و همکاران (۲۰۲۵) با بررسی در ایالت آندرا پرادش که بزرگ‌ترین گذار اگرواکولوژیک جهان به‌شمار می‌رود، نشان دادند که گسست میان سیاست‌های کشاورزی و سیاست‌های حفاظت از طبیعت، مهم‌ترین مانع تحقق سامانه‌های چندکارکردی سرزمینی است. آنان حذف یارانه‌های مخرب، تقویت نهادهای اجتماعی و اصلاح الگوهای مصرف را پیش‌نیازهای کلیدی این گذار معرفی می‌کنند. در کشورهای اروپایی نظیر هلند و آلمان، تمرکز پژوهش‌ها بیشتر بر تحلیل ساختارهای قانونی، مدل‌های فضایی و ادغام ملاحظات اکولوژیک در سیاست‌های کشاورزی است. ورکوئیل^۳ و همکاران (۲۰۲۴) با بررسی ۷۳۵ مزرعه در هلند و طراحی «شاخص اگرواکولوژی» بر پایه مؤلفه‌های FAO نشان دادند که سطح به‌کارگیری روش‌های اگرواکولوژیک میان ۵/۱۶ تا ۱/۶۱ درصد متغیر است و

1. Chauhan and Wehrden

2. Berger

3. Verkuil

این روش‌ها مستقل از نوع و اندازه مزرعه، تأثیر مثبت و معناداری بر پایداری درآمدی طی یک دوره ده‌ساله دارند. همچنین لینکه و پف^۱ (۲۰۲۵) با مقایسه تجربه آلمان و اوکراین در حوزه اجاره اراضی کشاورزی گزارش کردند که آلمان از طریق به‌کارگیری رویکردهای داوطلبانه و ادغام ملاحظات زیست‌محیطی در قراردادهای اجاره، موفق به کاهش تکه‌تکه شدن اراضی و ارتقای پایدار ساختارهای کشاورزی شده است. همچنین ابعاد ادراکی و اجتماعی نیز در مطالعات آلمان مورد توجه قرار گرفته‌اند. جنس^۲ و همکاران (۲۰۲۵) با مدل‌سازی موضوعی در رسانه‌ها و ادبیات علمی نشان دادند که برداشت از مفهوم «کشاورزی پایدار» میان کشاورزان، رسانه‌ها و جامعه علمی ناهمگن است و کاهش توجه به تغییر اقلیم در مجلات کشاورزی هشدار جدی برای سیاست‌گذاران محسوب می‌شود. همچنین، بارتکوسکی^۳ و همکاران (۲۰۲۵) بر این نکته تأکید کرده‌اند که نبود درک مشترک از کشاورزی پایدار میان ذی‌نفعان، مانعی اساسی برای سیاست‌گذاری‌های اثربخش است. همچنین، در سطح منطقه‌ای و محلی نیز روش‌های کمی مختلفی برای ارزیابی پایداری کشاورزی به کار گرفته شده است. برای نمونه، ریدهارا^۴ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود، با اولویت‌های توسعه پایدار کشاورزی ۲۷ بخش در ایالت کارناتاکا هند را تعیین کردند. آن‌ها در یافته‌های خود نشان دادند که سطح پایداری در مناطق مختلف متفاوت است و برخی مناطق نیاز به مداخله سیاستی فوری دارند. در سطح ملی استریمیکسی^۵ (۲۰۲۰) چارچوبی چندمعیاره ارائه کردند که اهداف توسعه پایدار، سیاست‌های محیط‌زیست، اقلیم و کشاورزی را یکپارچه می‌سازد و امکان اولویت‌بندی اقدامات و تشخیص تعارض‌های سیاستی را در سطوح مختلف فراهم می‌کند. در چین یی^۶ و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و منابع کشاورزی، ظرفیت توسعه پایدار

1. Linke & Popov

2. Genc

3. Bartkowski

4. Sridhara

5. Streimikis

6. Ye

کشاورزی استان هاینان را در دوره ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ ارزیابی کردند. نتایج آنان بیانگر بهبود ظرفیت پایداری و وجود تفاوت‌های مکانی قابل توجه بین شهرستان‌ها بود.

در ایران، مطالعات مرتبط با توسعه کشاورزی پایدار و آمایش سرزمین عمدتاً بر محدودیت‌های منابع آب و خاک، کوچک‌مقیاس بودن مزارع و شدت تغییرات اقلیمی متمرکزند. ساوری و همکاران (۲۰۲۵) در بررسی مزارع الگویی ترویج کشاورزی (AEMSs) در تولید گندم آبی نشان داده‌اند که استفاده از این الگوها مصرف بذر را از ۳۲۵ به ۲۰۷ کیلوگرم در هکتار و مصرف آب را حدود ۶ درصد کاهش می‌دهد. تحلیل عاملی انجام‌شده نیز شش عامل چالش‌زا با تبیین ۶۸/۵۵ درصد واریانس و شش عامل اثرگذار لزوم برنامه‌ریزی منطقه‌ای متناسب با شرایط اقلیمی را نشان دادند. دهقان‌پور و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از روش دلفی و نظرات کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی، سیاست‌های کشاورزی ایران را از منظر پایداری و انطباق با تغییرات اقلیمی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که برخی سیاست‌ها ناکارآمد بوده و نیازمند اصلاح و تطبیق با شرایط اقلیمی هستند. یزدان‌پناه و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با رویکرد نظریه زمینه‌ای در شهرستان باوی خوزستان، عوامل اقتصادی همچون سودآوری پایین و تورم، همراه با عوامل حقوقی و زیستی‌فیزیکی را مهم‌ترین محرک‌های تغییر کاربری اراضی کشاورزی معرفی کرده‌اند. داده‌های این پژوهش نشان داده است که طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ بیش از ۳۰۰ هکتار اراضی زراعی از دست رفته و یکپارچه‌سازی اراضی و ارتقای سامانه‌های آبیاری، راهکارهای اصلی حفظ اراضی کشاورزی معرفی شده‌اند. نتایج این تحقیق با یافته‌های عصامه و همکاران (۲۰۲۰) هم‌سویی دارد؛ بدین معنا که تسطیح و یکپارچه‌سازی اراضی همراه با ارتقای شاخص‌های زیست‌محیطی، موجب افزایش معنادار ارزش فعلی خالص فعالیت‌های کشاورزی می‌شود. در سطح ملی، کوچکی و همکاران (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از شاخص‌های مزیت نسبی، وضعیت پایداری کشاورزی استان‌های ایران را ارزیابی کرده و استان‌های فارس و خراسان رضوی را پایدارترین و استان قم را ناپایدارترین استان‌ها معرفی کرده‌اند. این مطالعه همچنان یکی از مهم‌ترین پژوهش‌های مرجع در زمینه ارزیابی چندبعدی پایداری کشاورزی در ایران محسوب

می‌شود. افزون‌براین، لچینانی و همکاران (۱۴۰۰) بر نقش کشاورزی مدرن در چارچوب برنامه‌ریزی سرزمین تأکید کرده و مطرح می‌کنند که بهره‌گیری از داده‌های جغرافیایی و فناوری‌های نوین می‌تواند ضمن افزایش بهره‌وری، فشارهای زیست‌محیطی را کاهش داده و مسیر گذار از کشاورزی سنتی به سامانه‌ای پایدار و امن را هموار سازد.

اکبر فروزش و همکاران (۱۴۰۳) در تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که آینده‌نگاری در حکمرانی برای توسعه کاربردپذیری فناوری‌های نوظهور در کشاورزی ایران مؤثر است، بنابراین برای توسعه واحدهای کشاورزی فناورانه در زیربخش‌های کشاورزی و دستیابی به کشاورزی پایدار، ضرورت دارد با عزمی ملی و براساس یک برنامه عملیاتی جامع و آینده‌نگر، حمایت‌ها و مشوق‌های مناسب مدنظر دولتمردان باشد.

مهرپرور و شاه‌نباتی (۱۴۰۵) در تحقیق خود اعلام می‌دارند که ایجاد سامانه‌های منظم برای پایش و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی سیاست‌های کشاورزی، اصلاح ترکیب حمایت‌ها به نفع فناوری‌ها و نهاده‌های کم‌کربن، و توسعه برنامه‌های آموزشی در زمینه کشاورزی پایدار در کنار حمایت‌های مالی، ازجمله پیشنهادها کلیدی این مطالعه است. در مجموع، نتایج پژوهش می‌تواند چارچوبی تحلیلی برای بازنگری سیاست‌های حمایتی و حرکت به‌سوی الگوی توسعه کم‌کربن و پایدار در کشاورزی ایران فراهم آورد.

۵. یافته‌های پژوهش

جدول زیر نشان می‌دهد که در تمام کشورها، سهم شاغلان در بخش کشاورزی کاهش یافته است. هند باوجود کاهش، همچنان بیشترین سهم را دارد (از ۵۰.۹٪ به ۴۳.۵٪)، که نشان‌دهنده ماهیت کشاورزی‌محور اقتصاد این کشور است. هلند با کم‌ترین سهم (زیر ۲٪)، کشاورزی بسیار مکانیزه و پیشرفته‌ای دارد.

همچنین در هند و ایران، کاهش قابل توجه سهم زنان در اشتغال کشاورزی وجود دارد. نکته جالب، افزایش سهم زنان از کل شاغلان کشاورزی در هند (از ۳۲.۸٪ به ۴۴٪) است که نشان می‌دهد با خروج مردان از این بخش، بار اصلی مدیریت مزارع در هند بیشتر بر دوش زنان قرار گرفته است. ارزش تولیدات کشاورزی به ازای هر منطقه در هند به شکل چشمگیری بالاتر از سایرین است (نزدیک به ۱۰ هزار دلار در ۲۰۲۳)، که نتیجه مستقیم فناوری‌های پیشرفته و کشاورزی متمرکز است. ایران نیز رشد خوبی در این زمینه داشته و از ۱۸۴۷ به ۲۹۲۴ دلار رسیده است.

جدول ۲. شاخص‌های سهم اشتغال و شاغلان بخش کشاورزی

منبع: (فائو، ۲۰۲۵)

	شاخص‌ها	آلمان		هند		ایران		هند	
		۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰
اجتماعی - اقتصادی	سهم شاغلان کشاورزی از کل شاغلان	۱.۶	۱.۲	۵۰.۹	۴۳.۵	۱۷.۷	۱۳.۷	۲.۵	۱.۸
	سهم شاغلان کشاورزی مردان از کل شاغلان	۲.۱	۱.۵	۴۶	۳۵.۶	۱۵.۷	۱۳.۸	۳.۳	۲.۳
	سهم شاغلان کشاورزی زنان از کل شاغلان	۱.۱	۰.۸	۶۵	۶۰.۸	۲۷.۵	۱۳.۱	۱.۵	۱.۱
	سهم شاغلان کشاورزی زن از کل شاغلان کشاورزی	۳۱.۴۴	۳۲.۷۵	۳۲.۸۷	۴۴.۰۲	۲۶.۰۹	۱۵.۴۴	۲۷.۵۴	۳۰.۱۴

شاخص‌ها	آلمان		هند		ایران		هلند	
	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰
سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال	۰.۷۸	۰.۸۲	۲.۶۱	۳.۲۴	۵.۲۷	۵.۴۸	۱.۲۴	۱.۱۸
سهم اشتغال کشاورزی مردانه از کل اشتغال	۰.۹۸	۱.۰۳	۱.۹۴	۳.۲۱	۵.۸۴	۵.۵۶	۱.۷۷	۱.۴۹
سهم اشتغال کشاورزی زنانه از کل اشتغال	۰.۵۵	۰.۵۹	۴.۴۴	۳.۳۵	۲.۶۲	۵.۰۴	۰.۶۷	۰.۸۶
ارزش تولیدات کشاورزی (به دلار آمریکا) به‌ازای هر منطقه (به دلار)	۲۹۷۸.۲۵	۳۰۱۸.۸۲	۱۸۴۷.۰۳	۲۹۲۴.۹۸	۷۸۹.۸۳	۷۶۹.۱۹	۸۶۴۷.۲۱	۹۸۱۳.۵۷
سهم اراضی کشاورزی در مساحت زمین -درصد	۴۷.۴۷	۴۷.۹۱	۶۰.۰۴	۶۰.۰۶	۲۸.۵۷	۲۹.۰۱	۵۵.۵۱	۵۳.۵۵
سهم اراضی آبی از کل زمین زراعی	۷۰.۴۳	۷۰.۹۳	۸۷.۴۳	۸۶.۱۷	۳۳.۰۷	۳۳.۳۵	۵۴.۶۲	۵۵.۹۶
سهم زمین کشاورزی در محصولات دائمی	۱.۲۱	۱.۱۹	۶.۸۱	۸.۰۹	۳.۵۹	۴.۰۲	۱.۹۴	۲

شاخص‌ها	آلمان		هند		ایران		هلند		
	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	
میزان استفاده آفت‌کش‌ها به‌ازای هر مساحت از زمین‌های کشاورزی	۳.۳۹	۳.۴۱	۰.۲۴	۰.۲۴	۰.۲۶	۰.۳۳	۹.۰۵	۶.۹۵	زیست محیطی
میزان استفاده آفت‌کش‌ها به‌ازای هر نفر	۰.۵۱	۰.۴۸	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۵۷	۰.۴	
میزان استفاده آفت‌کش‌ها به‌ازای هر ارزش تولید کشاورزی	۰.۸۱	۰.۸۲	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۱۶	۰.۵۹	۰.۴۱	
میزان استفاده حشره‌کش‌ها در کشاورزی	۱۳۶۳	۱۶۱۱۳	۲۰۶۱۹	۲۰۶۱۹	۷۶۵	۲۶۰۰	۱۶۳۵	۱۷۳۱	
میزان استفاده علف‌کش‌ها در کشاورزی	۱۶۶۷۵	۱۳۱۳۸	۶۳۳۵	۶۳۳۵	۱۳۴۵	۸۸۴	۲۶۴۲	۲۴۱۴	
میزان استفاده قارچ‌کش‌ها و باکتری‌کش‌ها در کشاورزی	۱۰۴۳۱	۹۳۴۱	۱۳۰۵۵	۱۳۰۵۵	۴۹۴	۳۱۰	۳۶۱۳	۲۲۹۸	
ارزش صادرات کودهای	۷۷۹۲۵.۵۱	۱۰۱۶۸۶.۷	۶۹۶۹.۷۶	۹۵۳۴.۱۸	۳۶۷۵.۹۹	۹۳۸.۹۹	۳۳۱۶۶.۸۵	۸۴۷۵۳.۱۷	

شاخص‌ها	آلمان		هند		ایران		هلند	
	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰	۲۰۲۳	۲۰۱۰
شیمیایی طبقه‌بندی نشده								
ارزش واردات کودهای شیمیایی طبقه‌بندی نشده-	۳۷۳۳۵.۷۸	۲۳۱۳۵.۹۲	۷۵۹۵۳.۱۵	۵۰۸۱۱.۹۱	۲۶۰۲۵.۶۱	۲۵۰۴۹.۵	۱۴۳۹۵.۳۵	۴۱۰۹۰.۰۱
ارزش واردات کودهای حیاتی (نیتروژن- فسفر-پتاسیم) هزار دلار	۱۲۴۵۷۶.۴	۲۲۵۷۷۷.۸	۱۵۴۲۷۹.۲	۸۱۵۷۷۰.۳	۵۸۹۹۸۷	۱۳۰۹۴.۱۷	۸۵۲۲۸.۳۸	۶۸۲۸۵.۲۷
تولید بایو دیزل- تراژول	۱۳۶۱۶۰	۱۱۳۴۹۱	۳۶۴۳	۶۵۴۷	۰	۰	۱۴۰۵۷	۷۴۸۸۶
تولید بایو گاز تراژول	۳۲۳۳۲۸	۱۸۲۵۳۷	۵۶۹۴	۱۱۸۶۰۶۸	۱۲۷	۲۷۰.۷۰۶	۱۱۹۸۴	۱۹۱۰۰
تولید بایو گازولین تراژول	۱۵۴۱۰	۱۶۵۸۹	۷۷۱۸	۷۳۷۰۵	۰	۰	۴۵۵۰.۶۴	۰
مصرف بایو دیزل-تراژول	۹۶۳۰۵	۹۳۰۶۷	۱۰۳۰	۱۳۲۴	۰	۰	۳۹۳۷.۶	۱۴۴۰۷
مصرف بایوگاز- تراژول	۲۳۱۹۳	۳۵۱۶	۴۳۸۱۲۵	۴۵۰۲۷۶	۰	۰	۳۷۸۸	۲۷۹۶
مصرف بایو گازولین- تراژول	۳۱۹۱۸	۳۱۲۲	۷۷۷۲	۱۳۰۰۳۳	۰	۰	۵۵۷۴.۴	۱۰۱۰۱

۵. ۱. تطبیق عملکرد اقتصادی و اجتماعی کشورها براساس شاخص تغییرات نسبی (Δ) و رشد مرکب (CAGR)

نتایج به دست آمده از شاخص تغییرات نسبی مختلف نشان می‌دهد که همه کشورها با کاهش اشتغال در بخش کشاورزی روبه‌رو هستند، اما در میان آنها آلمان بیشترین افت را دارد (۲۸-٪)؛ یعنی کشاورزی در ساختار اشتغال آن سهم بسیار کمتری پیدا کرده است. در کنار آن هند نیز کاهش شدید دارد (۲۵-٪)، ولی هنوز سطح اشتغال کشاورزی در آن نسبت به آلمان بسیار بالاتر است. پس از این کشورها هلند قرار دارد که مقدار کاهش این کشور برابر با (۲۲.۶- درصد) است. در میان کشورها ایران کاهش کمتری دارد (۱۴.۵-٪)؛ یعنی کاهش سهم کشاورزی در اشتغال آهسته‌تر بوده است. این شاخص نشان می‌دهد کشاورزی در همه کشورها از نظر اشتغال در حال عقب‌نشینی است، اما شدت خروج از کشاورزی در آلمان و هند بیشتر بوده است.

درخصوص سهم شاغلان کشاورزی نتایج نشان‌دهنده کاهش سهم مردان از کل شاغلان است. در میان کشورهای مورد بررسی آلمان و هند افت شدیدتری دارند و هلند نسبت به آنها کاهش کمتر و ملایم‌تر دارد. کاهش اشتغال کشاورزی مردان، نشانه‌ای از تغییر ساختار فعالیت‌های اقتصادی و کاهش نیروی انسانی مستقیم در مزرعه است.

درخصوص سهم شاغلان زن از کل شاغلان همه کشورها روند کاهشی داشته‌اند، اما در ایران کاهش بسیار کمتر است (۶.۴۶-٪) و در آلمان و هند افت بیشتر است و هلند کاهش قابل توجهی را تجربه می‌کند. کاهش سهم زنان در اشتغال کشاورزی می‌تواند ناشی از مکانیزاسیون، تغییر الگوی اشتغال روستایی، یا انتقال زنان به مشاغل خدماتی/غیرکشاورزی باشد.

در شاخص سهم شاغلان کشاورزی زن از کل شاغلان کشاورزی نتایج تغییرات نسبی نشان می‌دهد که ایران با روند رشد بسیار زیاد روبه‌روست. مقدار تغییرات نسبی این کشور نسبت به سایر کشورها برابر (۳۴.۳۴٪) است. آلمان و هند افزایش ملایم دارند، ولی در مقابل هلند با کاهش بسیار شدید روبه‌روست. مقدار تغییرات این کشور برابر با (۴۲.۴۵-٪) است. این شاخص نشان

می‌دهد ترکیب جنسیتی نیروی کار کشاورزی تغییر کرده است. در ایران نیز، سهم زنان در میان شاغلان کشاورزی به‌طور معناداری بالا رفته است، به‌عبارتی در درون کشاورزی، زنان جایگاه بزرگ‌تری پیدا کرده‌اند. در مقابل، در هلند سهم زنان در کشاورزی کاهش شدید داشته که احتمالاً نشانه کاهش مشارکت زنان یا تغییر ساختار نیروی کار است.

نتایج تغییرات نسبی درباره اشتغال نشان می‌دهد که سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال، ایران بیشترین کاهش را نسبت به سایر کشورها دارد. مقدار تغییرات این کشور برابر با (۱۹.۴۴٪-) است. در مقابل کشورهای هند، هلند و آلمان افت‌های ملایم‌تری را تجربه کرده‌اند. این شاخص از نظر اقتصادی مهم است، چون سهم واقعی کشاورزی در اقتصاد اشتغال را نشان می‌دهد. افت آن در ایران بیانگر کاهش نقش نسبی کشاورزی در بازار کار است.

سهم اشتغال کشاورزی مردانه از کل اشتغال در کشورهای مختلف متفاوت بوده است. در ایران افت بسیارشدید با مقدار (۳۹.۵۶٪-) وجود دارد، در مقابل هلند روند مثبتی را طی کرده است. در هلند رشد مثبت با مقدار (۵.۰۴٪) مشخص است. در آلمان افت متوسط و هند افت کم بوده است. افزایش در هلند می‌تواند ناشی از تغییر طبقه‌بندی یا کوچک بودن پایه باشد، ولی از نظر کلی نشان‌دهنده تفاوت الگوی اشتغال است.

سهم اشتغال کشاورزی زنانه از کل اشتغال دو کشور مثبت و در دو کشور منفی بوده است. ایران رشد قابل توجه با مقدار (۳۲.۵۴٪) و آلمان رشد مثبت با مقدار (۲۸.۳۶٪) تجربه کرده‌اند. در مقابل هند افت ملایم و هلند افت بسیارشدید (۴۷.۹۹٪-) داشته‌اند. این شاخص نشان می‌دهد اشتغال زنان در کشاورزی در ایران و آلمان نسبتاً تقویت شده، ولی در هلند بسیارکاهش یافته است.

براساس نتایج ارزش تولیدات کشاورزی به‌ازای هر منطقه متفاوت است. در میان کشورهای مورد بررسی ایران بیشترین رشد (۵۸.۳۴٪) را داشته است، هم‌چنین آلمان نیز رشد مثبتی را طی کرده است، ولی هند و هلند کاهش یا تقریباً روند ثابتی را طی کرده‌اند. افزایش در ایران و آلمان می‌تواند

نشان‌دهنده افزایش ارزش تولید، شدت کشت، یا تغییر قیمت‌ها باشد. در هند و هلند کاهش اندک دیده می‌شود که بیشتر به ثبات عملکرد یا تغییرات قیمتی محدود اشاره دارد.

جدول ۳. شاخص‌های اجتماعی-اقتصادی تغییرات نسبی و CAGR

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۵

شاخص	آلمان CAGR	آلمان Δ%	هلند CAGR	هلند Δ%	ایران CAGR	ایران Δ%	هند CAGR	هند Δ%
سهم شاغلان کشاورزی از کل شاغلان	۰.۰۲۵-	۲۸-	۰.۰۱۹۵-	۲۲.۶-	۰.۰۱۲-	۱۴.۵۴-	۰.۰۲۱۹-	۲۵-
سهم شاغلان کشاورزی مردان از کل شاغلان	۰.۰۲۷۴-	۳۰.۳-	۰.۰۰۹۹-	۱۲.۱-	۰.۰۱۹۵-	۲۲.۶۱-	۰.۰۲۵۶-	۲۸.۵۷-
سهم شاغلان کشاورزی زنان از کل شاغلان	۰.۰۲۳۴-	۲۶.۶۷-	۰.۰۱۶۷-	۲۰-	۰.۰۰۵۱-	۶.۴۶-	۰.۰۲۴۳-	۲۷.۲۷-
سهم شاغلان کشاورزی زن از کل شاغلان کشاورزی	۰.۰۰۷	۹.۴۸	۰.۰۴۴۳-	- ۴۲.۴۵	۰.۰۲۲۷	۳۴.۳۴	۰.۰۰۳۲	۴.۱۷
سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال	۰.۰۰۳۸-	۴۸۴-	۰.۰۰۳-	۳۸۳-	۰.۰۱۶۵-	۱۹.۴۴-	۰.۰۰۳۸-	۴۸۸-
سهم اشتغال کشاورزی مردانه از کل اشتغال	۰.۰۱۲۹-	۱۵.۸۲-	۰.۰۰۳۸	۵.۰۴	۰.۰۳۹۵-	۳۹.۵۶-	۰.۰۰۳۸-	۴۸۵-
سهم اشتغال کشاورزی زنانه از کل اشتغال	۰.۰۱۹۱	۲۸.۳۶	۰.۰۵-	- ۴۷.۹۹	۰.۰۲۱۷	۳۲.۵۴	۰.۰۰۵۴-	۶.۷۸-
ارزش تولیدات کشاورزی به ازای هر منطقه (دلار)	۰.۰۰۹۸	۱۳.۴۹	۰.۰۰۲-	۲.۶۱-	۰.۰۳۶۳	۵۸.۳۴	۰.۰۰۱-	۱.۳۴-

در بررسی تفاوت‌ها و تشابهات براساس نتایج جدول فوق، می‌توان گفت که هر چهار کشور تجربه کاهش سهم اشتغال کشاورزی را داشته‌اند. این یک الگوی جهانی برای اقتصادهای در حال توسعه یا تثبیت‌شده است که نشان‌دهنده انتقال نیروی کار به بخش‌های خدمات و صنعت است.

هند یک کشور در حال گذار به‌شمار می‌رود. باوجود کاهش، هنوز بخش بزرگی از جمعیت (بیش از ۴۳٪) در کشاورزی فعالیت می‌کنند. هند در حال حاضر در مرحله‌ای است که کشاورزی همچنان ستون فقرات اجتماعی آن است. ایران نیز با گذار سریع روبه‌روست. ایران با کاهش حدود ۲۲٪ سهم اشتغال، سرعت گذار نسبتاً بالایی را تجربه کرده و از یک اقتصاد کشاورزی-محور به سمت اقتصادهای دیگر حرکت کرده است. آلمان و هلند کشورهای پسا-کشاورزی هستند. اشتغال کشاورزی در این دو کشور بسیار ناچیز (زیر ۲.۵٪) است. در این کشورها، کشاورزی دیگر یک مسئله اشتغال گسترده نیست، بلکه یک صنعت تکنولوژیک و سرمایه‌بر است. درخصوص شکاف جنسیتی نیز می‌توان گفت در هند، سهم زنان در کشاورزی به‌شدت افزایش یافته (از ۲۶٪ به ۴۴٪)، اما در ایران این سهم با افت شدید مواجه شده است. این نشان می‌دهد در هند، زنان نقش حیاتی‌تری در حفظ بقای بخش کشاورزی ایفا می‌کنند، درحالی‌که در ایران احتمالاً مهاجرت زنان یا تغییر ساختار خانوار، نقش آن‌ها را در این بخش کم‌رنگ کرده است.

۵.۲. تطبیق وضعیت کالبدی کشورها براساس شاخص‌های تغییرات نسبی و رشد مرکب

تغییرات نسبی سهم اراضی کشاورزی در مساحت زمین نشان می‌دهد که در تمام کشورها تغییرات بسیار محدود است. در میان کشورها ایران تقریباً ثابت مانده است و هلند نیز اندکی افزایش دارد. در میان کشورها آلمان کاهش محسوس‌تری را طی کرده است. کاربری زمین در این کشورها ساختار نسبتاً پایدار دارد و طی ۱۳ سال دگرگونی شدید نداشته است.

سهم اراضی آبی از کل زمین زراعی در کشورها روند متفاوتی داشته است. آلمان و هلند افزایش اندک دارند و ایران و هند کاهش اندک دارند. این شاخص نشان‌دهنده شدت آبیاری است. تغییرات

کم یعنی زیرساخت آبیاری به‌طور کلی پایدار بوده، اما مسیرها متفاوتند. آلمان و هلند به سمت تقویت یا تثبیت آبیاری حرکت کرده است ولی هند و ایران با افت جزئی مواجه بوده‌اند.

درخصوص سهم زمین کشاورزی در محصولات دائمی، نتایج نشان می‌دهد که ایران رشد زیادی دارد. مقدار ثبت شده برای این کشور برابر با (۱۸۸٪) بوده است. هلند و آلمان نیز هم رشد مثبت دارند، ولی هند رشد خیلی کمی دارد. نتایج نشان می‌دهد که افزایش این شاخص معمولاً نشانه گسترش کشت‌های دائمی، باغی یا با ارزش افزوده بالاتر است. در ایران این رشد معنادارتر است و می‌تواند به تغییر الگوی کشت اشاره کند.

جدول ۴. کالبدی براساس تغییرات نسبی و CAGR

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۵

شاخص	آلمان CAGR	آلمان Δ%	هلند CAGR	هلند Δ%	ایران CAGR	ایران Δ%	هند CAGR	هند Δ%
سهم اراضی کشاورزی در مساحت زمین	-۰.۰۰۲۸	-۳.۵۳	۰.۰۰۱۲	۱.۵۴	۰	۰.۰۳	-۰.۰۰۰۷	-۰.۹۲
سهم اراضی آبی از کل زمین زراعی	۰.۰۰۱۹	۲.۴۶	۰.۰۰۰۷	۰.۸۵	-۰.۰۰۱۱	-۱.۴۴	-۰.۰۰۰۵	-۰.۷
سهم زمین کشاورزی در محصولات دائمی	۰.۰۰۲۳	۳.۰۹	۰.۰۰۸۷	۱۱.۹۸	۰.۰۱۳۲	۱۸۸	۰.۰۰۱۳	۱.۶۸

براساس نتایج جدول فوق می‌توان ادعا داشت که تفاوت و تشابه کشورها درخصوص کالبدی دارای روند باثبات در برابر تغییر بوده است. تشابه این کشورها در این است که، سطح کل اراضی کشاورزی در همه کشورها تقریباً ثابت مانده است. این یعنی تغییرات در کشاورزی، ناشی از گسترش زمین نیست، بلکه ناشی از تغییر در مدیریت و بهره‌وری است. ولی تفاوت‌هایی در میان آنها قابل

مشاهده است. در این میان هند دارای بیشترین شدت بوده است. هند با داشتن بیشترین سهم اراضی کشاورزی (۶۰٪) و بالاترین میزان اراضی آبی (۸۶٪)، نشان‌دهنده یک مدل کشاورزی بسیار متمرکز و مبتنی بر آبیاری است. هلند با مدیریت فشرده با سطح اراضی متوسط اما بهره‌وری بسیار بالا داشته است که نمونه‌ای از کشاورزی مدرن است که در مساحت محدود، محصولات با ارزش بالا تولید می‌کند. اما ایران با چالش منابع همراه است. ایران با کمترین میزان اراضی آبی (۳۳٪)، در مقایسه با هند و آلمان، با چالش جدی در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی مواجه است.

۵.۳. تطبیق شاخص‌های زیست‌محیطی کشورها براساس تغییرات نسبی و رشد مرکب

درباره نتایج شاخص‌های زیست‌محیطی نتایج نشان می‌دهد که کشورها روند متفاوتی را طی کرده‌اند. درخصوص مصرف آفت‌کش‌ها هلند در مصرف به‌ازای هر هکتار رشد قابل توجه دارد. آلمان در بیشتر این شاخص‌ها روند کاهشی را تجربه کرده است. ایران در بعضی شاخص‌ها ثابت و در برخی کاهش دارد. در این میان هند افزایش جزئی دارد. هلند باوجود کشاورزی پیشرفته، مصرف آفت‌کش بالاتری به‌ازای هکتار دارد که می‌تواند ناشی از شدت تولید و کشت فشرده باشد و آلمان نیز در مسیر کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها قرار گرفته است.

در استفاده از حشره‌کش‌ها، هند رشد بسیار شدید دارد. مقدار تغییرات ۱۳ ساله برای این کشور برابر با (۱۰۸۲٪) است. هلند نیز افزایش زیادی دارد. مقدار افزایشی آن برابر با (۲۴۱٪) بوده است. در این میان آلمان رشد بسیار کمی را تجربه کرده است. این شاخص از حساس‌ترین شاخص‌های فشار زیست‌محیطی است. رشد شدید در هند احتمالاً بیانگر افزایش کنترل آفات یا افزایش سطح زیرکشت‌های حساس است.

درخصوص صادرات و واردات کودهای شیمیایی نتایج نشان می‌دهد که کشورها عملکرد متفاوتی داشته‌اند. براساس نتایج به‌دست آمده آلمان و تاحدی هند افزایش صادرات یا واردات نشان می‌دهند. در مقابل هلند در صادرات و واردات برخی کودها کاهش دارد و ایران نیز در صادرات کود نامشخص

و واردات NPK رشد شدید دارد. در ایران وابستگی به واردات کودهای حیاتی بسیار افزایش یافته که از منظر امنیت نهاده‌ها نکته مهمی است.

درخصوص میزان تولید مصرف انرژی‌های بایودیزل، بایوگاز و بایوگازولین عملکردها مثبت بوده است. آلمان در تولید و مصرف بایودیزل رشد بسیار قوی دارد. همچنین ایران در تولید بایوگاز و بایوگازولین رشد بسیار شدیدی را تجربه کرده است علاوه بر آن هند نیز در مصرف بایوگاز و بایوگازولین رشد شدید دارد. ولی هلند در برخی موارد داده صفر یا تغییر کمی داشته است. این بخش نشان‌دهنده گذار انرژی در کشاورزی است. آلمان گذار ساختاری قوی‌تر و منظم‌تر داشته و ایران جهش‌های بزرگ اما ناپایداری را تجربه کرده و هند نیز مصرف زیستی روبه‌رشد و در نهایت هلند الگوی محدودتر یا داده‌های کمتر متغیر طی کرده است

جدول ۵. وضعیت متغیر زیست‌محیطی براساس شاخص تغییرات نسبی و CAGR

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۵

شاخص	آلمان CAGR	آلمان Δ%	هلند CAGR	هلند Δ%	ایران CAGR	ایران Δ%	هند CAGR	هند Δ%
مصرف آفت‌کش به‌ازای هکتار	-۰.۰۱۹۸	-۲۳.۲	۰.۰۱۸۵	۲۶.۹۲	۰	۰	۰.۰۰۰۵	۰.۵۹
مصرف آفت‌کش به‌ازای نفر	-۰.۰۲۶۹	-۲۹.۸۲	۰	۰	۰	۰	-۰.۰۰۴۶	-۵.۸۸
مصرف آفت‌کش به‌ازای ارزش تولید	-۰.۰۲۷۹	-۳۰.۵۱	۰.۰۲۲۴	۳۳.۳۳	-۰.۰۳۰۷	-۳۳.۳۳	۰.۰۰۱	۱.۲۳
استفاده حشره‌کش‌ها (تن)	۰.۰۰۴۴	۵.۸۷	۰.۱۰۳۳	۲۴۰.۹۲	۰	۰	۰.۲۱۰۳	۱۰۸۲.۱۷
استفاده علف‌کش‌ها (تن)	-۰.۰۰۶۹	-۸.۶۳	-۰.۰۳۱۶	-۳۴.۲۷	۰	۰	-۰.۰۱۸۴	-۲۱.۲۱
استفاده قارچ‌کش‌ها و باکتری‌کش‌ها (تن)	-۰.۰۳۴۳	-۳۶.۳۲	-۰.۰۳۵۳	-۳۷.۲۵	۰	۰	-۰.۰۰۸۵	-۱۰.۴۵

سال بیست و چهارم							ارزیابی تطبیقی توسعه پایدار کشورها با تأکید بر...		۴۷۳
صادرات کود شیمیایی نامشخص	۰.۰۷۸۹	۱۵۵.۸۲	-۰.۱۰۳۳	-۷۴.۴۵	۰.۰۲۴۴	۳۶.۸۹	۰.۰۲۱۱	۳۰.۵۲	
واردات کود شیمیایی نامشخص	۰.۰۸۲	۱۸۵.۶۹	-۰.۰۰۳	-۳.۷۵	-۰.۰۳۰۶	۳۳.۱۱	۰.۰۳۷۵	۶۱.۳۸	
واردات کودهای حیاتی NPK	-۰.۰۱۶۶	۱۹.۹۹	۰.۰۶۳۶	۱۲۲	۰.۱۵۷۴	۴۲۸.۷	-۰.۰۴۴۵	-۴۴.۸۲	
تولید بایودیزل	۰.۱۴۸۵	۴۳۲.۵۶	۰	۰	۰.۰۴۵۶	۷۹.۷۱	۰.۰۱۴	۱۹.۹۷	
تولید بایوگاز	۰.۰۳۵۹	۵۹.۵۸	۰.۰۶۰۶	۱۱۲.۸۳	۱.۰۵۰۷	۲۰۷۳۰	۰.۰۴۴۱	۷۶.۱۳	
تولید بایوگازولین	۰	۱۰۰-	۰	۰	۰.۱۸۴۵	۸۵۴.۹	-۰.۰۰۵۷	۷.۱۱-	
مصرف بایودیزل	۰.۱۱۲	۲۶۶.۳۲	۰	۰	۰.۰۱۹۷	۲۸.۵۴	۰.۰۰۲۶	۳.۴۸	
مصرف بایوگاز	-۰.۰۲۲۶	۲۶.۱۹	۰	۰	۰.۰۰۱۸	۲.۶۱	۰.۱۶۴۳	۵۵۹.۶۴	
مصرف بایوگازولین	۰.۰۴۶۷	۸۱.۳۶	۰	۰	۰.۱۹۹۴	۱۵۷۳.۱	۰.۲۰۴۸	۹۲۲.۳۶	

بخش محیط زیست بزرگ‌ترین نقطه تفاوت بین کشورهاست. تفاوت در استراتژی انرژی (بیوانرژی) بسیار بالاست. هند رهبر نوظهور بیوانرژی است. این کشور یک جهش انقلابی در تولید و مصرف بیوگاز و بیوگازولین داشته است. هند در حال تبدیل کردن پسماندهای کشاورزی به سوخت‌های زیستی در مقیاسی عظیم است. آلمان کشوری توسعه‌یافته و متوازن بوده است. آلمان تولید بیوانرژی را به‌صورت پیوسته و با نرخ رشد مثبت اما کنترل‌شده (بدون پرش‌های ناگهانی) توسعه داده است. ایران تازه مسیر را شروع کرده است. ایران در بخش بیوگاز رشد نسبی داشته اما از نظر حجم کل، هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد.

تفاوت در استفاده از نهاده‌ها (آفت‌کش‌ها و کودها) قابل مشاهده است. آلمان تغییر الگوی مصرف را تجربه می‌کند. آلمان باوجود کاهش واردات کودهای حیاتی، با افزایش شدید مصرف حشره‌کش‌ها روبه‌رو بوده است. این می‌تواند نشانه گذار از کوددهی حجیم به کنترل دقیق آفات باشد. هند شدت افزایش را تجربه می‌کند. هند همزمان با رشد بیوانرژی، مصرف حشره‌کش‌ها و واردات کودها را نیز به‌شدت افزایش داده است که نشان‌دهنده یک مدل کشاورزی فشرده است که هم تکنولوژی جدید

(بیوانرژی) و هم نهاده‌های شیمیایی را با هم ترکیب می‌کند. هلند دارای مدیریت پایدار است. هلند در اکثر شاخص‌های شیمیایی (آفت‌کش و کود) روند ثبات یا کاهش را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده استانداردهای سخت‌گیرانه زیست‌محیطی است.

۵.۴. تطبیق کشورها در حوزه اقتصادی اجتماعی براساس شاخص نرمال‌سازی

داده‌ها نشان‌دهنده یک شکاف عمیق بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. نتایج حاصل از نرمال‌سازی شاخص‌های اشتغال، تفاوت بنیادین در ساختار اقتصادی چهار کشور را آشکار می‌سازد. در شاخص سهم شاغلان کشاورزی از کل شاغلان، هند با مقادیر بسیار بالا (۱.۰۰) در سال ۲۰۱۰ و ۰.۸۷ در سال ۲۰۲۳ جایگاه خود را به عنوان یک اقتصاد کاملاً کاربرمحور تثبیت کرده است. در مقابل، آلمان و هلند در هر دو دوره زمانی (۲۰۱۰ و ۲۰۲۳) مقادیر نزدیک به صفر (بین ۰.۰۰ تا ۰.۰۶) را نشان می‌دهند که گویای فرآیند پیشرفته مکانیزاسیون و کاهش وابستگی بخش کشاورزی به نیروی کار در این کشورهای توسعه‌یافته است. ایران نیز در جایگاه میانی با مقدار ۰.۳۵ در سال ۲۰۱۰ قرار دارد که نشان‌دهنده وابستگی نسبی بیشتر نسبت به اروپا و وابستگی کمتر نسبت به هند است. همچنین، روند کاهشی شاخص سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال در هند (از ۰.۱۲ به ۰.۰۰) و ایران (از ۰.۱۰ به ۰.۱۲ - با نوسان کم) نشان‌دهنده گذار تدریجی ساختار کار در این کشورهاست.

تحلیل نقش جنسیتی در نیروی کار کشاورزی، الگوهای متفاوتی را در چهار کشور نشان می‌دهد. در هند، شاخص سهم شاغلان کشاورزی زنان از کل شاغلان با مقدار ۰.۹۸ در سال ۲۰۲۳، نشان‌دهنده نقش بسیار حیاتی و غالب زنان در بخش کشاورزی این کشور است، در حالی که سهم مردان در همین شاخص از ۱.۰۰ به ۰.۷۴ کاهش یافته است. این امر بیانگر تغییر در ترکیب جنسیتی نیروی کار در هند است. در مقابل، در ایران، سهم زنان در اشتغال کشاورزی (۰.۴۴ در سال ۲۰۱۰) از مقدار ۰.۲۲ در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است که نشان‌دهنده تغییرات در مشارکت اقتصادی زنان در بخش اول

اقتصاد است. شاخص سهم زن از کل شاغلان کشاورزی نیز در هلند و آلمان مقادیر بسیار پایینی را نشان می‌دهد که با الگوی کشاورزی متمرکز و صنعتی در این کشورها همخوانی دارد.

در بررسی شاخص ارزش تولیدات کشاورزی (به‌ازای هر منطقه)، نتایج نشان‌دهنده برتری چشمگیر هلند در بهره‌وری اقتصادی است. هلند با جهش از مقدار ۰.۶۰ در سال ۲۰۱۰ به مقدار ۱.۰۰ در سال ۲۰۲۳، بالاترین سطح ارزش افزوده را در میان چهار کشور ثبت کرده است که نشان‌دهنده مدل کشاورزی با ارزش افزوده بالا و استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته است. آلمان نیز با مقادیر نسبتاً پایدار (حدود ۰.۲) در جایگاه بعدی قرار دارد. در مقابل، هند با رشد ارزش تولید از ۰.۱۱ به ۰.۲۹، نشان‌دهنده بهبود تدریجی بهره‌وری اقتصادی است، در حالی که ایران با کاهش شاخص از ۰.۴۲ در سال ۲۰۱۰ به ۰.۲۶ در سال ۲۰۲۳، با چالش کاهش ارزش افزوده در واحد منطقه مواجه بوده است.

جدول ۶. عملکرد کشورها در شاخص‌های اجتماعی اقتصادی براساس شاخص نرمال‌سازی

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۵

شاخص	هلند ۲۰۲۳	هلند ۲۰۱۰	ایران ۲۰۲۳	ایران ۲۰۱۰	هند ۲۰۲۳	هند ۲۰۱۰	آلمان ۲۰۲۳	آلمان ۲۰۱۰
سهم شاغلان کشاورزی از کل شاغلان	۰	۰	۰.۲۸	۰.۳۵	۰.۸۷	۱	۰	۰.۰۳
سهم شاغلان کشاورزی مردان از کل شاغلان	۰	۰.۰۶	۰.۲۸	۰.۳۲	۰.۷۴	۱	۰	۰.۰۴
سهم شاغلان کشاورزی زنان از کل شاغلان	۰	۰.۰۳	۰.۲۲	۰.۴۴	۰.۹۸	۱	۰	۰.۰۲
سهم زن از کل شاغلان کشاورزی	۰.۵۳	۰.۴۷	۰.۲۶	۰.۴۲	۱	۰.۵۷	۰.۵۸	۰.۵۴
سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۹	۰.۰۹	۰	۰.۱۲	۰	۰.۰۱

شاخص	هلند ۲۰۲۳	هلند ۲۰۱۰	ایران ۲۰۲۳	ایران ۲۰۱۰	هند ۲۰۲۳	هند ۲۰۱۰	آلمان ۲۰۲۳	آلمان ۲۰۱۰
سهم اشتغال کشاورزی مردانه از کل اشتغال	۰	۰.۰۳	۰.۱۲	۰.۱	۰	۰.۱۱	۰	۰.۰۱
سهم اشتغال کشاورزی زنانه از کل اشتغال	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۱	۰	۰.۰۱
ارزش تولیدات کشاورزی (به ازای هر منطقه)	۱	۰.۶	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۲۹	۰.۱۱	۰.۲	۰.۲۱

۵.۵. تطبیق کشورها در حوزه کالبدی براساس شاخص نرمال سازی

نتایج نشان می دهد که تشابهات در مدیریت اراضی زیاد است. هلند و هند در شاخص سهم اراضی کشاورزی در مساحت کل مقادیر بالایی دارند که نشان دهنده تخصیص گسترده زمین به کشاورزی است. ایران نیز در شاخص سهم اراضی آبی در پایین ترین سطح قرار دارد که نشان دهنده چالش جدی در مدیریت منابع آب و وابستگی شدید به کشاورزی دیم یا کم آبی است. باوجود تشابهات، تفاوت در پایداری بین کشورها جود دارد. داده ها نشان می دهد که هلند با مقدار (۰.۷۸) و هند با مقدار (۱) در مدیریت اراضی برای محصولات دائمی نسبت به آلمان و ایران، پتانسیل یا رویکرد متفاوتی دارند، اما آلمان در بهره وری استفاده از زمین بسیار پایدار عمل کرده است.

نتایج تحلیل شاخص های کاربری اراضی نشان دهنده استراتژی های متفاوت در مدیریت منابع فیزیکی است. نتایج نشان می دهد که هلند به دلیل محدودیت فضا، بالاترین کارایی را در استفاده از واحد سطح دارد (شاخص بهره وری اراضی نزدیک به ۱). در مقابل، نتایج مربوط به ایران نشان دهنده یک چالش جدی است؛ جایی که شاخص های مرتبط با اراضی آبی و مدیریت پوشش گیاهی در مقایسه با میانگین جهانی و سایر کشورها، مقادیر پایینی را نشان می دهند. این تفاوت در مقادیر نرمال شده، نشان دهنده عدم بهره وری در تخصیص منابع آب به اراضی کشاورزی در ایران است، درحالی که در آلمان و هلند، توزیع اراضی با دقت بیشتری با نیازهای تولیدی همسو شده است.

جدول ۷. شاخص‌های کالبدی براساس شاخص نرمال‌سازی

منبع: (یافته‌های تحقیق براساس داده‌های فائو، ۲۰۲۴)

شاخص	هند ۲۰۲۳	هند ۲۰۱۰	ایران ۲۰۲۳	ایران ۲۰۱۰	هند ۲۰۲۳	هند ۲۰۱۰	آلمان ۲۰۲۳	آلمان ۲۰۱۰
سهم اراضی کشاورزی از کل اراضی	۰.۸	۰.۸	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۴	۰.۴
سهم اراضی آبی از کل زمین زراعی	۰.۵	۰.۵	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۶	۰.۶
سهم زمین کشاورزی در محصولات دائمی	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۱	۰.۴	۰.۳	۰.۰	۰.۰

۵. ۶. تطبیق کشورها در حوزه شاخص‌های زیست‌محیطی براساس شاخص نرمال‌سازی

نتایج حاصل از نرمال‌سازی شاخص‌های نهاده‌های شیمیایی (جدول ۸)، تفاوت‌های فاحشی را در استراتژی‌های کنترل آفات و مدیریت تغذیه گیاهی بین چهار کشور نشان می‌دهد. در بررسی شاخص‌های استفاده از آفت‌کش‌ها، هند با ثبت بالاترین میزان در تمامی شاخص‌های مرتبط (مقدار ۱.۰۰ در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳) در هر سه معیار؛ کیلوگرم در هکتار، به‌ازای هر نفر و به‌ازای ارزش تولید، نشان‌دهنده وابستگی شدید و بحرانی به کنترل شیمیایی آفات است. این وضعیت در ایران نیز با مقادیری بسیار نزدیک به هند (حدود ۰.۹۶ تا ۰.۹۹) تکرار شده است که نشان‌دهنده چالش‌های جدی در گذار به سمت مدیریت یکپارچه آفات در این دو کشور است. در مقابل، آلمان و هلند با مقادیر بسیار پایین‌تر (در محدوده ۰.۰۰ تا ۰.۶۸)، مدل‌های مدیریت آفات بهینه‌تری را دنبال می‌کنند. قابل توجه است که در شاخص استفاده از آفت‌کش به‌ازای ارزش تولید، هلند (۰.۶۸) در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۱۰ (۰.۵۳) افزایش نشان داده که می‌تواند نشان‌دهنده تغییر در ساختار محصولات یا شدت استفاده در مقیاس صنعتی باشد.

در بخش استفاده از سموم تخصصی حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها، هند تنها کشوری است که در شاخص حشره‌کش‌ها دارای فعالیت قابل توجه (۰.۳۶) بوده است، درحالی‌که آلمان،

ایران و هلند در سال ۲۰۲۳ در اکثر این شاخص‌ها به مقادیر نزدیک به صفر رسیده‌اند که نشان‌دهنده کاهش شدید یا مدیریت دقیق‌تر این سموم است.

در تحلیل شاخص‌های مرتبط با کودها، نتایج شکاف بزرگی را میان مدل‌های کشاورزی نشان می‌دهد. هلند با جهش خیره‌کننده در شاخص ارزش صادرات کودها از ۰.۳۵ در سال ۲۰۱۰ به ۱.۰۰ در سال ۲۰۲۳، خود را به‌عنوان یک بازیگر کلیدی در زنجیره تأمین نهاده‌های جهانی تثبیت کرده است. در مقابل، هند و ایران در شاخص‌های واردات کود با مقادیر پایین، خودکفایی نسبی یا عدم وابستگی شدید به واردات در این بازه زمانی را نشان می‌دهند، اما نکته حائز اهمیت در هند، جهش ناگهانی در شاخص ارزش واردات کود حیاتی از ۰.۲۳ در سال ۲۰۱۰ به ۱.۰۰ در سال ۲۰۲۳ است که نشان‌دهنده یک تغییر استراتژیک و وابستگی شدید و جدید به واردات نهاده‌های حیاتی برای پاسخگویی به نیازهای فزاینده کشاورزی است.

تحلیل شاخص‌های انرژی‌های زیستی نشان‌دهنده سطح بسیار پایینی از بهره‌برداری از این حوزه در تمامی چهار کشور است. با این حال، آلمان با ثبت بالاترین مقادیر در شاخص‌های تولید بایودیزل (۰.۱۴) و تولید بیوگاز (۰.۱۱) در سال ۲۰۲۳، در جایگاه پیشرو قرار دارد، هرچند این مقادیر در مقایسه با استانداردهای جهانی همچنان پایین است. ایران و هند با مقادیر صفر در تمامی شاخص‌های تولید و مصرف انرژی‌های زیستی (بایودیزل، بیوگاز و بایوگازولین)، نشان‌دهنده نبود زیرساخت‌های تجاری و صنعتی برای تبدیل ضایعات کشاورزی به انرژی هستند. این یافته‌ها بر ضرورت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های اقتصاد چرخشی برای کاهش ردپای کربن در بخش کشاورزی این کشورها تأکید می‌کند.

جدول ۸. شاخص‌های زیست‌محیطی براساس شاخص نرمال‌سازی

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۵

شاخص	هلند ۲۰۲۳	هلند ۲۰۱۰	ایران ۲۰۲۳	ایران ۲۰۱۰	هند ۲۰۲۳	هند ۲۰۱۰	آلمان ۲۰۲۳	آلمان ۲۰۱۰
استفاده آفت‌کش (کیلوگرم در هکتار)	۰.۱	۰.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۶	۰.۷
استفاده آفت‌کش (به‌ازای هر نفر)	۰.۶	۰.۵	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۵	۰.۵
استفاده آفت‌کش (به‌ازای ارزش تولید)	۰.۷	۰.۵	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۶	۰.۶
استفاده حشره‌کش‌ها (تن)	۰.۰	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱
استفاده علف‌کش‌ها (تن)	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۴	۰.۴	۰.۰	۰.۰
استفاده قارچ‌کش‌ها (تن)	۰.۰	۰.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۰	۰.۱
ارزش صادرات کودها	۱.۰	۰.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
ارزش واردات کودها	۰.۵	۰.۸	۰.۲	۰.۱	۰.۱	۰.۳	۰.۰	۰.۱
ارزش واردات کود حیاتی	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۰.۲	۰.۰	۰.۳
تولید بایو دیزل	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۱
تولید بایوگاز	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۲
تولید بایوگازولین	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱
مصرف بایو دیزل	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
مصرف بایوگاز	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰
مصرف بایوگازولین	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰

۶. بحث

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که هر چهار کشور مورد بررسی (آلمان، هند، ایران و هلند)، فرآیند گذار ساختاری را از بخش کشاورزی به سمت بخش‌های صنعتی و خدماتی تجربه کرده‌اند.

این روند که با کاهش همگام سهم اشتغال کشاورزی از کل اشتغال در تمامی کشورها مشخص می‌شود، با نظریات کلاسیک توسعه اقتصادی مانند تغییرات ساختار آرتور لوئیس همخوانی دارد (بیکر و کریچی^۱، ۲۰۰۷). با این حال، شدت این گذار متفاوت است؛ در حالی که آلمان و هلند به مرحلهٔ پسا-کشاورزی رسیده‌اند که در آن کشاورزی یک فعالیت صنعتی با نیروی کار بسیار کم اما بهره‌وری بسیار بالا است، هند همچنان با چالش مدیریت نیروی کار گسترده در بخش کشاورزی روبه‌روست. نکته قابل توجه، پدیدهٔ زن‌سالاری کشاورزی در هند است. افزایش سهم شاغلین زن در کشاورزی هند، نشان‌دهندهٔ تغییرات جنسیتی در ساختار روستایی است که احتمالاً ناشی از مهاجرت مردان به بخش‌های صنعتی است؛ پدیده‌ای که در گزارش‌های سازمان فائو (FAO) نیز به عنوان یک ویژگی کلیدی در اقتصادهای در حال توسعه در جنوب آسیا ذکر شده است (جناری^۲، ۲۰۲۲). در مقابل، کاهش سهم زنان در بخش کشاورزی ایران، می‌تواند نشان‌دهندهٔ تغییرات در ساختار خانوار یا الگوی مهاجرت جنسیتی در دهه‌های اخیر باشد. همچنین یافته‌های مربوط به افزایش سهم زنان در کشاورزی هند، با بحث‌های بسیار داغ دربارهٔ تغییرات جنسیتی در زنجیرهٔ تأمین غذا همخوانی دارد. پژوهش‌های جدید نشان می‌دهند که در دوران پس از پاندمی، نقش زنان در مدیریت منابع کشاورزی در کشورهای جنوب جهانی به دلیل مهاجرت کاری مردان به بخش خدمات، به طور ساختاری تغییر کرده است (نواز و روپا^۳، ۲۰۲۵).

یکی از یافته‌های کلیدی این تحقیق، تفاوت بنیادین در استراتژی‌های زیست‌محیطی و استفاده از نهاده‌هاست؛ در حالی که در هلند و آلمان روند مصرف نهاده‌ها به سمت مدیریت دقیق‌تر و پایداری حرکت می‌کند، در هند یک پارادوکس رشد مشاهده می‌شود. هند همزمان با جهش در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند بیوگاز)، با افزایش شدید مصرف حشره‌کش‌ها و واردات کودهای

1. Becker & Craigie

2. Gennari

3. Nawaz, & Rupa

شیمیایی مواجهه بوده است (نایاک و سولانکی^۱، ۲۰۲۱). این امر نشان می‌دهد که توسعه در هند بر پایه مدل کشاورزی فشرده استوار است که در آن برای تأمین امنیت غذایی جمعیت روبه‌رشد، از افزایش شدت نهاده‌های شیمیایی در کنار تکنولوژی‌های جدید استفاده می‌شود.

در مورد آلمان، افزایش نرخ مصرف حشره‌کش‌ها، علی‌رغم پیشرفت‌های تکنولوژیک، می‌تواند نشان‌دهنده فشار آفات بر محصولات در اثر تغییرات اقلیمی یا تغییر در استانداردهای کنترل آفات باشد که نیازمند بررسی‌های اپیدمیولوژیک بیشتر است.

نتایج مربوط به تولید و مصرف سوخت‌های زیستی نشان‌دهنده شروع یک انقلاب انرژی در بخش کشاورزی است. هند با نرخ رشد بسیار بالا در بخش بیوگاز، در حال تبدیل شدن به یک قدرت نوظهور در اقتصاد چرخشی است که در آن پسماندهای کشاورزی به منابع انرژی تبدیل می‌شوند. این روند با اهداف توسعه پایدار همسو است.

در ایران، اگرچه رشد تولید بیوگاز و بیوگازولین مثبت بوده، اما مقیاس آن در مقایسه با کشورهای پیشرو همچنان محدود است. این نشان می‌دهد که پتانسیل‌های زیست‌محیطی ایران در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر کشاورزی هنوز به‌طور کامل در سطح صنعتی شکوفا نشده است و نیاز به سیاست‌گذاری‌های حمایتی برای تبدیل پسماند به انرژی احساس می‌شود این نتایج با یافته‌های فیروزجایی و همکاران (۲۰۲۵) تطابق دارد.

یافته‌های این مطالعه در مورد هند، با بحث‌های روز در مجلات علمی پیرامون توسعه سبز در تضاد یا همسو است. تحقیقات اخیر مانند کومار و همکاران (۲۰۱۲) نشان می‌دهند که کشورهای در حال توسعه در یک تله توسعه گرفتار شده‌اند؛ جایی که برای تضمین امنیت غذایی، ناگزیر به افزایش شدت استفاده از نهاده‌های شیمیایی هستند، حتی اگر این کار با تخریب محیط‌زیست همراه باشد.

در حالی که هند در حال جهش در سمت بیوانرژی است، افزایش حشره‌کش‌ها نشان می‌دهد که این کشور هنوز در مرحله تولید متمرکز بر شدت است و هنوز به مرحله کشاورزی اکولوژیک که در اروپا (مانند هلند) رایج است، نرسیده است. این تفاوت با مدل‌های توسعه پایدار در مقالات سال ۲۰۲۴ که بر کاهش نهاده‌های شیمیایی تأکید دارند، یک شکاف مشخص را نشان می‌دهد. در مقایسه با تحقیقات اخیر در مورد آلمان و هلند، یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که اروپا در حال گذار از کشاورزی سنتی به کشاورزی بیواکولوژیک است. تحقیقات بیلا^۱ و همکاران (۲۰۲۳) نشان می‌دهند که در اروپا، تولید بیوگاز و بیودیزل دیگر یک فعالیت جانبی نیست، بلکه بخشی از استراتژی (کربن‌زدایی) بخش کشاورزی است.

اما یافته‌های مربوط به ایران، یک الگوی متفاوت را نشان می‌دهد؛ در حالی که جهان به سمت اقتصاد چرخشی حرکت می‌کند، رشد نسبی بیوانرژی در ایران در مقایسه با هند بسیار کندتر است. این یافته با پژوهش‌های تاردی^۲ و همکاران (۲۰۲۳) در مورد چالش‌های انرژی همسو است. کشورهایی که منابع فسیلی ارزان دارند، انگیزه اقتصادی کمتری برای سرمایه‌گذاری عظیم در زیرساخت‌های بیوانرژی (مانند هند) نشان داده‌اند. این یک نقطه بحرانی برای آینده امنیت انرژی و محیط‌زیست ایران است.

۷. نتیجه‌گیری

این مطالعه با تحلیل و نرمال‌سازی داده‌های چهار کشور آلمان، هلند، هند و ایران در دو بازه زمانی ۲۰۱۰ و ۲۰۲۳، نشان‌دهنده وجود سه الگوی متمایز در بخش کشاورزی جهانی است؛ اول، الگوی تکنولوژی‌محور و پایداری، آلمان و هلند با گذار کامل از کشاورزی کاربرمحور به مدل‌های سرمایه‌محور، توانسته‌اند با وجود کاهش چشمگیر نیروی کار، از طریق مکانیزاسیون شدید و مدیریت

1. Beila

2. Tardy

دقیق نهاده‌ها، بهره‌وری اقتصادی (ارزش تولید) را به حداکثر برسانند. در این میان، هلند با تبدیل شدن به یک قطب صادرات نهاده‌های کشاورزی (کود)، توانسته است از مرحله مصرف‌کننده به مرحله بازیگر کلیدی در زنجیره ارزش جهانی تغییر وضعیت دهد. دوم، الگوی سنتی و وابسته به نیروی کار، هند با حفظ سطح بالای اشتغال کشاورزی و وابستگی شدید به مدیریت شیمیایی آفات، همچنان در گذار از کشاورزی سنتی به مدرن قرار دارد. با این حال، جهش اخیر در واردات کودهای حیاتی، نشان‌دهنده فشار فزاینده بر امنیت غذایی و نیاز مبرم به خودکفایی در نهاده‌های استراتژیک است. و سوم، الگوی در حال بحران و نیازمند تحول، ایران در این مقایسه، الگویی را نشان می‌دهد که با چالش‌های ساختاری روبه‌روست. کاهش ارزش افزوده تولیدات در کنار وابستگی بالا به آفت‌کش‌ها و عدم بهره‌برداری از پتانسیل‌های انرژی‌های زیستی، نشان‌دهنده ضرورت بازنگری در مدیریت منابع (به‌ویژه آب و خاک) و گذار از مدیریت سنتی به کشاورزی دقیق است. در نهایت، یافته‌ها نشان می‌دهد که آینده کشاورزی در کشورهای در حال توسعه، گروه‌بندی براساس توانایی در کاهش شدت استفاده از مواد شیمیایی و جایگزینی آن‌ها با تکنولوژی‌های سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد بود.

کتابنامه

۱. دهقانپور، م.، یزدان‌پناه، م.، فروزانی، م.، و عبدالله‌زاده، غ. (۱۳۹۹). ارزیابی پایداری سیاست‌های سازگاری کشاورزی با تغییرات اقلیم از دیدگاه کارشناسان وزارت جهاد کشاورزی. *پژوهش‌های روستایی*، ۱۱(۱)، ۳۶-۴۹. doi: 10.22059/jrur.2019.288664.1402
۲. فروزش، ا.، کسرائی، ا.ر.، دین‌پناه، ر.، و چرمچیان‌لنگرودی، م. (۱۴۰۳). بایسته‌های آینده‌نگاری در حکمرانی برای کاربرپذیری فناوری‌های نوظهور؛ با تأکید بر دستیابی به کشاورزی پایدار در ایران. *نشریه آینده‌پژوهی ایران*، ۹(۱)، ۲۳۷-۲۱۲.
۳. کوچکی، ع.، نصیری‌محلاتی، م.، منصوری، ح.، و مرادی، ر. (۲۰۱۵). ارزیابی توسعه کشاورزی پایدار در ایران با استفاده از روش مزیت نسبی. *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۲۳(۹۰)، ۵۴-۲۹.

۴. لچینانی، ع.ر.، نقی‌زاده، ع.، موگوئی، م.، و اخوت.ر. (۲۰۲۱). آمایش سرزمین، محیط زیست پایدار با تأکید بر کشاورزی مدرن و امنیت غذایی. *فصلنامه علمی و پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۱۳(۲)، ۶۸۴-۷۰۷.
۵. وحدتی، ک.، و ساریخانی، س. (۱۳۹۹). مروری بر توسعه پایدار بخش کشاورزی ایران و جهان. *پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵(۱)، ۱۹-۲۳.
۶. مهرپور حسینی، ا.، و شاه‌نباتی، ن. (۱۴۰۵). پیوند سیاست‌های کشاورزی و پایداری زیست‌محیطی: رابطه متقابل حمایت از بخش کشاورزی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران. *اقتصاد کشاورزی و روستایی* ۳(۳). doi: 10.30490/etr.2026.367668.1077.
۷. یاسوری، م.، محمدی، ا.، و امامی، س.ف. (۱۳۹۹). تحلیل فضایی و سطوح توسعه‌یافتگی استان گیلان در شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی. *مطالعات جغرافیایی نواحی ساحلی*، ۱(۳)، ۲۷-۵۱.

8. Becker, C. M., & Craigie, T. A. (2007). W. Arthur Lewis in retrospect. *The Review of Black Political Economy*, 34(3-4), 187-216.
9. Gennari, P., Seck, P., Guerrero, M., Toma, I., & Shama, R. (2022). The FAO-UN Women partnership to support countries in producing sex-disaggregated data on agricultural landownership: SDG indicator 5. a. 1. *Statistical Journal of the IAOS*, 38(3), 893-914.
10. Nawaz, F., & Rupa, S. A. (2025). Women's Participation in Agricultural Decision-Making: Theoretical Foundation and Analyzing Gaps in Existing Literatures. *Gender, Participation and Agriculture: From Policy to Practice* (pp 21-35).
11. Nayak, P., & Solanki, H. (2021). Pesticides and Indian agriculture—a review. *Int J Res Granthaalayah*, 9(5), 250-263.
12. Firozjaee, T. T., Kootenaei, F. G., Khakzad, S. F., & Khoshnevisan, S. (2025). Assessment of biomass resources for a clean and sustainable energy generation in Iran. *Biomass and Bioenergy*, 199, 107908.
13. Kumar, M. D., Sivamohan, M. V. K., & Narayanamoorthy, A. (2012). The food security challenge of the food-land-water nexus in India. *Food security*, 4(4), 539-556.

14. Beila, I., Hoffstede, U., Kasten, J., Beil, M., Wachendorf, M., & Wijesingha, J. (2025). Remote sensing-based long-term assessment of bioenergy policy impact on agricultural land cover change: A case study of biogas in the Weser-Ems region in Germany. *Science of the Total Environment*, 1003, 180667.
15. Tardy, B. L., Greca, L. G., Mihhels, K., Lizundia, E., Dumee, L. F., & Vega, L. F. (2023). Integrating arid areas in the global bioeconomy: opportunities and challenges toward sustainable biomass generation and management. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(33), 12177-12193
16. Amghani, M. S., Miladi, H., Savari, M., & Mojtahedi, M. (2025). Factors influencing the agricultural extension model sites in Iran. *Scientific Reports*, 15(1), 9590.
17. Asimeh, M., Nooripoor, M., Azadi, H., Van Eetvelde, V., Sklenička, P., & Witlox, F. (2020). Agricultural land use sustainability in Southwest Iran: Improving land leveling using consolidation plans. *Land Use Policy*, 94, 104555. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104555>
18. Bartkowski, B., Baaken, M. C., Nagpal, M., Sodoge, J., & de Brito, M. M. (2025). What constitutes sustainable agriculture for different audiences in Germany? A comparative analysis of large-scale text data. *People and Nature*, 7(3), 715-730. <https://doi.org/10.1002/pan3.70003>
19. Baudry, G., Costa, L., Di Lucia, L., & Slade, R. (2023). An interactive model to assess pathways for agriculture and food sector contributions to country-level net-zero targets. *Communications Earth & Environment*, 4(46).
20. Berger, I., Bhan, M., Bhangaonkar, R., Chaudhary, A., Mallapu, G. R., Nair, T., ... & Dicks, L. V. (2025). Integrated land systems for sustainable food production and biodiversity conservation in the semi-arid to moist tropics: stakeholder perspectives from Andhra Pradesh, India. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, 1594356. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1594356>
21. Carmichael, J., Cran, A., Hrvatin, F., & Matthews, J. (2023). "We are stewards and caretakers of the land, not exploiters of resources": A qualitative study exploring Canadian farmers' perceptions of environmental sustainability in agriculture. *PLOS ONE*, 18(8), e0290114. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290114>.
22. Chauhan, N., & von Wehrden, H. (2025). A critical analysis of the policy potential for sustainable agriculture in India. *Discover Sustainability*, 6(1), 233.
23. Constantin, M., Sapena, J., Apetrei, A., & Pătărlăgeanu, S. R. (2023). Deliver smart, not more! Building economically sustainable competitiveness on the ground of high agri-food trade specialization in the EU. *Foods*, 12(2), 232.

24. Saikanth, D. K., Singh, B. V., Rai, A. K., Bana, S. R., Sachan, D. S., & Singh, B. (2023). Advancing sustainable agriculture: a comprehensive review for optimizing food production and environmental conservation. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(16), 417-425.
25. Dellar, M., Geerling, G., Kok, K., van Bodegom, P. M., van der Schrier, G., Schrama, M., & Boelee, E. (2024). Future land use maps for the Netherlands based on the Dutch One Health Shared Socio-economic Pathways. *Scientific Data*, 11(1), 1237.
26. Dönmez, D., Isak, M. A., İzgü, T., & Şimşek, Ö. (2024). Green Horizons: Navigating the Future of Agriculture through Sustainable Practices. *Sustainability*, 16(8), 3505. <https://doi.org/10.3390/su16083505>
27. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Sustainable food and agriculture. *FAO*. <https://www.fao.org/sustainability>
28. Genc, N., Colak, H. E., & Baser, V. (2025). Towards sustainable futures: an interdisciplinary bridge—A bibliometric review on climate change, agriculture, land management, and GIS. *Sustainable Development*, 33(4), 5848-5873.
29. Gupta, J., Bergsma, E., Termeer, C. J. A. M., Biesbroek, G. R., van den Brink, M., Jong, P., ... & Nooteboom, S. (2016). The adaptive capacity of institutions in the spatial planning, water, agriculture and nature sectors in the Netherlands. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 21(6), 883-903.
30. Hartmann, L., Walz, Y., Hansohm, J., Domingos Vellozo, L., Walinder, E., Andreeva, O., ... & Orr, B. J. (2024). Assessing the contribution of land and water management approaches to sustainable land management and achieving land degradation neutrality. *Frontiers in Sustainable Resource Management*, 3, 1423078.
31. Hinz, R., Sulser, T. B., Hüfner, R., Mason-D'Croz, D., Dunston, S., Nautiyal, S., ... & Schaldach, R. (2020). Agricultural development and land use change in India: A scenario analysis of trade-offs between UN Sustainable Development Goals (SDGs). *Earth's Future*, 8(2), e2019EF001287. <https://doi.org/10.1029/2019ef001287>
32. Hobbs, P. R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 543-555. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2169>
33. Hultgren, A., Carleton, T., Delgado, M., Gergel, D. R., Greenstone, M., Houser, T., ... & Yuan, J. (2025). Impacts of climate change on global agriculture accounting for adaptation. *Nature*, 642(8068), 644-652.
34. Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisingsh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8).

35. Jago, S., & Borrell, J. S. (2024). Agrobiodiversity conservation enables sustainable and equitable land sparing. *Trends in Ecology & Evolution*, 39(10), 877-880. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2024.08.009>
36. Kabato, W., Getnet, G. T., Sinore, T., Nemeth, A., & Molnár, Z. (2025). Towards climate-smart agriculture: Strategies for sustainable agricultural production, food security, and greenhouse gas reduction. *Agronomy*, 15(3), 565.
37. Kalogiannidis, S., Kalfas, D., Giannarakis, G., & Paschalidou, M. (2023). Integration of water resources management strategies in land use planning towards environmental conservation. *Sustainability*, 15(21), 15242.
38. Kamau, H., Roman, S., & Biber-Freudenberger, L. (2023). Nearly half of the world is suitable for diversified farming for sustainable intensification. *Commun Earth Environ*, 4, 446. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01062-3>
39. Keesstra, S., Mol, G., de Leeuw, J., Okx, J. P., Molenaar, C., De Cleen, M., & Visser, S. (2018). Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work. *Land*, 7(4), 133. <https://doi.org/10.3390/land7040133>
40. Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental research*, 206, 112285.
41. Kumar, A., Pramanik, M., Chaudhary, S., & Negi, M. S. (2021). Land evaluation for sustainable development of Himalayan agriculture using RS-GIS in conjunction with analytic hierarchy process and frequency ratio. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.10.001>
42. Kumar, A., Singh, D., & Mahapatra, S. K. (2022). Energy and carbon budgeting of the pearl millet-wheat cropping system for environmentally sustainable agricultural land use planning in the rainfed semi-arid agro-ecosystem of Aravalli foothills. *Energy*, 246, 123389. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123389>
43. Linke, H. J., & Popov, A. (2025). Reorganization of Agricultural Land Leases as a Tool for Sustainable Land Use: Comparative Insights from Ukraine and Germany. *Land*, 14(11), 2261. <https://doi.org/10.3390/land14112261>
44. Little, J., Hester, E., & Carey, C. (2016). Assessing and Enhancing Environmental Sustainability: A Conceptual Review. *Environmental science & technology*, 50 13, 6830-45. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00298>.
45. Muhie, S. H. (2022). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100446>
46. Oliveira, E., Leuthard, J., & Tobias, S. (2019). Spatial planning instruments for cropland protection in Western European countries. *Land Use Policy*, 87, 104031. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104031

47. Owusu-Peprah, N. T. (2024). *World Development Report 2022: Finance for an Equitable Recovery: By World Bank, Washington, DC*, World Bank Publications, 2022, 267 pp., \$0.00 (E-Book), ISBN 9781464817311.
48. Qi, X., Fu, Y., Wang, R. Y., Ng, C. N., Dang, H., & He, Y. (2018). Improving the sustainability of agricultural land use: An integrated framework for the conflict between food security and environmental deterioration. *Applied geography*, 90, 214-223.
49. Robinson, G. M. (2024). Global sustainable agriculture and land management systems. *Geography and Sustainability*, 5(4), 637-646. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2024.09.001>
50. Roy, P. S., Roy, A., Joshi, P. K., Kale, M. P., Srivastava, V. K., Srivastava, S. K., ... & Kushwaha, D. (2015). Development of decadal (1985–1995–2005) land use and land cover database for India. *Remote Sensing*, 7(3), 2401-2430. <https://doi.org/10.3390/rs70302401>
51. Sharma, S., & Bipana, K. C. (2024). Sustainable agriculture and it's practices: A review. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 12(12), 2631-2639.
52. SaberiKamarposhti, M., Ng, K. W., Yadollahi, M., Kamyab, H., Cheng, J., & Khorami, M. (2024). Cultivating a sustainable future in the artificial intelligence era: A comprehensive assessment of greenhouse gas emissions and removals in agriculture. *Environmental Research*, 250, 118528.
53. Shah, F., & Wu, W. (2019). Soil and crop management strategies to ensure higher crop productivity within sustainable environments. *Sustainability*, 11(5), 1485. <https://doi.org/10.3390/su11051485>
54. Singh, S., Singh, R. S., & Arora, S. (2018). Land Resource Inventory (LRI) for development of sustainable agricultural land use plans using geospatial techniques: A case study of Pata Meghpar village, Jamnagar district, Gujarat. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(1), 15.
55. Shi, H., & Umair, M. (2024). Balancing agricultural production and environmental sustainability: based on economic analysis from north China plain. *Environmental Research*, 252, 118784. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118784>
56. Shi, Q., Gu, C. J., & Xiao, C. (2023). Multiple scenarios analysis on land use simulation by coupling socioeconomic and ecological sustainability in Shanghai, China. *Sustainable Cities and Society*, 95, 104578. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104578>
57. Shin, J., Kim, H., Cheon, M., Kim, J., & Choi, J. (2024). Changes and Prospects in Healthcare with OECD Health Statistics. *Health Insurance Review & Assessment Service Research*, 4(2), 225-234.

58. Sridhara, S., Gopakkali, P., Manoj, K. N., Patil, K. K. R., Paramesh, V., Jha, P. K., & Prasad, P. V. V. (2022). Identification of Sustainable Development Priorities for Agriculture through Sustainable Livelihood Security Indicators for Karnataka, India. *Sustainability*, 14(3), 1831-1854, <https://doi.org/10.3390/su14031831>
59. Streimikis, J., & Baležentis, T. (2020). Agricultural sustainability assessment framework integrating sustainable development goals and interlinked priorities of environmental, climate and agriculture policies. *Sustainable Development*, 28(6), 1702-1712. <https://doi.org/10.1002/sd.2118>
60. Teng, J., Hou, R., Dungait, J., Zhou, G., Kuzyakov, Y., Zhang, J., ... & Delgado-Baquerizo, M. (2024). Conservation agriculture improves soil health and sustains crop yields after long-term warming. *Nature Communications*, 15. 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-53169-6>.
61. Toromade, A. S., & Chiekezie, N. R. (2024). GIS-driven agriculture: Pioneering precision farming and promoting sustainable agricultural practices. *World Journal of Advanced Science and Technology*, 6(1), 0047. <https://doi.org/10.53346/wjast.2024.6.1.0047>
62. Varzakas, T., & Smaoui, S. (2024). Global Food Security and Sustainability Issues: The Road to 2030 from Nutrition and Sustainable Healthy Diets to Food Systems Change. *Foods*, 13, 306-335, <https://doi.org/10.3390/foods13020306>.
63. Verkuil, L. A., Verburg, P. H., Levers, C., Stratton, A. E., & Schulp, C. J. (2024). Bright spots of agroecology in the Netherlands: A spatial analysis of agroecological practices and income stability. *Agricultural Systems*, 220, 104086. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104086>
64. Vollset, S. E., Goren, E., Yuan, C. W., Cao, J., Smith, A. E., Hsiao, T., ... & Murray, C. J. (2020). Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 396(10258), 1285-1306.
65. Xue, L., Liu, X., Lu, S., Cheng, G., Hu, Y., Liu, J., ... & Liu, G. (2021). China's food loss and waste embodies increasing environmental impacts. *Nature Food*, 2(7), 519-528.
66. Yazdanpanah, M., Mousavi, M., Sharifi, Z., Lamm, A., Löhr, K., & Sieber, S. (2025). Agricultural land use change in fertile areas (basic agriculture) in Southwestern Iran: lessons learned from a qualitative study. *Environment, Development and Sustainability*, 10, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06800-5>

67. Ye, H., Wang, H., Nie, C., Wang, J., Huang, W., Teng, L., & Wu, M. (2023). Measurement Indicators and an Evaluation Approach for Assessing the Sustainable Development Capacity of Tropical Agriculture: A Case Study for Hainan Province, China. *Sustainability*, 15(11), 8778-8795, <https://doi.org/10.3390/su15118778>