



تحلیل چالش‌ها، فرصت‌ها و راهکارهای جهانی در توسعه زراعت پایدار: نگاهی به روندهای اخیر

محمد دین روستازاده^۱

^۱دیپارتمنت اگرونومی، پوهنځی زراعت، پوهنتون بامیان

خلاصه

تحقق زراعت پایدار نیازمند رویکرد جامع و چند بُعدی می‌باشد که شامل سیاست‌گذاری در سطح کلان، تقویت سیستم‌های حمایتی، آموزش و ترویج روش‌های زراعت سنتی، مشارکت فعال جامعه و مقابله با چالش‌های تغییرات اقلیمی است. سیاست‌گذاری‌های مؤثر در سطح کلان باید زمینه‌های انگیزه‌های مالی، اصلاحات ارضی و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های زراعتی را فراهم سازد تا استفاده مؤثر و پایدار از منابع ممکن گردد. تقویت نظام‌های حمایتی، به خصوص دسترسی به خدمات مالی، بیمه‌های زراعتی و خدمات ترویجی، باعث توانمندسازی دهقانان در پذیرش تکنالوژی‌های نوین و تطبیق روش‌های پایدار می‌شود. آموزش و ترویج زراعت سنتی که بر دانش محلی و تنوع حیات استوار است، نقش مهمی در حفظ تعادل محیط زیستی و پایداری فرهنگی ایفا می‌نماید. مشارکت فعال جامعه محلی و همکاری دوامدار میان ذی‌نفعان، توزیع عادلانه منابع و انتقال دانش را فراهم کرده و تاب‌آوری درازمدت سیستم‌های زراعتی را تقویت می‌کند. همچنان، استفاده از تکنالوژی‌های سازگار با اقلیم، زراعت محیط‌زیست‌محور و به کارگیری سیستم‌های هشداردهنده زود هنگام، به کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی از جمله بی‌ثباتی اقلیمی، کمبود آب و تخریب خاک کمک می‌نماید. اجرای هم‌زمان این راهکارها به توسعه زراعت پایدار، مقاوم و متوازن گردیده و در نهایت تأمین امنیت غذایی را تضمین می‌نماید.

کلیمات کلیدی: اقلیم؛ چالش‌ها؛ دیجیتالی شدن؛ زراعت پایدار؛ سیاست‌گذاری؛ مشارکت.

Analysis of Challenges, Opportunities, and Global Strategies for Sustainable Agricultural Development: A Review of Recend Trends

Mohammad Din Rostazada^{1*}

¹ Department of Agronomy, Agriculture Faculty, Bamyan University

*Corresponding Author Email: mohammaddinrostazada35@gmail.com or rostazada@bu.edu.af

Abstract

Achieving sustainable agriculture requires a comprehensive and multidimensional approach that includes macro-level policymaking, strengthened support systems, education and promotion of traditional farming models, active community participation, and addressing the challenges of climate change; effective macro policies should provide financial incentives, land reforms, and investments in agricultural infrastructure to enable optimal resource utilization, while strengthened support systems such as access to financial services, insurance, and extension services empower farmers to adopt innovative and sustainable practices; education and promotion of traditional agriculture, rooted in local knowledge and biodiversity, play a vital role in maintaining ecological balance and cultural sustainability, and active community participation along with continuous cooperation among stakeholders ensures equitable distribution of resources and knowledge, thereby enhancing the long-term resilience of agricultural systems; additionally, the use of climate-adaptive technologies, agroecology, and early warning systems helps mitigate the adverse effects of climate change, including climate variability, water scarcity, and soil degradation, and the integrated implementation of these solutions leads to sustainable, resilient, and balanced agriculture systems that ensures food security.

Keywords: Challenges; Climate; Digitalization; Participation; Policymaking; Sustainable agriculture.

مقدمه

زراعت به دلیل نقش اساسی آن در تأمین نیازهای انسان و حیوانات، تحقق امنیت غذایی و دستیابی به توسعه پایدار، یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد به شمار می‌رود. بخش زراعت یکی از ارکان اصلی اقتصاد جهانی است؛ زیرا جمعیت کره زمین به‌طور مداوم در حال افزایش است و این امر موجب افزایش پیوسته تقاضا برای مواد غذایی و ضرورت تولید پایدار محصولات زراعتی می‌گردد (Zhang et al., 2016; Lowenberg et al., 2020). زراعت علاوه بر مسئولیت تأمین مواد غذایی، زمینه گسترده‌ای اشتغال ساکنان را فراهم می‌نماید. این بخش مواد خام مورد نیاز صنایع وابسته به تولیدات زراعتی را تأمین نموده و خدمات متنوعی را برای صادرکنندگان محصولات زراعتی مهیا می‌سازد (Azadi et al., 2021).

در دهه‌های اخیر، روش‌های سنتی زراعتی در بسیاری موارد منجر به پیامدهای منفی محیط‌زیستی و اجتماعی گردیده‌اند. با تداوم افزایش جمعیت جهان و کاهش روز افزون منابع طبیعی، نیاز فوری به حرکت به سوی توسعه پایدار در بخش زراعت به‌طور جدی احساس می‌شود (Abrham et al., 2015). در این چارچوب، توسعه پایدار به‌عنوان یک رویکرد جامع تعریف می‌شود که هدف آن برآورده ساختن نیازهای نسل کنونی بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود می‌باشد. در بخش زراعت، توسعه پایدار در پی تضمین امنیت غذایی درازمدت، کاهش تخریب محیط‌زیست و ترویج عدالت اجتماعی می‌باشد (Leakey, 2020; Streimikis and Baležentis, 2020; Hardaker, 1997).

توسعه پایدار یک مفهوم کلیدی برای جامعه و اقتصاد معاصر به‌شمار می‌رود. این مفهوم در سطح جهانی به‌عنوان چارچوب اساسی سیاست‌های اقتصادی سازمان‌های بین‌المللی، از جمله برنامه‌های سازمان ملل متحد و اتحادیه اروپا، پذیرفته شده است. در بسیاری از کشورها، توسعه پایدار در سطح کلان حتی در اصول قانون اساسی نیز گنجانده شده است (برای نمونه در قانون اساسی پولند). برعلاوه این رویکرد جامع، توسعه پایدار مفهومی است که به بخش‌های مشخص از اقتصاد نیز اشاره ارتباط می‌گیرد (Dubois, 2011; Kociszewski, 2018).

زراعت زمینه اشتغال را برای حدود ۳۷,۳ فیصد از نفوس کره زمین (۴۱ فیصد زنان و ۵۹ فیصد مردان) فراهم نموده است. این سکتور حدود ۱۷ فیصد از مجموع گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کند. پیش‌بینی می‌گردد که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۹,۶ میلیارد نفر برسد که این امر منجر به افزایش چشم‌گیر تقاضا برای مواد غذایی خواهد شد. از سوی دیگر، مصرف جهانی آب شیرین در بخش زراعت از ۳۱۰۰ میلیارد مترمکعب به ۴۵۰۰ میلیارد مترمکعب افزایش خواهد یافت. با این حال، وضعیت کنونی بخش زراعت در سطح جهان نشان می‌دهد که توانایی تأمین کامل این نیازها به‌طور پایدار وجود نخواهد داشت (Pollalis, 2016).

بنابراین، تکیه بر زراعت پایدار به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای افزایش تولیدات زراعتی و حفاظت از منابع طبیعی با حداقل تغییرات و تخریب محیط‌زیستی مطرح می‌گردد. در سال‌های آینده، تغییرات اقلیمی به‌طور قابل توجهی بر تولید محصولات زراعتی تأثیر منفی خواهد گذاشت و پیش‌بینی می‌شود که این تأثیرات در آینده نزدیک شدت بیشتری بروز نماید. تنش خشکی، کوتاه‌شدن دوره سرمای زمستان و در نتیجه برآورده نشدن نیاز سرمایی نباتات، زودگل‌دهی نباتات، افزایش خسارات ناشی از سرمای دیررس و کاهش اراضی مناسب برای زراعت از جمله پیامدهای منفی تغییر اقلیم به‌شمار می‌روند (Vahdati et al., 2009; Gong and Lin, 2000). این مقاله به بررسی ابعاد مختلف توسعه پایدار در بخش زراعت می‌پردازد و روش‌های نوآورانه مانند زراعت ارگانیک، جنگل‌داری و زراعت دقیق را مورد بحث قرار می‌دهد؛ روش‌هایی که می‌توانند به نقش مهمی در حفاظت از تنوع حیات ایفا نمایند.

روش تحقیق

این مقاله مروری با استفاده از رویکرد مرور سیستماتیک و روایتی منابع علمی انجام گردیده است. برای شناسایی منابع مرتبط، جستجوی همه‌جانبه در دیتابیس‌های معتبر علمی شامل ScienceDirect، Google Scholar، Web of Science، Scopus و صورت گرفته است. کلیات کلیدی مرتبط با زراعت پایدار، تغییرات اقلیمی، آگروایکولوژی، مدیریت منابع طبیعی و امنیت غذایی به‌صورت ترکیبی مورد استفاده قرار گرفتند. منابع علمی بر اساس ارتباط موضوعی، کیفیت علمی و هم‌سویی با اهداف مقاله مرور شده و تمرکز اصلی بر مطالعات منتشرشده در دهه‌های اخیر بوده است. پس از مرحله مرور دقیق، منابع انتخاب‌شده به شکل انتقادی تحلیل و ترکیب گردید تا موضوعات کلیدی، روندها، رویکردهای روش‌شناختی و خلأهای دانشی شناسایی شود. در نهایت، یافته‌ها به‌صورت موضوع محور تنظیم گردیده تا درک یکپارچه‌ای از شواهد موجود و دیدگاه‌های کنونی در مورد زراعت پایدار و نقش آن در مقابل با چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی ارائه گردد.

نتایج و مباحثه

۱. چارچوب نظری و مفهومی زراعت پایدار

زراعت یکی از ارکان اساسی توسعه پایدار به شمار می رود که به طور مستقیم و غیرمستقیم در تأمین نیازهای بشری، مدیریت منابع طبیعی، و رشد اقتصادی نقش مهمی ایفا می نماید. مفهوم توسعه پایدار مفهومی وسیعی و تا حدی چندبعدی است که وابسته به شرایط، و ساحه و مشخصات جوامع مختلف تغییر می کند. از دیدگاه مفهومی، توسعه پایدار به معنای حفظ روند توسعه در طول زمان بوده و بیانگر آن است که سیستم های اقتصادی و اجتماعی باید در تعامل و هماهنگی با سیستم محیط زیست قرار داشته باشند. در چارچوب توسعه پایدار، تعامل انسان با محیط زیست یکی از اصول اساسی محسوب می گردد (Vahdati et al., 2009؛ Fiedor, 2002؛ Gong and Lin, 2000).

۱.۱. پایداری

پایداری مفهومی است که به حفظ برابری، تداوم در سیستم های طبیعی، اجتماعی و اقتصادی اشاره دارد، به گونه ای که منابع و شرایط لازم برای زندگی انسان و سایر موجودات زنده حفظ گردد و نسل های آینده نیز بتوانند از آن بهره مند شوند. پایداری به ظرفیت نگهداری و بهبود روندها یا سیستم های اساسی در دراز مدت اشاره دارد، بدون آن که منابع موجود به پایان برسد یا به محیط زیست، جامعه و اقتصاد آسیب غیرقابل جبران وارد گردد. پایداری به معنای ایجاد و حفظ تعادل میان توسعه اقتصادی، حفاظت از منابع طبیعی و عدالت اجتماعی است که غالباً به عنوان سه رکن اساسی پایداری یاد می شود: پایداری محیط زیستی، پایداری اقتصادی و پایداری اجتماعی (Daily and Ehrlich, 1992).

پایداری محیط زیستی بر مدیریت مسئولانه و حفاظت از منابع طبیعی و اکوسیستم ها تمرکز دارد. از دیدگاه علمی، این مفهوم بر اصل تأکید می نماید که فعالیت های انسانی نباید از ظرفیت بازتولید و احیای محیط زیست فراتر رود. این امر شامل پرداختن به مسائلی مانند کاهش تنوع حیات، تغییرات اقلیمی و کاهش منابع طبیعی می شود. محققین بر این باورند که شیوه های پایدار باید به تقویت تاب آوری اکوسیستم ها از طریق حفظ کارکردها و خدمات آنها کمک کنند (Daily and Ehrlich, 1992).

پایداری اقتصادی به بررسی این موضوع می پردازد که چگونه نظام های اقتصادی می توانند در درازمدت به صورت کارا و عادلانه عمل نمایند، در حالی که رفاه اجتماعی را نیز حفظ گردد. این مفهوم بر ضرورت رشد اقتصادی درازمدتی تأکید دارد که منجر به تولید بیش از حد زباله ها یا تخریب محیط زیست نگردد. یکی از مفاهیم کلیدی در این حوزه، سه گانه سود (Triple Bottom line) است که کسب و کارها را تشویق می نماید تا به طور هم زمان بر عملکرد اجتماعی، محیط زیستی و مالی خود تمرکز داشته باشند (Elkington, 1997).

پایداری اجتماعی شامل ایجاد شرایطی است که از عدالت اجتماعی، تنوع فرهنگی و توسعه جامعه حمایت نماید. این مفهوم تضمین دسترسی عادلانه به خدمات اساسی مانند آموزش، مراقبت های صحتی و مشارکت سیاسی را در بر می گیرد که همگی به ایجاد یک جامعه پایدار، باثبات و تاب آوری کمک می کنند. محققین تأکید نموده اند که توسعه پایدار باید بر کاهش فقر و ارتقای کیفیت زندگی تمرکز داشته باشد تا از این طریق جوامع مقاوم و پایدار شکل گیرند (Kates and Leiserowitz, 2005).

۲.۱. زراعت پایدار

توسعه زراعت پایدار مفهومی چند بعدی است که ابعاد اقتصادی، محیط زیست و اجتماعی زراعت را در بر می گیرد. با ادامه رشد جمعیت جهانی که پیش بینی می شود تا سال ۲۱۰۰ به حدود ۱۰.۹ میلیارد نفر برسد، تقاضا برای غذا، آب و منابع طبیعی به طور چشمگیر افزایش خواهد یافت. برای پاسخ به این نیازها بدون به خطر انداختن رفاه نسل های آینده، بخش زراعت باید روش هایی پایدار را به کار گیرد که با تعادل درازمدت محیط زیست، عدالت اجتماعی و پایداری اقتصادی همسو باشد (Kalinowska et al., 2022).

از نظر اقتصادی، زراعت پایدار اطمینان حاصل می نماید که مزارع سودآور باقی بمانند و در برابر نوسانات بازار و شوک های ناشی از تغییرات اقلیمی مقاوم باشند. این نوع زراعت فعالیت های ارزش افزوده ای مانند گردشگری زراعتی، فروش مستقیم به مصرف کننده و تنوع بخشی در مزرعه را ترویج می کند. برای مثال، در کشور پولند، پایداری اقتصادی در بخش زراعت طی سال های ۲۰۰۰-۲۰۱۰ تحت تأثیر سازوکارهای حمایتی اتحادیه اروپا و یارانه های ملی قرار داشت که به تثبیت عواید روستایی و تقویت سرمایه گذاری در زیربنای زراعتی کمک نمود (Czyżewski & Brelik, 2013).

پایداری اجتماعی بر تضمین عدالت، سلامت و توسعه جوامع محلی تمرکز دارد. زراعت پایدار با افزایش امنیت غذایی، بهبود سلامت عامه از طریق کاهش استفاده از آفت کش ها، و حمایت از برابری جنسیتی از طریق حقوق مالکیت زمین و آموزش فراگیر، نقش مؤثری ایفا می کند. در بسیاری از مناطق، مانند اتحادیه اروپا و سریلانکا، زراعت پایدار با اهداف کاهش فقر، تضمین و ریشه کن ساختن گرسنگی افزایش و ارتقای

سلامت و رفاه از طریق ترویج روش‌های زراعت مشارکتی و مبتنی بر جوامع محلی، نتایج مثبت و قابل ملاحظه‌ای داشته است (Atapattu et al., 2024).

از نقطه نظر زیست محیطی، زراعت پایدار برای حفظ اکوسیستم‌های طبیعی اهمیت حیاتی دارد. روش‌هایی مانند تناوب کشت، شخم حفاظتی، کوددهی عضوی و مدیریت تلفیقی آفات به کاهش اثرات منفی محیط زیستی زراعت کمک می‌کنند. در اتحادیه اروپا، شاخص‌های کلیدی مانند انتشار آمونیم، مصرف آفت‌کش‌ها و کودهای کیمیایی برای نظارت پایداری محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند. یافته‌ها نشان می‌دهند که در حالیکه کشورهایمانند هالند و آلمان پیشرفت قابل توجهی داشته است، برخی دیگر مناطق به دلیل تداوم استفاده از روش‌های سنتی و فشرده زراعتی، همچنان عقب مانده‌اند (Kalinowska et al., 2022).

رویکردهای اگرواکولوژیک که بر تنوع حیات، سلامتی خاک و استفاده مؤثر از منابع آبی تأکید دارند، به عنوان اجزای اساسی پایداری زراعت مطرح شده‌اند. این روش‌ها استفاده درازمدت از منابع طبیعی را بدون تخلیه و تخریب آنها ترویج می‌نمایند. علاوه بر این، تکنالوژی‌هایی مانند زراعت دقیق و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی در کاهش کاربن از بخش زراعت ایفا می‌کنند (Atapattu et al., 2024).

در این میان، چالش‌هایی نیز همچنان باقی مانده است. برای نمونه، در پولند، اندازه کوچک متوسط مزارع و سهم بلند اشتغال روستایی نشان‌دهنده برخی ناکارآمدی‌ها است که رقابت‌پذیری بخش زراعت را کاهش می‌دهند (Czyżewski & Brelik, 2013). در سراسر اتحادیه اروپا نیز، ناسازگاری در تطبیق سیاست‌ها، نابرابری در تخصیص یارانه‌ها، و نیاز به ابزارهای دقیق‌تر برای سنجش پایداری، تلاش‌ها برای پیشبرد یکنواخت توسعه پایدار را با پیچیدگی‌هایی جدی مواجه ساخته‌اند (Kalinowska et al., 2022).

۳.۱. توسعه پایدار

توسعه پایدار به معنی نگهداری و مدیریت معقول منابع طبیعی و استفاده از تکنالوژی به منظور تأمین دوام، بسیج و آمادگی لازم برای پاسخ گویی به نیازهای پیشرفت نسل کنونی و آینده است بدون آن که به ظرفیت‌ها و توانمندی‌های موجود برای نسل حاضر و نسل‌های آینده به مخاطره انداخته شود. توسعه پایدار به نوعی از توسعه اطلاق می‌گردد که "نیازهای نسل کنونی را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهای خود" بر آورده می‌سازد (World Commission on Environment and Development, 1987). این مفهوم دارای معنی وسیع و پیچیده‌ای را ارایه می‌کند و به روندی از توسعه اشاره دارد که در ضمن پاسخ گویی به ضرورت‌های فعلی، دارایی‌ها و ظرفیت‌های نسل‌های آینده را حفظ می‌نماید. در این چارچوب، نظام‌های اقتصادی و اجتماعی به گونه‌ای نزدیک با محیط زیست پیوند داده می‌شود (Jianhua, 2000). توسعه پایدار یک الگوی توسعه‌ای است که هدف اساسی آن تأمین نیازهای کنونی انسان‌ها بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده برای برآوردن نیازهای خودشان می‌باشد. این مفهوم برای نخستین بار به طور روشن در گزارش براتلند که در سال ۱۹۸۷ توسط کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED) منتشر گردید، تعریف شد: توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای نسل حاضر را برآورده می‌سازد بدون آن که توانایی نسل‌های آینده برای تأمین نیازهایشان به خطر اندازد (WCED, 1978).

در ویژگی‌های توسعه پایدار زراعت، نیاز به تحلیل چهار اصل اساسی پایداری وجود دارد. این اصول با شرایط رفاه نسل‌های آینده مرتبط هستند.

۱. قانون پایداری ضعیف (مربوط به اقتصاد نئوکلاسیک): بر اساس این دیدگاه، تخریب سرمایه طبیعی می‌تواند از طریق ایجاد سرمایه انسان ساخت جبران (جایگزین) گردد. جایگزینی محدودیتی ندارد به شرطی که ارزش کلی سرمایه حفظ شود، بدون توجه به ساختار آن: به سرمایه طبیعی و انسان ساخت. طبق نظر ترنر، پیرس و باتمن (۱۹۹۴)، این یک رویکرد بسیار تکنو-محور است که تنها درجه بسیار کمی از پایداری را تضمین می‌کند. فرض بر این است که مکانیزم‌های بازار آزاد و پیشرفت‌های تکنالوژی همراه، امکان جایگزینی منابع زیست محیطی مصرف شده را با دستاوردهای جدید فراهم می‌آورند. به گفته نویسنده، اجرای این قانون ممکن است به تخلیه سرمایه طبیعی بحرانی منجر شود (Hardaker, 1997).

۲. قانون قوی پایداری (متعلق به اقتصاد محیط زیست) تأکید دارد که سرمایه طبیعی و انسان ساخت غیرقابل جایگزینی هستند و باید ارزش، ساختار و کیفیت کل سرمایه حفظ شود. اگرچه برخی اجزای سرمایه طبیعی می‌توانند تخریب شوند، اما باید آنچه برداشته‌ایم بازسازی شود. جبران ارزش‌های طبیعی در یک منطقه نیاز به حفظ تمامی انواع سرمایه‌ها از نظر کمیت و کیفیت دارد. این رویکرد محیط زیست درجه بالایی از پایداری را تضمین می‌کند و بر اقتصاد کنترل شده با رشد اقتصادی و جمعیتی محدود است.

۳. قانون حساس پایداری، که به اقتصاد کینزی و اقتصاد محیط زیست مربوط می‌شود، جایگزینی انواع سرمایه را با محدودیت‌هایی از طریق سیاست‌ها و راه‌حل‌های نهادی و سیاسی مجاز می‌داند. این رویکرد هدفش حفظ نسبت ایمن سرمایه‌ها برای نسل‌های آینده

است و بر حفظ ساختار سرمایه، به ویژه در رابطه با سرمایه طبیعی، تأکید دارد. همچنین، حفظ سرمایه طبیعی بحرانی شرط ضروری است. این رویکرد بر پایه انگیزه‌های اقتصادی استوار است و به کاهش مشکلات محیط‌زیست از طریق تنظیم مکانیزم‌های بازار می‌پردازد.

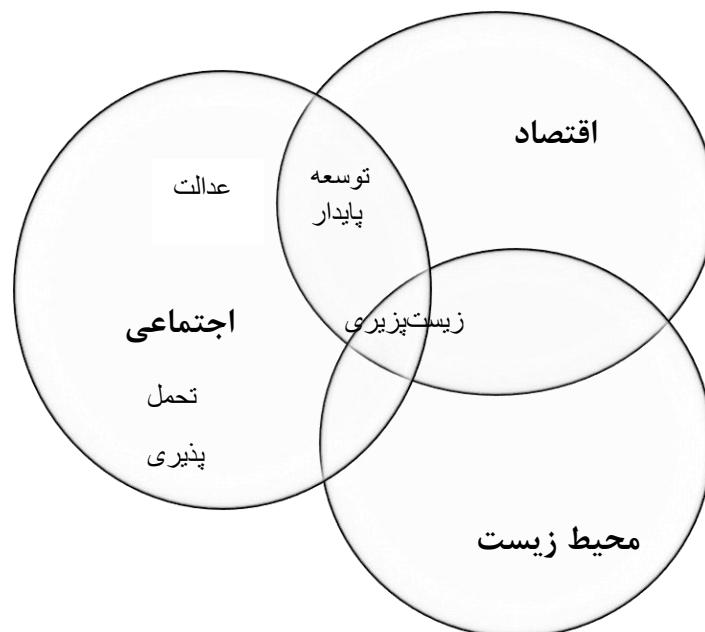
۴. قانون محدودکننده پایداری (متعلق به جنبش محیط‌زیست ای بسیار سختگیرانه) - تمام عناصر سرمایه طبیعی باید حفظ شوند (هم از نظر کمیت و هم کیفیت) و نمی‌توان آن‌ها را کاهش داد یا تخریب کرد. ما نمی‌توانیم از عناصر غیرقابل تجدید منابع طبیعی استفاده کنیم و می‌توانیم از منابع تجدیدپذیر تنها در صورتی استفاده کنیم که بتوانند همزمان با استفاده، تجدید شوند. این قانون با رویکردی کاملاً محیط زیست مرتبط است. سطح پایداری بسیار بالا است، اما نیازمند کاهش فعالیت‌های اقتصادی و جمعیت می‌باشد (Kociszewski, 2018).

۲. شاخص‌ها و معیارهای سنجش پایداری در زراعت

به طور کلی، شاخص‌های مورد استفاده در بررسی توسعه پایدار زراعت را می‌توان به دو دسته شاخص‌های کلان و شاخص‌های خرد تقسیم کرد. شاخص‌های کلان نمایانگر جنبه‌هایی از پایداری هستند که در سطح بین‌المللی و جهانی ارزیابی می‌شوند، در حالی که شاخص‌های خرد با استفاده از داده‌های اولیه به سنجش پایداری در مقیاس‌های کوچک‌تر، مانند مزرعه و میدان، می‌پردازند. نتایجی که از مجموعه شاخص‌های خرد و میدانی به دست می‌آید، حائز اهمیت است. می‌توان شاخص‌های توسعه را به سه بخشی (محیطی، اقتصادی و اجتماعی) دسته‌بندی کرد (شکل ۲) (Ulčák and pall, 2003).

۱.۲. شاخص‌های محیط‌زیستی

زراعت پایدار دارای سه بعد اصلی می‌باشد: محیط‌زیست، اقتصاد و اجتماعی است (شکل ۱) زراعت با ایجاد تعادل میان این سه بعد می‌تواند به پایداری برسد (Trego et al., 2021). زراعت پایدار بالای کاهش تأثیرات منفی از بیرون بر محیط زیست و سلامت، تقویت و بهره‌برداری از منابع طبیعی اکوسیستم، و حفظ تنوع حیات توجه دارد. پایداری محیط زیست در فعالیت‌های زراعتی شامل عواملی مانند توپوگرافی (پستی و بلندی زمین)، شیب زمین، و کیفیت خاک می‌باشد. استفاده زراعت و درآمد از ساحه زراعت، با حفظ شاخص‌های محیط‌زیست، به عنوان شاخص‌های اقتصادی زراعت پایدار در نظر گرفته می‌شوند. از دیدگاه پایداری، مشارکت زراعت، میزان رضایت آن‌ها، و دانش استفاده، نیز اغلب با زراعت پایدار مرتبط هستند (Raj et al., 2021). زراعت پایدار، سیستمی است که در آن تولید غذا و سایر محصولات زراعتی بدون تخریب منابع طبیعی و محیط‌زیست انجام می‌گیرد. بُعد محیط‌زیستی یکی از اساسی‌ترین ارکان این مفهوم به‌شمار می‌آید. این بُعد شامل حفاظت از منابع خاک، آب، هوا، تنوع حیاتی، و تعادل اکولوژیکی است.



شکل ۱: شاخص‌های زراعت پایدار.

به عبارت دیگر، هدف زراعت پایدار در بعد محیط زیست، کاهش اثرات منفی ناشی از فعالیت‌های زراعت و افزایش اثرات مثبت آن بر اکوسیستم‌های طبیعی است (Kociszewski, 2018). یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در زراعت مدرن، استفاده بیش‌ازحد از کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات است که منجر به آلودگی خاک و آب، کاهش تنوع زیستی و افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در مقابل، زراعت پایدار با اتخاذ روش‌هایی مانند زراعت ارگانیک، کشت چرخه‌ای، مدیریت تلفیقی آفات و حفظ پوشش گیاهی خاک، به حفظ کیفیت منابع طبیعی کمک می‌کند (Bathaei and Štreimikienė, 2023). به علاوه، حفاظت از تنوع زیستی یکی از عناصر کلیدی پایداری محیطی در زراعت است. زراعت پایدار با حمایت از گونه‌های بومی، ایجاد زیستگاه‌های طبیعی در مزارع، و پرهیز از یکنواختی زراعی، به ارتقاء تنوع موجودات زنده کمک می‌کند (Häni, Häni, and Herren, 2007). زراعت پایدار با استفاده از روش‌هایی مانند زراعت حفاظتی، آبیاری قطره‌ای، و تناوب زراعی از فرسایش خاک، کاهش منابع آبی و تخریب زمین جلوگیری می‌کند. مدیریت بهتر منابع طبیعی تضمین می‌کند که نسل‌های آینده نیز بتوانند از این منابع بهره‌مند شوند. زراعت پایدار تنوع زیستی را از طریق روش‌هایی مانند چنندکشت، حفظ اکوسیستم‌های طبیعی و استفاده از گونه‌های مقاوم تقویت می‌کند. کاهش ضایعات غذایی و استفاده مجدد از پسماندهای زراعت (مانند کود کمپوست) از اولویت‌های زراعت پایدار است (Strielkowski and wevskrabova, 2014). زراعت صنعتی یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در مقابل، زراعت پایدار با استفاده از روش‌های مناسب بر هدف کاهش کاربن مانند زراعت ارگانیک و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی (Sultan and Qassem, 2021; Abd, 2022).

۲.۲. شاخص‌های اقتصادی

بعد اقتصادی زراعت پایدار یکی از مهم‌ترین ابعاد در تحلیل پایداری نظام‌های زراعت به شمار می‌رود. این بُعد بر استمرار درآمد، بهره‌وری عوامل تولید، و توان رقابت‌پذیری سیستم‌های زراعی تأکید دارد. زراعت زمانی پایدار تلقی می‌شود که در بلندمدت بتواند درآمد مناسبی برای کشاورزان ایجاد کرده، هزینه‌های تولید را مدیریت‌پذیر نگه داشته و در برابر تغییرات اقتصادی مقاوم باشد (Bathaei & Štreimikienė, 2023). بر اساس مطالعات انجام‌شده، شاخص‌های اقتصادی پایداری شامل سودآوری، نقدینگی، پایداری مالی، بهره‌وری عوامل تولید، و توانایی حفظ مزرعه در طول نسل‌ها هستند. به نقل از (Štreimikienė, and Bathaei 2003) سودآوری از طریق مقایسه درآمد و هزینه‌ها، و استفاده با نسبت تولید به نهاده‌ها اندازه‌گیری می‌شود. در شرایطی که نوسانات قیمتی، تغییرات سیاست‌های یارانه‌ای و ناپایداری بازار وجود دارد، زراعت پایدار باید توان انطباق‌پذیری بالایی داشته باشد. از سوی دیگر، بعد اقتصادی با ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی در ارتباط تنگاتنگ قرار دارد. فشار اقتصادی بر دهقانان ممکن است آنان را به سمت روش‌های ناپایدار از نظر زیست‌محیطی سوق دهد. از این رو، برنامه‌های سیاست‌گذاری باید به گونه‌ای طراحی شوند که انگیزه اقتصادی برای روش‌های پایدار فراهم آورند (Kociszewski, 2018). در چارچوب سیاست‌های زراعت اتحادیه اروپا، حمایت‌های مالی بر اساس رعایت استانداردهای زیست‌محیطی و اجتماعی اعطا می‌شود تا زراعت به سوی پایداری سوق داده شود. به کشاورزان کمک می‌کنند تا شاخص‌های اقتصادی خود را در کنار سایر ابعاد ارزیابی کرده و نقاط قوت و ضعف سیستم تولیدی خود را شناسایی کنند. چنین ابزارهایی می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی مزرعه و بهبود کارایی نقش کلیدی ایفا کنند (Häni et al., 2003). معمولاً با استفاده از شاخص بهره‌وری جزئی، یعنی نسبت تولید به یک نهاده خاص، اندازه‌گیری می‌شود. با این حال، می‌توان از معیارهایی مانند بهره‌وری کل عوامل تولید و کارایی فنی نیز استفاده کرد که امکان جایگزینی اطلاعات یا خروجی را در نظر می‌گیرند. شاخص‌های سودآوری و بهره‌وری عمدتاً شاخص‌هایی کمی هستند که به صورت پولی یا نسبت‌هایی بیان می‌شوند و مقیاس‌های مرجع فقط در موارد محدودی به کار می‌روند (Bhatti and Ahmed, 2020). زراعت باید رفاه را برای جامعه زراعتی به ارمغان آورد. پایداری اقتصادی، یا توانایی یک نظام زراعت برای دوام آوردن در بلندمدت در یک محیط اقتصادی متغیر، در این زمینه معادل با بقای اقتصادی تلقی می‌شود. تغییرپذیری در قیمت‌های تولید و نهاده‌ها، میزان محصول، بازارهای فروش و همچنین حمایت و مقررات دولتی می‌توانند موجب تغییرات در محیط اقتصادی شوند. بلندمدت بودن می‌تواند به معنای طول دوره فعالیت یک دهقان یا حتی نسل‌های متوالی باشد. دومی به دوام‌پذیری یا توانایی انتقال مزرعه به وارث مرتبط است. شاخص‌های اصلی پایداری اقتصادی عبارت‌اند از: سودآوری، نقدینگی، ثبات مالی و بهره‌وری. سودآوری از طریق مقایسه درآمد و هزینه‌ها به صورت تفاوت یا بر اساس شاخص‌هایی مانند درآمد مزرعه اندازه‌گیری می‌شود. توانایی پرداخت بدهی‌های فوری و کوتاه‌مدت به عنوان نقدینگی شناخته می‌شود و سهم سرمایه‌ی خالص و رشد آن معمولاً برای سنجش ثبات مالی به کار می‌روند. جنبه اقتصادی شامل عواملی مانند میزان کل تولید مزرعه، سطح زیرکشت، تولید به ازای واحد سطح، افزایش پس‌انداز یا درآمد خانواده، نمونه مصرف خانوارها، کاهش وابستگی دهقانان به کمک‌های دولتی، ترکیب اشتغال درون مزرعه‌ای و برون مزرعه‌ای و هزینه نهاده‌ها می‌باشد (Johnston and Meyer, 2008; Mahadevan, 2003 and Van et al. 2007). زراعت پایدار تضمین می‌کند که جمعیت جهانی به مواد غذایی سالم، مغذی و کافی دسترسی داشته باشد. این موضوع به کاهش گرسنگی و سوء تغذیه کمک می‌کند. افزایش

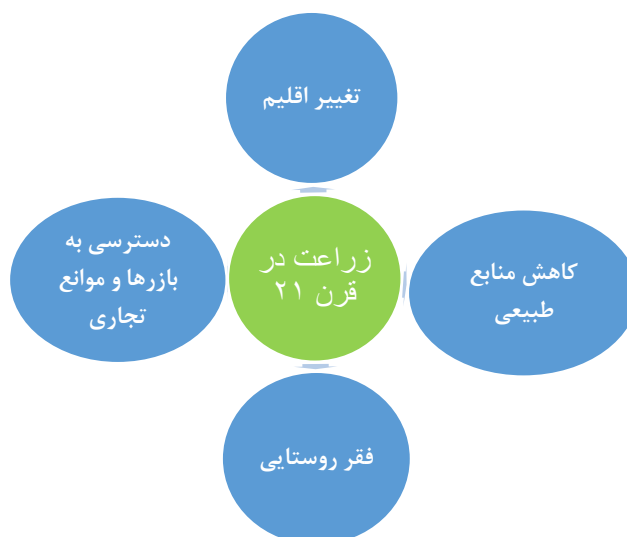
بازدهی زراعت به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌تواند عرضه مواد غذایی را بهبود بخشیده و قیمت‌ها را کنترل کند (Pearce et al., 2013; Choudhury, 2019). زراعت منبع اصلی اشتغال برای میلیاردها نفر است، به‌ویژه در مناطق روستایی. افزایش تولیدات زراعت، رونق صنایع وابسته (مانند فرآوری محصولات زراعت و صادرات) را به همراه دارد و باعث رشد اقتصادی در مقیاس ملی و محلی می‌شود (Pearce et al., 2013).

۳.۲. شاخص‌های اجتماعی

جنبه‌های اجتماعی توسعه پایدار زراعت شامل عواملی مانند سطح تحصیلات دهقان، میزان مهارت‌های مدیریتی او، سطح مشارکت در تصمیم‌گیری‌های محلی، نرخ مهاجرت و مهاجرپذیری، نرخ مرگ‌ومیر، توانایی برنامه‌ریزی مزرعه، سن و کیفیت زندگی دهقانان، و همچنین وضعیت بهداشت و تغذیه اعضای خانواده آنان می‌شود (FAO, 2005). با افزایش تولیدات زراعت، سطح درآمد روستاییان بهبود می‌یابد و فقر کاهش پیدا می‌کند. توانمندسازی دهقانان کوچک از طریق دسترسی به تکنالوژی‌های مدرن و بازارها می‌تواند نابرابری را کاهش دهد (Raman, 2024; FAO, 2015). بُعد اجتماعی پایداری اکنون در سطوح مختلف، در بخش‌های گوناگون و با استفاده از چارچوب‌های مفهومی متنوع مورد مطالعه قرار می‌گیرد. از جمله موضوعات مورد بررسی می‌توان به مطالعات توسعه و مطالعات سیاسی اشاره کرد. در مطالعات مرتبط با غذا، چندین پژوهشگر به رویکردهای مشارکتی می‌پردازند. مردم نقش مهمی در پایداری اجتماعی ایفا می‌کنند و می‌توان دو گروه اصلی را در این زمینه شناسایی کرد نخستین شاخص پایداری که بر جامعه زراعت تأثیر می‌گذارد، شاخص اجتماعی است. این شاخص با خوشبختی و رضایت دهقانان و خانواده‌های آنان ارتباط دارد. این شاخص‌ها توسط (Lebacqz et al., 2013): به سه دسته تقسیم می‌شود: اول آموزش، زراعت پایدار نیازمند آموزش دهقانان در زمینه مدیریت منابع، استفاده از تکنالوژی‌های نوین و حفظ محیط‌زیست است. افزایش آگاهی عمومی در مورد تأثیرات مثبت زراعت پایدار به بهبود رفتار مصرف‌کنندگان و جامعه کمک می‌کند. دوم: شرایط کاری (که با استفاده از ساعات کاری، میزان کار از جمله درد ناشی از آ، و نیروی کار سنجیده می‌شود). سوم: کیفیت زندگی (که از طریق میزان انزوای و مشارکت اجتماعی اندازه‌گیری می‌شود). (Van Cauwenbergh et al., 2007) کیفیت زندگی را به دو بخش رفاه جسمی و روانی تقسیم کردند. پایداری اجتماعی در سطح جامعه همچنین شامل ارزش‌ها، میراث فرهنگی، چندکارکردی بودن و ایمنی غذایی می‌شود. این بُعد بازتاب‌دهنده خواسته‌ها و نگرانی‌های جامعه است. با وجود شکاف‌های تاریخی بین علوم اجتماعی و علوم طبیعی، ادغام علوم اجتماعی در بحث‌های مربوط به پایداری طی دو دهه گذشته بهبود یافته است (Van et al., 2007). با کاهش مهاجرت از روستاها به شهرها، زندگی در مناطق روستایی پایدارتر و متوازن‌تر می‌شود. زراعت پایدار امکانات بهداشتی، آموزشی و زیرساختی را در جوامع روستایی تقویت می‌کند (Johnston and Mellor, 1961). در بُعد اجتماعی زراعت پایدار، بر رفاه، حقوق و مشارکت مردم در نظام‌های زراعتی تمرکز دارد. از دهه ۱۹۶۰، نگرانی‌های زیست‌محیطی فزاینده منجر به شکل‌گیری مفهوم پایداری شده است. تعریف پذیرفته‌شده از توسعه پایدار این است: «توسعه‌ای که نیازهای حال حاضر را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهایشان برآورده می‌سازد». این بُعد از پایداری اکنون در بخش‌های مختلف و با استفاده از چارچوب‌های مفهومی متنوعی مانند مطالعات توسعه، مطالعات سیاسی و توسعه پروژه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در پژوهش‌های مرتبط با غذا، محققین بر رویکردهای مشارکتی و یادگیری اجتماعی در میان دهقانان، جوامع روستایی و مصرف‌کنندگان تأکید دارند (Bathaei and streimikiene, 2023).

۳. چالش‌های کلیدی زراعت

در قرن بیست و یکم، بخش زراعت و اقتصاد با چالش‌های کلیدی متعددی روبرو است که مانع توسعه پایدار آن می‌شود. بیشتر این چالش‌ها در اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد منعکس شده‌اند (Stephens et al., 2020; Birner and Pray, 2021). توسعه زراعت پایدار با چالش‌های جهانی متعددی روبرو است که امنیت غذایی، یک‌پارچگی اکوسیستم و ثبات اجتماعی اقتصادی را تهدید می‌کند.



شکل ۲. چالش‌های کلیدی سکتور زراعت.

۱.۳. فشاری بر منابع طبیعی

یکی از چالش‌های مهم در این زمینه، تغییرات اقلیمی است که الگوهای آب و هوایی را مختل می‌کند، موجب کاهش حاصل محصولات زراعتی می‌شود و باعث رویدادهای شدید مانند خشکسالی و سیلاب را افزایش می‌شود (Korneeva et al., 2023). چالش عمده دیگر، کاهش منابع طبیعی است. استفاده بیش از حد از آب برای آبیاری منجر به کمبود آب در بسیاری از مناطق شده است که تهدیدی برای فعالیتهای زراعت به شمار می‌رود و ممکن است منجر به مهاجرت‌های گسترده شود (Stojanov and Drbohlav, 2011). علاوه بر این، استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها باعث کاهش کیفیت خاک در طول زمان شده است و موجب از بین رفتن مواد مغذی خاک می‌شود. شیوه‌های زراعت پایدار که آب را حفظ کرده و از سلامت خاک محافظت می‌کنند، برای پایداری بلند مدت زراعت ضروری هستند (Cárceles et al., 2022). شیوه‌های زراعت فشرده منجر به فرسایش خاک، کمبود منابع آبی و کاهش تنوع زیستی شده‌اند. اتکال بیش از حد به تجمع شیمیایی نیز باعث آلودگی محیط‌زیست و کاهش حاصل‌خیزی خاک شده است. همان‌گونه که تیان و همکاران اشاره کرده‌اند، استفاده گسترده از کودها و سموم شیمیایی که در ابتدا بهره‌وری را در دوران انقلاب سبز افزایش داد، در نهایت منجر به هزینه‌های محیط‌زیست قابل‌توجهی مانند پدیده تغذیه‌گرایی و تخریب زیستگاه‌ها شده است. یکی از جنبه‌های کلیدی مدیریت پایدار منابع، حفاظت از خاک است که پیش‌تر به آن اشاره شد. فرسایش و تخریب خاک تهدیدات قابل‌توجهی برای بهره‌وری زراعت محسوب می‌شوند. اجرای اقداماتی مانند شخم زدن خطی ایجاد ترانس‌بندی و زراعت جنگل‌پایه می‌تواند به جلوگیری از فرسایش، حفظ حاصل‌خیزی خاک و افزایش ظرفیت نفوذ آب کمک کند. علاوه بر این، استفاده از رویکردهای زراعت اکولوژیک که تنوع کشت را ترویج داده و وابستگی به ورودی‌های شیمیایی را کاهش می‌دهد، می‌تواند یک سیستم زراعت مقاوم‌تر ایجاد کند. در نهایت، مصرف انرژی در زراعت باید به‌صورت پایدار مدیریت شود، از طریق گذار به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی یا بادی برای سیستم‌های آبیاری یا بهره‌برداری از ماشین‌آلات زراعت (Zhang et al., 2016).

۲.۳. تغییرات اقلیمی

یکی از چالش‌های اصلی قطعاً تغییرات اقلیمی فراگیر است. افزایش دما، نمونه‌های آب و هوایی غیرقابل پیش‌بینی و رویدادهای شدید مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها به طور قابل‌توجهی بر عملکرد محصولات زراعت و بهره‌وری دام‌ها تأثیر می‌گذارد. دهقانان مجبورند برای سازگاری با این تغییرات، تکنیک‌های جدیدی را به کار ببرند و در زیرساخت‌های مقاوم سرمایه‌گذاری کنند (Kuhl, 2020; Azadi et al., 2021). بخش زراعت پایدار با چالش‌های مکانی قابل‌توجهی مواجه است که عمدتاً ناشی از تأثیرات تغییرات اقلیمی و تخریب اکوسیستم‌ها می‌باشد. تغییرات اقلیمی بهره‌وری زراعت را به‌طور نامتوازن در مناطق مختلف تحت تأثیر قرار داده، الگوهای بارش را تغییر می‌دهد، فراوانی رویدادهای آب و هوایی شدید را افزایش می‌دهد و فصل‌های رشد را جابه‌جا می‌کند. همزمان، روش‌های ناپایدار منجر به کاهش کیفیت خاک، از دست دادن تنوع زیستی و اختلال در خدمات طبیعی اکوسیستم شده‌اند که برای تولید محصولات زراعت حیاتی هستند. مقابله با این چالش‌های مکانی نیازمند راهبردهای منطقه‌ای است که تدابیر سازگاری با تغییرات اقلیمی را با حفظ اکوسیستم‌ها ادغام کرده و به پایداری و تاب‌آوری بلندمدت زراعت کمک کند (Smith et al., 2020; Johnson & Lee, 2019).

۳.۳. ضعف زیر ساخته‌ها و پالیسی‌های ناسازگار

مقابله با این چالش‌ها نیازمند رویکردهای یکپارچه‌ای است که شامل اصلاح سیاست‌ها، توانمندسازی و سرمایه‌گذاری در تکنالوژی‌های پایدار باشد. سیاست‌های دولتی که آموزش، تجارت منصفانه و حفاظت از محیط‌زیست را ترویج می‌دهند، برای دستیابی به آینده‌ای عادلانه و تاب‌آور در بخش زراعت، ضروری هستند (Kociszewski, 2020). زیرساخت‌های ضعیف و سیاست‌گذاری‌های ناسازگار، موانع قابل توجهی بر سر راه پیشرفت زراعت پایدار به‌ویژه در مناطق در حال توسعه ایجاد می‌کنند. شبکه‌های حمل‌ونقل ناکارآمد، سیستم‌های آبیاری ضعیف و دسترسی محدود به امکانات ذخیره‌سازی، توانایی کشاورزان را برای تولید، نگهداری و بازاریابی مؤثر محصولاتشان مختل می‌کند (Korneeva et al., 2023). این محدودیت‌ها باعث افزایش تلفات پس از برداشت و کاهش سودآوری می‌شوند و در نتیجه، انگیزه سرمایه‌گذاری در روش‌های زراعت پایدار را کاهش می‌دهند. علاوه بر این، سیاست‌های ناسازگار، تغییرات ناگهانی در یارانه‌ها، مقررات متناقض در خصوص استفاده از زمین، و نبود برنامه‌ریزی بلندمدت موجب ایجاد بی‌علاقه برای دهقانان و سرمایه‌گذاران می‌شوند (Kociszewski, 2020). بدون وجود محیط‌های سیاست‌گذاری پایدار و حمایت‌کننده، دهقانان اغلب نمی‌توانند به اجرای روش‌هایی که هزینه‌های اولیه دارند و بازده آنها به تدریج حاصل می‌شود، متعهد شوند. تلاش‌های هماهنگ برای تقویت زیرساخت‌های روستایی و تضمین چارچوب‌های سیاستی منسجم و بلندمدت که از آموزش، دسترسی عادلانه به بازار و حفاظت از محیط‌زیست حمایت کنند، ضروری است. پرداختن به این کمبودها برای ایجاد سیستمی زراعت مقاوم و فراگیر که با اهداف توسعه پایدار همسو باشد، حیاتی است (Yin et al., 2022).

۴.۳. موانع اجتماعی و فرهنگی در پذیرش تغییرات

در نهایت، فقر روستایی یک چالش مهم است که بخش زراعت با آن مواجه است. بسیاری از کشاورزان به دلیل درآمد کم از محصولات خود یا عدم دسترسی به اعتبارات و خدمات مالی، زیر خط فقر زندگی می‌کنند که این مسئله ممکن است باعث آغاز حرکت‌های مهاجرتی شود. برای مقابله با این چالش، نیاز به اجرای سیاست‌هایی است که رشد فراگیر را ترویج داده و سیستم‌های حمایتی برای دهقانان کوچک‌مقیاس فراهم کنند (Yin et al., 2022; Strielkowski and Weyskrabova, 2014). علاوه بر این، چالش‌های اجتماعی-اقتصادی مانند فقر روستایی، دسترسی محدود به بازار و زیرساخت‌های ناکافی، مانعی در مسیر گذار به دهقان پایدار محسوب می‌شوند. دهقانان کوچک که ستون فقرات تولیدات دهقان در بسیاری از کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهند، اغلب از منابع مالی و فنی لازم برای به‌کارگیری روش‌های پایدار برخوردار نیستند (Korneeva et al., 2023). پیشرفت‌های تکنالوژی، هم فرصت‌ها و هم چالش‌هایی را به همراه دارند. در حالی که نوآوری‌هایی مانند زراعت دقیق و به‌نژادی ژنتیکی نوید افزایش بهره‌وری و کارایی منابع را می‌دهند، اما اجرای آن‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجه و زیرساخت‌های مناسب است که معمولاً برای جوامع حاشیه‌نشین و محروم در دسترس نیستند.

۴. فرصت‌ها و ظرفیت‌ها زراعت پایدار

زراعت پایدار فرصت‌های چشمگیری برای تضمین امنیت غذایی بلندمدت در عین حفظ تعادل زیست‌محیطی فراهم می‌آورد. ظرفیت‌های کلیدی در این زمینه شامل حفاظت از خاک، مدیریت منابع آب، تناوب زراعی و بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر هستند. تکنالوژی‌های نوینی مانند زراعت دقیق، زیست‌تکنالوژی و روش‌های هوشمند سازگار با تغییرات اقلیمی موجب افزایش بهره‌وری زراعت با کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی می‌شوند. افزون بر این، توانمندسازی جوامع محلی از طریق آموزش و سیاست‌های حمایتی، برای پذیرش و اجرای روش‌های پایدار بسیار ضروری است. انگیزه‌های دولتی و همکاری‌های بین‌المللی نیز نقش مهمی در ترویج پایداری در زراعت ایفا می‌کنند. قابل ذکر است که سرمایه‌گذاری در تحقیق و نوآوری برای گسترش این تلاش‌ها در سطح جهانی، اهمیتی حیاتی دارد.

۱.۴. استفاده از تکنالوژی نوین

زراعت پایدار به‌طور معنی‌دار متکی به استفاده از تکنالوژی‌های نوین است، تا سطح تولید را افزایش داده و منابع طبیعی را حفظ کند. تکنالوژی‌هایی مانند زراعت دقیق، سنجش از راه دور، نقشه‌برداری با GPS و سیستم‌های آبیاری خودکار به زراعت این امکان را می‌دهند که نهاده‌ها را به‌صورت مؤثر به کار گیرند و در نتیجه، اتلاف منابع و تأثیرات محیط‌زیستی را کاهش دهند. علاوه بر این، تکنالوژی محیطی در توسعه محصولات مقاوم به تغییرات اقلیمی و آفات نقش دارد و به امنیت غذایی کمک می‌کند. این نوآوری‌ها همچنین فرصت‌هایی برای جمع‌آوری بهتر داده‌ها و تصمیم‌گیری هوشمندانه‌تر مساعد می‌کنند و به دهقانان کمک می‌کنند تا با شرایط اقلیمی در حال تغییر سازگار شوند.

برنامه‌های موبایلی و پلتفرم‌های دیجیتال اطلاعات لحظه‌ای درباره‌ی وضعیت آب‌وهوا، سلامت خاک و بازارها را فراهم می‌کنند که باعث بهبود مدیریت مزارع می‌شود. به گفته سازمان زراعت و غذای ملل متحد (FAO, 2023)، ادغام راه حل‌های تکنولوژی در سیستم‌های زراعت برای دستیابی به سامانه‌های غذایی پایدار، تاب‌آور، کارآمد و فراگیر ضروری است. گسترش دسترسی به این تکنولوژی به‌ویژه برای دهقانان که در مزارع کوچک کار می‌کنند، می‌تواند ظرفیت‌های توسعه زراعت پایدار در سراسر جهان را به‌طور چشم‌گیری افزایش دهد (Korneeva et al., 2023).

۲.۴. توسعه بازارهای محصولات سبز و ارگانیک

زراعت پایدار فرصت‌های ارزشمندی برای گسترش بازار محصولات سبز و ارگانیک فراهم می‌کند. با افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان نسبت به مسائل بهداشتی و محیط‌زیست، تقاضا برای غذاهای تولیدشده به‌صورت پایدار نیز در حال افزایش است. روش‌های زراعت پایدار مانند کاهش مصرف مواد شیمیایی، مدیریت ارگانیک خاک و حفاظت از تنوع زیستی با انتظارات بازار برای محصولات دوست‌دار محیط‌زیست هم‌راستا هستند. این روش‌ها نه تنها کیفیت محصولات را افزایش می‌دهند، بلکه اعتماد مصرف‌کننده و ارزش برند را نیز تقویت می‌کنند. بخش زراعت با چالش‌هایی مرتبط با دسترسی به بازار و موانع تجاری مواجه است. زراعت کوچک معمولاً به دلیل کمبود زیرساخت‌ها یا دانش محدود در مورد پویایی‌های بازار، در دسترسی به بازارها دچار مشکل می‌شوند. همچنین، محدودیت‌های تجاری که توسط برخی کشورها اعمال می‌شود، می‌تواند با محدود کردن صادرات یا تحمیل تعرفه‌های بالا، پتانسیل رشد زراعت را مختل کند (Tian et al., 2020; Žmija et al., 2020).

۳.۴. توانمندسازی جوامع محلی و نقش زنان در زراعت

توانمندسازی جوامع محلی، به‌ویژه زنان، برای دستیابی به امنیت غذایی در مناطق در حال توسعه امری ضروری است. اما بر اهمیت افزایش قدرت خرید خانوارهای روستایی و بهبود زیرساخت‌های زراعت به‌عنوان راهبردهایی برای کاهش سوءتغذیه تأکید می‌کند. این بهبودها به‌طور ذاتی از توانمندسازی گروه‌های به حاشیه رانده شده، به‌ویژه زنان روستایی که اغلب با موانع ساختاری در زمینه دسترسی به زمین، اعتبار مالی و آموزش مواجه هستند، حمایت می‌کند. سیاست‌هایی که مشارکت فراگیر، آموزش و دسترسی به منابع را ترویج می‌دهند، می‌توانند بهره‌وری تولید غذا و پایداری آن را در بلندمدت افزایش دهند (Pawlak & Kołodziejczak, 2020). توانمندسازی جوامع محلی یکی از مؤلفه‌های اساسی توسعه پایدار به‌ویژه در بخش زراعت است. مشارکت فعال زنان در فعالیت‌های زراعتی باعث بهبود امنیت غذایی، افزایش بهره‌وری و کاهش فقر می‌شود. زنان نقش کلیدی در تولید، بسته‌بندی و بازاریابی محصولات زراعتی ایفا می‌کنند، اما هم‌چنان با چالش‌هایی مانند محدودیت دسترسی به منابع، آموزش و شرکت در تصمیم‌گیری روبه‌رو هستند. توانمندسازی از طریق آموزش، دسترسی به منابع مالی، و تقویت نهادهای محلی می‌تواند مشارکت زنان را افزایش دهد و روند توسعه زراعت پایدار را در محلات سرعت بخشد (FAO, 2021).

۵.۴. حمایت‌های بین‌المللی و برنامه‌های توسعه سازمان ملل

سازمان ملل متحد از طریق اهداف توسعه پایدار، به‌ویژه اهداف اول (حذف فقر)، دوم (پایان گرسنگی) و سوم (برابری جنسیتی)، به توانمندسازی زنان و حمایت از جوامع محلی در بخش زراعت توجه ویژه دارد. نهادهایی مانند سازمان خوراک و زراعت ملل متحد، برنامه توسعه ملل متحد و نهاد زنان سازمان ملل از طریق اجرای پروژه‌های آموزشی، ارائه منابع مالی، و حمایت از حقوق مالکیت زنان، به بهبود معیشت و امنیت غذایی در مناطق روستایی کمک می‌کنند. این حمایت‌ها باعث ترویج زراعت پایدار و مقاوم در برابر تغییرات اقلیمی می‌شود و گامی اساسی در کاهش فقر و گرسنگی جهانی به شمار می‌آیند (UN Women, 2023).

۵. نقش پالیسی‌ها و نهادهای مؤثر در ترویج زراعت پایدار

سیاست‌های حمایتی و نهادهای مؤثر دولتی و غیردولتی مانند وزارت زراعت و سازمان‌های غیردولتی با آموزش، تأمین منابع مالی و توسعه زیرساخت‌ها، زراعت پایدار را ترویج می‌کنند. این اقدامات بهره‌وری را افزایش داده و حفاظت از محیط‌زیست و توانمندسازی دهقانان را ممکن می‌سازند (FAO, 2020).

۱.۵. نقش دولت‌ها، سازمان‌های دولتی و نهادهای مدنی

دولت‌ها نقش کلیدی در ایجاد محیطی دارند که از اقدامات پایدار حمایت کرده و دهقانان را پشتیبانی می‌کند، در عین حال امنیت غذایی جمعیت خود را نیز تضمین می‌کنند. یکی از جنبه‌های مهم سیاست‌های دولتی ارائه انگیزه‌های مالی و یارانه‌ها برای تشویق دهقانان به پذیرش

روش های زراعت پایدار است. این انگیزه ها می توانند شامل اعطای کمک های مالی برای اجرای تکنالوژی های دوستدار محیط زیست، ترویج روش های زراعت ارگانیک یا سرمایه گذاری در منابع انرژی تجدیدپذیر در مزارع باشند (Wang et al., 2021). نقش سیاست های دولتی در ترویج زراعت پایدار برای دستیابی به توسعه بلندمدت و مقابله با چالش های پیش روی بخش زراعت بسیار حیاتی است (Sridha et al., 2023 and Dong, 2021).

۲.۵. تجارب موفق برخی از کشورها

کشورهای مختلف با استفاده از راهکارهای متنوع، در ترویج زراعت پایدار موفق عمل کرده اند. در برزیل، استفاده از سیستم های زراعت حفاظتی و زراعت دقیق باعث افزایش بهره وری و کاهش فرسایش خاک شده است (Silva et al., 2020). در ایتالیایی، برنامه های مشارکتی برای آموزش زراعت و استفاده بهتر از منابع آب، توانسته است تاب آوری زراعت را در برابر تغییرات اقلیمی افزایش دهد (Gebremariam & Kassie, 2018). همچنین در چین، توسعه زراعت ارگانیک و تکنالوژی های نوین موجب بهبود کیفیت خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی شده است (Liu et al., 2021).

۶. نقش تکنالوژی و نوآوری در توسعه زراعت پایدار

نقش تکنالوژی و نوآوری در تضمین پایداری و بهره وری بلندمدت بخش زراعت بسیار حائز اهمیت است. تکنالوژی تحولی در تمامی جنبه های دهقانان، از تولید محصولات زراعی گرفته تا مدیریت دام ها ایجاد کرده و به ابزاری ضروری برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار تبدیل شده است. یکی از جنبه های حیاتی که تکنالوژی در آن نقش کلیدی ایفا می کند، زراعت دقیق است. تکنالوژی های پیشرفته ای مانند سنسج از دور، سامانه های اطلاعات جغرافیایی و سیستم های موقعیت یابی جهانی به دهقانان امکان می دهند که شرایط زمین های خود را به صورت دقیق پایش کرده و تخصیص منابع را بهینه کنند (Lisin et al., 2016; Zhao and wang, 2023).

۱.۶. زراعت دقیق

زراعت دقیق (Precision Agriculture) نقش بسیار مهمی در تحقق زراعت پایدار ایفا می کند. با استفاده از تکنالوژی های نوین مانند حسگرها، سیستم موقعیت یابی جهانی (GPS)، سنسج از دور و تحلیل داده ها، این رویکرد امکان مدیریت دقیق منابع را فراهم می سازد. در نتیجه، مصرف آب، کود و سموم به حداقل می رسد و بهره وری افزایش می یابد. این کاهش مصرف نهاده ها به حفظ سلامت خاک، منابع آبی و تنوع زیستی کمک می کند که از ارکان اصلی توسعه پایدار است (Zhang et al., 2016). از سوی دیگر، زراعت دقیق باعث کاهش هزینه های تولید و افزایش درآمد دهقانان می شود و زمینه اشتغال مطابق به مسلک را در بخش زراعت را فراهم می سازد. همچنین با تولید دقیق تر و کاهش ضایعات، امنیت غذایی تقویت می شود. این تکنالوژی، سازگاری زراعت با تغییرات اقلیمی را نیز افزایش می دهد، زیرا تصمیم گیری های مبتنی بر داده را امکان پذیر می سازد. در مجموع، زراعت دقیق با افزایش کارایی، حفاظت از منابع طبیعی و ارتقای معیشت دهقانان، یکی از مؤثرترین ابزارها برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در بخش زراعت است (Bwambale et al., 2022 and Srivastav et al., 2021).

۲.۶. بایوتکنالوژی، اصلاح نسل و تخم های مقاوم

بایوتکنالوژی، تخنیک های پیشرفته اصلاح نسل، و استفاده از تخم های مقاوم، نقش مهمی در زراعت پایدار ایفا می کنند؛ زیرا با افزایش مقاومت نباتی و کاهش تأثیرات محیط زیستی همراه هستند. نباتات اصلاح شده جنتیکی و سنتی که در برابر آفات، امراض و تنش های اقلیمی مقاوم هستند، نیاز به مصرف مواد شیمیایی را کاهش می دهند و در نتیجه موجب حفظ کیفیت خاک و منابع آبی می شوند. این تکنالوژی ها ضمن افزایش عملکرد محصولات، به تأمین امنیت غذایی کمک کرده و زراعت سازگار با محیط زیست را ترویج می کنند (Tester & Langridge, 2010).

۳.۶. تکنالوژی های صرفه جویانه در مصرف آب و انرژی

تکنالوژی های صرفه جویانه در مصرف آب و انرژی در زراعت مدرن نقش فزاینده ای ایفا می کنند، زیرا به مقابله با تغییرات اقلیمی، کمبود منابع و پایداری کمک می کنند. سامانه های آبیاری دقیق مانند آبیاری قطره ای و بارانی با رساندن آب به طور مستقیم به ریشه نباتات، اتلاف آب را کاهش داده و بهره وری مصرف آب را افزایش می دهند. به طور مشابه، استفاده از پمپ های خورشیدی و تجهیزات کم مصرف، وابستگی به سوخت های فسیلی را کاهش داده و باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و هزینه های عملیاتی می شود. این تکنالوژی ها نه تنها بهره وری را

افزایش می‌دهند، بلکه با اهداف زیست‌محیطی نیز همسو هستند، زیرا به حفظ منابع طبیعی کمک می‌کنند. ترکیب حسگرهای هوشمند و سامانه‌های خودکار، امکان پایش لحظه‌ای را فراهم کرده و با بهینه‌سازی مصرف منابع، عملکرد محصول را حفظ می‌نماید (FAO, 2023). تکنالوژی‌هایی که به استفاده بهتر از آب و انرژی کمک می‌کنند، از اجزای اساسی نظام‌های زراعت پایدار به شمار می‌روند. این تکنالوژی‌ها شامل سامانه‌های آبیاری دقیق (مانند روش‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی)، پمپ‌های آبی خورشیدی و ماشین‌آلات با بهره‌وری انرژی بالا هستند که همگی در کاهش اتلاف منابع و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست نقش دارند. آبیاری کارآمد نه تنها موجب صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود، بلکه عملکرد و کیفیت محصول را نیز بهبود می‌بخشد. همچنین، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در عملیات زراعت وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش داده و انتشار گازهای گلخانه‌ای را پایین می‌آورد. پذیرش این نوآوری‌ها با اهداف زراعت پایدار هم‌راستا بوده و توازن بین بهره‌وری و مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی ایجاد می‌کند (Kalinowska et al., 2022).

۴.۶. دیجیتال سازی و ارقام محوری در مدیریت مزرعه

دیجیتالی شدن و مدیریت مزارع مبتنی بر داده‌ها به طور قابل توجهی زراعت پایدار را با بهرترسازی استفاده از منابع و افزایش بهره‌وری تقویت می‌کنند. تکنالوژی‌های زراعت دقیق، مانند تجهیزات مجهز به GPS و حسگرهای اینترنت اشیاء (IoT) امکان استفاده دقیق از آب، کودها، گیاه‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها را فراهم می‌کنند که باعث کاهش تأثیرات محیط‌زیستی می‌شود (Wolfert, Ge, Verdouw, & Bogaardt, 2017). سنجش از دور و تحلیل داده‌های بزرگ نیز بررسی و کنترل لحظه‌ای از سلامت محصولات و شرایط آب و خاک را ممکن می‌سازد که تصمیم‌گیری به موقع را برای کارکنان زراعت مساعد کرده، منتج به کاهش ریسک و خطرات می‌گردد (Kamilaris, Kartakoullis, & Prenafeta-Boldú, 2017). این نوآوری‌ها و دیجیتال سازی با کاهش ضایعات ورودی‌ها و افزایش کیفیت محصول، کارای و مؤثریت منابع دست‌داشته را افزایش می‌دهد، حفاظت محیط زیست و پایداری اقتصادی را ترویج می‌کنند (Liakos et al., 2018). با این حال، چالش‌هایی مانند دسترسی محدود دهقانان کوچک به تکنالوژی و مدیریت داده‌ها باقی مانده است. به طور کلی، دیجیتالی شدن مسیر مهمی برای دستیابی به سیستم‌های زراعتی مقاوم و پایدار است (Rotz et al., 2019).

۷. راهکارهای عملی برای تحقق زراعت پایدار

راه‌حل‌های عملی برای تطبیق زراعت پایدار شامل آبیاری قطره‌ای، کودهای ارگانیک، تناوب زراعتی، مدیریت تلفیقی آفات، و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. این روش‌ها ضمن افزایش بهره‌وری، به حفظ منابع خاک و آب کمک کرده و پایداری محیط‌زیستی و اقتصادی را در درازمدت تقویت می‌نمایند. راه‌حل‌های عملی برای تطبیق زراعت پایدار نیازمند یک رویکرد چندبُعدی است که سیاست‌گذاری، آموزش، مشارکت جامعه و تاب‌آوری در برابر تغییرات اقلیمی را با هم ادغام نماید. در سطح کلان، سیاست‌گذاری قوی برای فراهم‌سازی انگیزه مالی، اصلاحات ارضی، و سرمایه‌گذاری در زیربنای زراعتی بسیار ضروری می‌باشد (FAO, 2017).

تقویت نظام‌های حمایتی نهادی، از جمله دسترسی به قرضه، بیمه و خدمات ترویجی، توانمندی دهقانان را در جهت پذیرش روش‌های زراعت پایدار افزایش می‌دهد (World Bank, 2021). آموزش و ترویج الگوهای زراعت سنتی - که بر دانش محلی و تنوع زیستی استوار است - می‌تواند تعادل اکولوژیکی و پایداری فرهنگی را تقویت نماید (Altieri, 2018). علاوه بر آن، مشارکت جامعه و همکاری پایدار میان ذی‌نفعان، توزیع عادلانه منابع و دانش را تضمین کرده و زمینه‌ساز تاب‌آوری بلندمدت می‌گردد. مقابله با چالش‌های فزاینده تغییرات اقلیمی مانند، نوسانات آب‌وهوایی، کمبود آب و تخریب خاک نیازمند ادغام تکنالوژی‌های سازگار، زراعت بوم‌شناختی (Agroecology) و سیستم‌های هشداردهنده زودهنگام می‌باشد. این راه‌حل‌ها در کنار هم به تأمین امنیت غذایی کمک کرده و در عین حال منابع طبیعی را حفظ می‌کنند، و به این ترتیب، نظام‌های زراعتی را با اهداف محیط‌زیستی و اجتماعی همسو می‌سازند (IPCC, 2022).

نتیجه‌گیری

برای رسیدن به زراعت پایدار، نیاز است تا یک رویکرد همه‌جانبه و چندبُعدی در نظر گرفته شود که شامل سیاست‌گذاری کلان، تقویت نظام‌های حمایتی، آموزش و ترویج روش‌های سنتی، مشارکت فعال جامعه و مقابله با چالش‌های تغییرات اقلیمی باشد. سیاست‌های مؤثر در سطح کلان باید انگیزه‌های مالی، اصلاحات زمین، و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های زراعتی را فراهم کنند تا زراعت بتواند منابع را به شکل بهتر استفاده کند. همچنین، تقویت دسترسی به خدمات مالی، بیمه، و خدمات ترویجی به زراعت کمک می‌کند تا تکنالوژی‌ها و شیوه‌های پایدار را بپذیرند. آموزش و ترویج الگوهای زراعت سنتی که بر دانش محلی و تنوع زیستی تکیه دارد، در حفظ تعادل محیط زیست و پایداری فرهنگی نقش مهمی ایفا می‌کند. مشارکت فعال جامعه و همکاری میان ذی‌نفعان باعث توزیع عادلانه منابع و دانش شده و تاب‌آوری بلندمدت

را تقویت می‌کند. در نهایت، استفاده از تکنالوژی‌های سازگار با اقلیم، زراعت و محیط‌زیست و سیستم‌های هشداردهنده به مقابله با اثرات منفی تغییرات اقلیمی کمک می‌کند و امنیت غذایی و حفظ منابع طبیعی را تضمین می‌نماید. با اجرای این راهکارها، می‌توان زراعت پایدار، مقاوم و مسئولانه را به واقعیت تبدیل کرد.

سفارشات

- **توسعه آینده:** توسعه و بهینه‌سازی تکنالوژی‌های دیجیتال و داده‌محور با تمرکز بر کاربردهای محلی و بهبود دسترسی این فناوری‌ها برای دهقانان کوچک‌مقیاس، به منظور افزایش بهره‌وری و پایداری مزرعه‌ای.
- **تحقیقات آینده:** تحلیل جامع نقش دانش بومی و روش‌های سنتی زراعت در ارتقای پایداری اکولوژیکی و حفاظت از میراث فرهنگی در سیستم‌های زراعت پایدار.
- **سیاست‌گذاران:** تدوین و اجرای سیاست‌های کلان با رویکرد بین‌رشته‌ای که موجب هم‌افزایی میان بخش‌های زراعت، محیط زیست، اقتصاد و علوم اجتماعی گردد و پایداری بلندمدت بخش زراعت را تضمین نماید. ایجاد بسترها و سازوکارهای مؤثر برای مشارکت فعال دهقانان و جوامع محلی در فرآیندهای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری بخش زراعت به منظور بهبود کارایی و پذیرش راهکارهای پایدار.
- **دهقانان:** حمایت و تشویق دهقانان به پذیرش و استفاده از تکنالوژی‌های نوین و روش‌های زراعت پایدار همراه با حفظ، مستندسازی و انتقال دانش بومی و سنتی به نسل‌های آینده.
- **عمومی:** ترویج فرهنگ همکاری و هم‌افزایی بین‌رشته‌ای و گسترش تعامل میان پوهنتون‌ها، نهادهای دولتی، بخش خصوصی و دهقانان به عنوان رویکردی کلیدی برای تحقق اهداف زراعت پایدار.

مآخذ

- Abd El Kareem Gomaa, H. (2022). Modern Trends in the Development of Smart Agriculture Projects. *International Journal of Modern Agriculture and Environment*, 2(1), 33-44.
- Abraham, J., Strielkowski, W., Vošta, M., & Šlajs, J. (2015). Factors that influence the competitiveness of Czech rural small and medium enterprises. *Agricultural Economics/Zemědělská Ekonomika*, 61(10).
- Ahmed, T., & Bhatti, A. A. (2020). Measurement and determinants of multi-factor productivity: A survey of literature. *Journal of Economic Surveys*, 34(2), 293-319.
- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: The science of sustainable agriculture* (2nd ed.). CRC Press.
- Atapattu, A. J., Ranasinghe, C. S., Nuwarapaksha, T. D., Udumann, S. S., & Dissanayaka, N. S. (2024). Sustainable agriculture and sustainable development goals (SDGs). In IGI Global.
- Azadi, H., Moghaddam, S. M., Burkart, S., Mahmoudi, H., Van Passel, S., Kurban, A., & Lopez-Carr, D. (2021). Rethinking resilient agriculture: From climate-smart agriculture to vulnerable-smart agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128602.
- Bathaei, A., & Štreimikienė, D. (2023). A systematic review of agricultural sustainability indicators. *Agriculture*, 13(2), 241.
- Birner, R., Daum, T., & Pray, C. (2021). Who drives the digital revolution in agriculture? A review of supply-side trends, players and challenges. *Applied economic perspectives and policy*, 43(4), 1260-1285.
- Boughton, D., Goeb, J., Lambrecht, I., Headey, D., Takeshima, H., Mahrt, K & Diao, X. (2021). Impacts of COVID-19 on agricultural production and food systems in late transforming Southeast Asia: The case of Myanmar. *Agricultural Systems*, 188, 103026.
- Bwambale, E., Abagale, F. K., & Anornu, G. K. (2022). Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*, 260, 107324.
- Cárceles Rodríguez, B., Durán-Zuazo, V. H., Soriano Rodríguez, M., García-Tejero, I. F., Gálvez Ruiz, B., & Cuadros Távira, S. (2022). Conservation agriculture as a sustainable system for soil health: A review. *Soil Systems*, 6(4), 87.
- Choudhury, P. (2019). *Commons Foodscapes for a Local Food Security: Juxtaposing Biodiversity, Culture, Nutrition and Indigenous Community in Indian Forest-Foodscapes*. New Delhi.
- Czyżewski, B., & Brelik, A. (2013). Sustainable development of agriculture – Case of Poland. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 16(2), 38–41.
- Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (1992). Natural capital and sustainable development. *Ambio*, 21(4), 254–261.

- Dong, L. (2021). Toward resilient agriculture value chains: challenges and opportunities. *Production and Operations Management*, 30(3), 666-675.
- Dubois, O. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture: managing systems at risk (pp. xxiii+-285).
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone.
- Fiedor, B. (2002). Teoria trwałego rozwoju (ekorozwoju) jako krytyka neoklasycznej ekonomii środowiska i wzrostu gospodarczego,[w:] B. Fiedor, S. Czaja, A. Graczyk, Z. Jakubczyk, *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, Wyd. CH Beck, Warszawa.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1), 441–473.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). The future of food and agriculture – Trends and challenges. FAO. [https:// www. fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf](https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf)
- Food and Agriculture Organization. (2021). empowering rural women: A pathway to sustainable development. FAO. <https://www.fao.org/documents/en/>.
- Food and Agriculture Organization. (2023). the state of food and agriculture 2023: Sustainable agrifood systems for food security and nutrition. FAO. <https://www.fao.org/documents>.
- FOOD, O. (2016). The state of food and agriculture. *Climate change, agri*, 78.
- Gebremariam, M. K., & Kassie, G. T. (2018). Enhancing resilience through sustainable agricultural practices: Evidence from Ethiopia. *Agricultural Systems*, 165, 54-62.
- Gong, J., & Lin, H. (2000). Sustainable development for agricultural region in China: case studies. *Forest Ecology and Management*, 128(1-2), 27-38.
- Häni, F. J., Pintér, L., & Herren, H. R. (Eds.). (2007). *Sustainable Agriculture: From Common Principles to Common Practice*. INFASA.
- Häni, F. J., Stämpfli, A., Keller, T., & Porsche, H. (2003). RISE, a Tool for Holistic Sustainability Assessment at the Farm Level. *International Food and Agribusiness Management Review*, 6(4), 78–90.
- Hardaker, J. B. (1997). Guidelines for the integration of sustainable agriculture and rural development into agricultural policies (No. 4). Food & Agriculture Org...
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Jianhua, G and L. Hui. 2000. Sustainable development for agricultural region in China: case studies. *For. Ecol. Manag.* 128:27-38.
- Johnson, T. R., & Lee, K. H. (2019). Ecosystem degradation and its impacts on agricultural productivity. *Agricultural Ecology Review*, 27(2), 98-113.
- Johnston, C., & Meyer, R. (2008). Value chain governance and access to finance: Maize, sugar cane and sunflower oil in Uganda. *Enterprise development & microfinance*, (4), 281-300.
- Kalinowska, B., Bórawski, P., Beldycka-Bórawska, A., Klepacki, B., Perkowska, A., & Rokicki, T. (2022). Sustainable development of agriculture in member states of the European Union. *Sustainability*, 14(4184).
- Kamilaris, A., Kartakoullis, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2017). A review on the practice of big data analysis in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 23-37.
- Kates, R. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. A. (2005). What is sustainable development? Goals, indicators, values, and practice. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 47(3), 8–21.
- Kidane, W., Maetz, M., & Dardel, P. (2006). Food security and agricultural development in sub-Saharan Africa. FAO, Subregional Office for Southern and East Africa, Rom.
- Kociszewski, K. (2018). Sustainable development of agriculture-theoretical aspects and their implications. *Economic and Environmental Studies*, 18(3 (47), 1119-1134.
- Kociszewski, K. (2020). Sustainable development of agriculture – theoretical aspects and their implications. *Economic and Environmental Studies*, (47), 9–20. <https://www.researchgate.net/publication/347183963>.
- Korneeva, E., Alamanova, C., Orozonova, A., Parmanasova, A., & Krayneva, R. (2023). Sustainable development of the agricultural sector of the economy. *E3S Web of Conferences*, 431, 01030.
- Kuhl, L. (2020). Technology transfer and adoption for smallholder climate change adaptation: opportunities and challenges. *Climate and Development*, 12(4), 353-368.

- Leakey, R. R. (2020). A re-boot of tropical agriculture benefits food production, rural economies, health, social justice and the environment. *Nature Food*, 1(5), 260-265.
- Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, 18(8), 2674.
- Lisin, E., Sobolev, A., Strielkowski, W., & Garanin, I. (2016). Thermal efficiency of cogeneration units with multi-stage reheating for Russian municipal heating systems. *Energies*, 9(4), 269.
- Liu, Y., Wang, Z., & Zhang, X. (2021). Organic farming and sustainable agriculture development in China: Challenges and opportunities. *Sustainability*, 13(4), 2005.
- Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I. Y., Grigoriadis, V., & Blackmore, S. (2020). Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture*, 21(2), 278-299.
- Mahadevan, R. (2003). Productivity growth in Indian agriculture: the role of globalization and economic reform. *Asia Pacific Development Journal*, 10(2), 57-72.
- Pearce, D., Barbier, E., & Markandya, A. (2013). *Sustainable development: economics and environment in the Third World*. Routledge.
- Pollalis, S. (2016). *Planning sustainable cities: an infrastructure-based approach*. Routledge.
- Raj, A., Jhariya, M. K., Khan, N., Banerjee, A., & Meena, R. S. (2021). Ecological intensification for sustainable development. *Ecological intensification of natural resources for sustainable agriculture*, 137-170.
- Raman, S. (2024). *Agricultural sustainability: principles, processes, and prospects*. CRC Press.
- Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M. & Neufeld, H. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68, 112-122.
- Silva, J. F., Costa, C. S., & Oliveira, A. M. (2020). Conservation agriculture in Brazil: Adoption, impacts and prospects. *Soil and Tillage Research*, 198, 104559.
- Smith, J. A., Brown, L. M., & Green, R. P. (2020). Climate change and sustainable agriculture: Spatial challenges and adaptive strategies. *Journal of Environmental Sustainability*, 15(3), 145-162.
- Sridhar, A., Balakrishnan, A., Jacob, M. M., Sillanpää, M., & Dayanandan, N. (2023). Global impact of COVID-19 on agriculture: role of sustainable agriculture and digital farming. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 42509-42525.
- Srivastav, A. L., Dhyani, R., Ranjan, M., Madhav, S., & Sillanpää, M. (2021). Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 41576-41595.
- Stephens, E. C., Martin, G., Van Wijk, M., Timsina, J., & Snow, V. (2020). Impacts of COVID-19 on agricultural and food systems worldwide and on progress to the sustainable development goals. *Agricultural systems*, 183, 102873.
- Stojanov, R., Strielkowski, W., & Drbohlav, D. (2011). Labour migration and remittances: current trends in times of economic recession. *Geografie*, 116(4), 375-400.
- 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.
- Strielkowski, W., & Weyskrabova, B. (2014). U krainian Labour Migration and Remittances in the Czech Republic. *Tijdschrift voor economische en sociale geografie*, 105(1), 30-45.
- Sultan, S., & El-Qassem, A. (2021). Future prospects for sustainable agricultural development. *International Journal of Modern Agriculture and Environment*, 1(2), 54-82.
- Tian, Z., Wang, J.-W., Li, J., & Han, B. (2020). Designing future crops: Challenges and strategies for sustainable agriculture. *The Plant Journal*, 105, 1165-1178.
- Trigo, A., Marta-Costa, A., & Fragoso, R. (2021). Principles of sustainable agriculture: Defining standardized reference points. *Sustainability*, 13(8), 4086.
- Ulčák, Z., & Pall, J. (2003). *Indicators of Agricultural Sustainability—the Moral of a Story* (pp. 67-78). Springer Berlin Heidelberg.
- United Nations Entity for Gender Equality and the Empowerment of Women. (2023). *Empowering rural. Women for sustainable development*. <https://www.unwomen.org/en>
- United Nations. (2015). *transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations.
- Vahdati, K., Lotfi, N., Kholdebarin, B., Hassani, D., Amiri, R., Mozaffari, M. R., & Leslie, C. (2009). Screening for drought-tolerant genotypes of Persian walnuts (*Juglans regia* L.) during seed germination. *HortScience*, 44(7), 1815-1819.

- Van Calker, K. J., Berentsen, P. B. M., De Boer, I. J. M., Giesen, G. W. J., & Huirne, R. B. M. (2007). Modelling worker physical health and societal sustainability at farm level: an application to conventional and organic dairy farming. *Agricultural Systems*, 94(2), 205-219.
- Wang, H., Wang, X., Sarkar, A., & Zhang, F. (2021). How capital endowment and ecological cognition affect environment-friendly technology adoption: A case of apple farmers of Shandong province, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7571.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.
- World Bank. (2021). Transforming food systems for a resilient future. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/publication/transforming-food-systems>
- World Commission on Environment and Development. (1987). *our common Future*. Oxford University Press.
- Yin, X., Chen, J., & Li, J. (2022). Rural innovation system: Revitalize the countryside for a sustainable development. *Journal of Rural Studies*, 93, 471-478.
- Zhang, C., Walter, M. T., & Nandur, A. (2021). Precision agriculture technologies and practices: A review and case studies from developing countries. *Agricultural Systems*, 187, 103009.
- Zhang, L., Pang, J., Chen, X., & Lu, Z. (2019). Carbon emissions, energy consumption and economic growth: Evidence from the agricultural sector of China's main grain-producing areas. *Science of the Total Environment*, 665, 1017-1025.
- Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J., & Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112602.
- Zhao, W., Wang, M., & Pham, V. T. (2023). Unmanned aerial vehicle and geospatial analysis in smart irrigation and crop monitoring on IoT platform. *Mobile Information Systems*, 2023(1), 4213645.
- Žmija, K., Fortes, A., Tia, M. N., Šūmane, S., Ayambila, S. N., Žmija, D., & Sutherland, L. A. (2020). Small farming and generational renewal in the context of food security challenges. *Global Food Security*, 26, 100412.