تهران
پایتخت
تجارت
ایران



# نقش توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در تقویت امنیت غذایی کشورها

معاونت مطالعات اقتصادی و آینده‌پژوهی
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

**معاونت مطالعات اقتصادی و آینده پژوهی**

**اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران**

# نقش توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در تقویت امنیت غذایی کشورها

**از طریق پست الکترونیکی زیر می‌توانید پیشنهادها و نظرات اصلاحی خود را به واحد مربوطه منعکس نمایید:**

economic_research@tccim.ir

**مواضع این گزارش،الزاما مواضع اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران نیست.**

**استفاده از مطالب این گزارش با ذکر منبع بلامانع است.**

**آذر ۱۴۰۴**

# خلاصه مدیریتی

امنیت غذایی در دهه‌های اخیر به یکی از چالش‌های محوری نظام‌های اقتصادی و اجتماعی جهان تبدیل شده است؛ چالشی که ریشه‌های آن تنها به ظرفیت تولید غذا محدود نیست، بلکه مجموعه‌ای از عوامل ساختاری، محیطی و فناورانه به طور هم‌زمان بر آن اثر می‌گذارند. افزایش نوسانات اقلیمی، محدودیت منابع آب، بی‌ثباتی بازارهای جهانی انرژی و وابستگی شدید زنجیره‌های غذایی به سوخت‌های فسیلی، همگی شرایطی را رقم زده‌اند که در آن دسترسی پایدار به غذای کافی، سالم و مقرون‌به‌صرفه با عدم‌قطعیت‌های فزاینده مواجه است. مرور داده‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که شاخص‌های جهانی قیمت غذا و انرژی همبستگی بالایی داشته و نوسانات قیمت نفت به‌طور قابل‌توجهی بر هزینه تولید، فرآوری و توزیع غذا اثر می‌گذارد. این وابستگی ساختاری، ضرورت تنوع‌بخشی به منابع انرژی در بخش کشاورزی و حرکت به سمت الگوهای کم‌کربن و تاب‌آور را برجسته می‌کند.

در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، محدودیت دسترسی به انرژی مطمئن و مقرون‌به‌صرفه مانعی جدی برای بهره‌وری کشاورزی، کاهش تلفات پس از برداشت و توسعه فعالیت‌های ارزش‌افزا در زنجیره غذایی است. برای نمونه، در برخی مناطق، نبود سامانه‌های ذخیره‌سازی سرد منجر به اتلاف ۳۰ تا ۴۰ درصد از محصولات کشاورزی قبل از رسیدن به بازار می‌شود. سهم قابل توجهی از این تلفات ناشی از ناکارآمدی زیرساخت‌های انرژی است؛ زیرساخت‌هایی که یا به‌طور سنتی بر سوخت‌های فسیلی پرهزینه و ناپایدار متکی هستند یا به دلیل نبود شبکه برق قابل اتکا، کارکرد مؤثر ندارند. همین وضعیت در بخش آبیاری نیز به چشم می‌خورد، جایی که بیش از ۸ میلیون پمپ کشاورزی مبتنی بر سوخت‌های دیزلی در کشورهایی مانند هند و بنگلادش فعالیت دارند و هزینه سوخت آن‌ها بار مالی سنگینی بر کشاورزان تحمیل می‌کند.این گسترش نه‌تنها هزینه تولید انرژی را کاهش داده، بلکه فرصت‌های جدیدی برای خلق ارزش در زنجیره غذایی فراهم کرده است.

ادبیات موجود نشان می‌دهد که انرژی‌های تجدیدپذیر قادرند عملکرد بخش کشاورزی را در چهار سطح اصلی تقویت کنند: نخست، افزایش بهره‌وری تولید از طریق تأمین انرژی پایدار برای پمپاژ آب، آبیاری قطره‌ای، گلخانه‌ها و مدیریت منابع آب؛ دوم، کاهش تلفات پس از برداشت با توسعه سیستم‌های سردخانه‌ای خورشیدی و ظرفیت‌های فرآوری مبتنی بر انرژی پاک؛ سوم، ارتقای تاب‌آوری اقتصادی و کاهش وابستگی نظام غذایی به نوسانات انرژی فسیلی و چهارم، ایجاد فرصت‌های اشتغال و افزایش درآمد خانوارها، به‌ویژه برای زنان و جوانان در جوامع روستایی.

افزون بر این، تحول انرژی در بخش کشاورزی به‌طور مستقیم با اهداف توسعه پایدار پیوند دارد؛ زیرا موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، حفاظت از منابع طبیعی و بهبود سلامت عمومی می‌شود. یافته‌های گزارش نشان می‌دهد که همگرایی میان سیاست‌های انرژی و امنیت غذایی دیگر یک انتخاب نیست، بلکه ضرورتی است راهبردی؛ زیرا پایداری نظام غذایی بدون پایداری نظام انرژی قابل دستیابی نیست. به بیان دیگر، «تحول انرژی» و «تحول غذا» دو مسیر جداگانه نیستند، بلکه دو فرایند هم‌بسته‌اند که هرگونه تغییر در یکی، پیامدهای گسترده‌ای بر دیگری دارد.

با این حال، گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی نیازمند طراحی دقیق سیاست‌ها، سازوکارهای مالی نوآورانه و چارچوب‌های اجرایی یکپارچه است. محدودیت دسترسی به سرمایه، نبود آموزش فنی کافی، فقدان شناخت کاربران نهایی از مزایای فناوری و نبود مدل‌های کسب‌وکار پایدار، از جمله چالش‌هایی هستند که می‌توانند پذیرش و گسترش این فناوری‌ها

را به تأخیر اندازند. غلبه بر این موانع، مستلزم همکاری نزدیک میان دولت‌ها، نهادهای تحقیق و توسعه، بخش خصوصی و کاربران نهایی است تا فرآیند آزمایش، ارزیابی و استقرار فناوری‌ها به‌صورت هماهنگ پیش رود.

در همین راستا، ضرورت دارد رویکردهای سیاستی در این حوزه بر پایه تحلیل‌های داده‌محور و ارزیابی‌های مکانی دقیق طراحی شود. استفاده از ابزارهای مکان‌مبنای نوین، امکان شناسایی مناطق با پتانسیل بالا برای استقرار فناوری‌های تجدیدپذیر را فراهم می‌کند و به برنامه‌ریزی هدفمند سرمایه‌گذاری‌ها یاری می‌رساند.

در مجموع، گزارش حاضر با تکیه بر داده‌های به‌روز و تحلیل‌های تطبیقی، به تبیین نقش توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در تقویت امنیت غذایی کشورهای در حال توسعه می‌پردازد و با بررسی نمونه‌های موفق جهانی، مسیرهایی برای ارتقای بهره‌وری، کاهش تلفات، افزایش تاب‌آوری و بهبود عدالت اجتماعی در نظام غذایی پیشنهاد می‌کند. در پایان نیز مجموعه‌ای از توصیه‌های سیاستی ارائه می‌شود که هدف آن‌ها ایجاد چارچوبی عملی برای گذار به یک سیستم غذایی پایدار، کم‌کربن و تاب‌آور است. سیستمی که بتواند در برابر شوک‌های اقلیمی و اقتصادی مقاومت کرده و امنیت غذایی نسل‌های امروز و فردا را تضمین کند.

# فهرست مطالب

خلاصه مدیریتی..... ۳

مقدمه..... ۶

۱. بررسی داده‌محور وضعیت امنیت غذایی و تجدیدپذیرها..... ۷

۲. نقش انرژی در سیستم‌های کشاورزی و غذایی..... ۱۲

۳. ضرورت انرژی‌های تجدیدپذیر برای تحول سیستم‌های غذایی..... ۱۴

۳-۱. لزوم گسترش دسترسی به انرژی‌های مدرن در مناطق با عرضه محدود..... ۱۵

۳-۲. ضروت کاهش وابستگی به نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی..... ۱۶

۳-۳. کاهش هزینه‌ها و تلفات در زنجیره کشاورزی—غذایی از طریق دسترسی به انرژی..... ۱۷

۳-۴. کاهش اثرات زیست‌محیطی انرژی مصرفی در سیستم‌های کشاورزی و غذایی..... ۱۷

۴. نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در زنجیره‌های ارزش کشاورزی و غذایی..... ۱۸

۵. چالش‌های کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های غذایی-کشاورزی..... ۲۴

۶. نتیجه‌گیری و توصیه‌هایی برای تصمیم‌گیرندگان گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های غذایی-کشاورزی..... ۲۷

منابع..... ۳۰

## مقدمه

این گزارش به‌صورت داده‌محور به پیوند حیاتی میان امنیت غذایی و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌پردازد و نشان می‌دهد که چگونه تحول انرژی می‌تواند یکی از مؤثرترین مسیرها برای تاب‌آورسازی سیستم‌های کشاورزی–غذایی باشد. در بخش نخست، با تحلیل شواهد کمی و کیفی، وضعیت موجود امنیت غذایی و سهم فزاینده انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق مختلف بررسی شده و نشان داده می‌شود که ناپایداری عرضه انرژی و نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی چگونه زنجیره‌های تولید، فرآوری و توزیع غذا را تحت فشار قرار می‌دهد.

سپس نقش انرژی در تمام مراحل سیستم غذایی از تولید و آبیاری تا فرآوری، نگهداری و حمل‌ونقل تحلیل می‌شود تا نشان داده شود که وابستگی ساختاری این سیستم‌ها به انرژی‌های پرهزینه و آلاینده، مانعی عمده برای پایداری غذایی است. در ادامه، ضرورت گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر با تأکید بر چهار محور کلیدی شامل: بهبود دسترسی انرژی در مناطق محروم، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کاهش هزینه‌ها و تلفات پس از برداشت، و کاهش آثار زیست‌محیطی بررسی می‌شود.

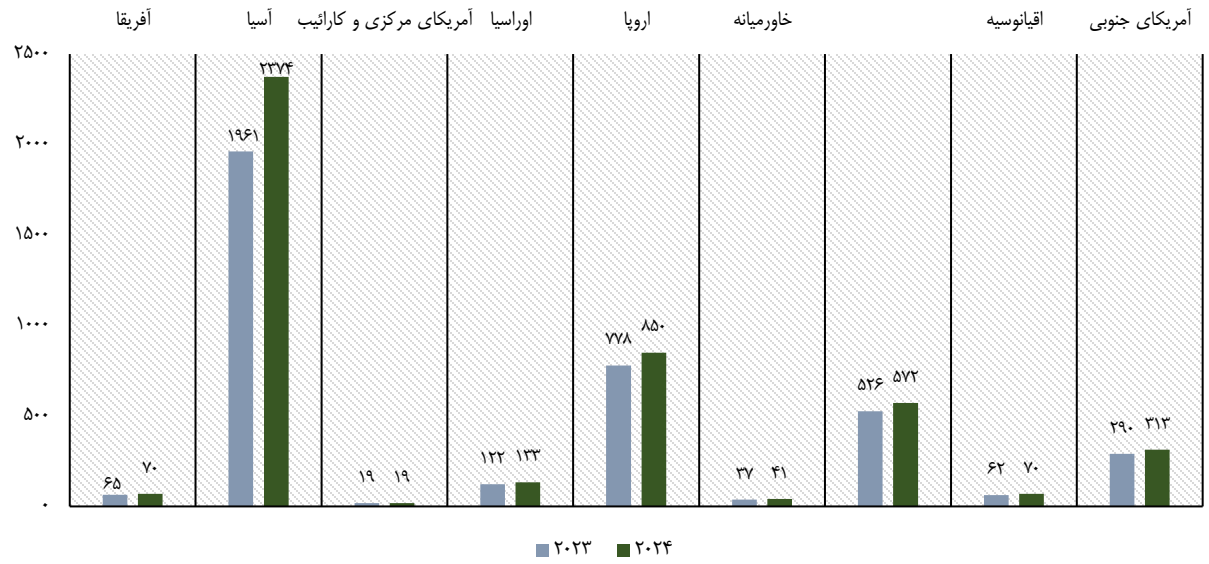
بخش بعدی به‌صورت جامع نقش فناوری‌های تجدیدپذیر را در ارتقای زنجیره‌های ارزش کشاورزی و افزایش بهره‌وری، درآمد و کیفیت محصولات تشریح می‌کند. سپس چالش‌های فنی، نهادی، مالی، جنسیتی و اطلاعاتی که مانع گسترش این فناوری‌ها در مقیاس وسیع می‌شوند، تحلیل می‌گردد. در نهایت، گزارش با ارائه مجموعه‌ای از توصیه‌های سیاستی برای تصمیم‌گیرندگان به پایان می‌رسد. این توصیه‌ها مسیر عملی برای توسعه سیستم‌های غذایی پایدار، تاب‌آور و کم‌کربن ترسیم می‌کنند.

# ۱. بررسی داده‌محور وضعیت امنیت غذایی و تجدیدپذیرها

## ۱-۱. انرژی‌های تجدیدپذیر

بر اساس گزارش و آمارهای منتشر شده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی[1] (۲۰۲۵)، بخش جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۴ به نقطه عطفی مهم دست یافت؛ به‌گونه‌ای که مجموع ظرفیت‌های جدید نصب‌شده به ۵۸۲ گیگاوات رسید. این مقدار نشان‌دهندهٔ رشد ۱۹.۸ درصدی نسبت به سال ۲۰۲۳ بوده و به‌عنوان بزرگ‌ترین افزایش سالانه ثبت‌شده محسوب می‌شود.در میان فناوری‌های نوین انرژی، سامانه‌های خورشیدی فتوولتائیک[2] با ثبت ۴۵۲.۱ گیگاوات، معادل ۷۷.۸ درصد از کل ظرفیت افزوده‌شده، نقش محوری در این رشد ایفا کردند. پس از آن، فناوری‌های بادی با ۱۱۴.۳ گیگاوات (۱۹.۶ درصد) و نیروگاه‌های برق‌آبی با ۹.۳ گیگاوات (۱.۶ درصد) در رتبه‌های بعدی قرار داشتند.

همان‌گونه که در نمودار ۱ نشان داده شده است، **رشد ظرفیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲٤ به‌طور بارزی تحت رهبری آسیا قرار داشته است.** این منطقه با افزودن ۴۱۳.۲ گیگاوات ظرفیت جدید، افزایشی معادل ۲۱.۱ درصد نسبت به سال ۲۰۲۳ را رقم زده و ظرفیت تجمعی خود را به ۲۳۷۴ گیگاوات رسانده است. در حالی که سایر مناطق نیز افزایش سالانه ظرفیت را تجربه کرده‌اند، مقیاس این رشد در میان مناطق متفاوت بوده و از الگوهای ناهمگون توسعه حکایت دارد. در این میان، چین با سهمی تعیین‌کننده در سطح جهانی، ۶۱.۲ درصد از ظرفیت جدید خورشیدی فتوولتائیک و ۶۹.۴ درصد از ظرفیت جدید بادی را به خود اختصاص داده است؛ امری که جایگاه این کشور را به‌عنوان موتور محرک تحول در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر تثبیت می‌کند.



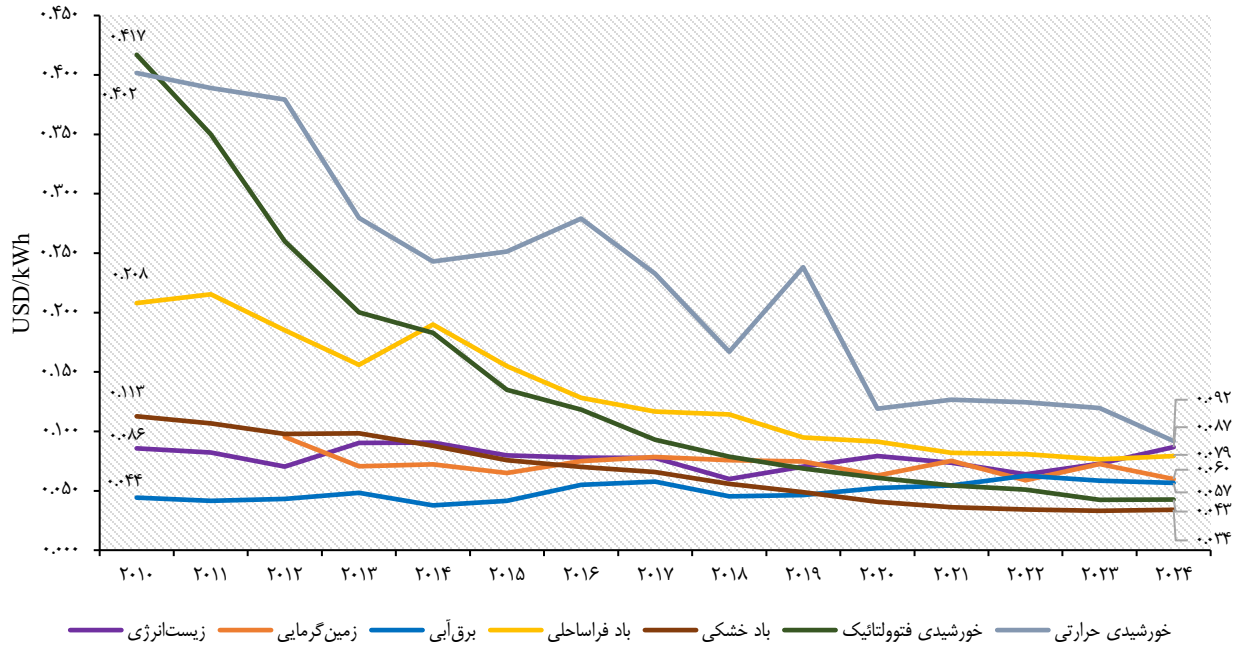

**نمودار ۱. ظرفیت تجمعی نصب‌شده انرژی تجدیدپذیر در مناطق مختلف، ۲۰۲۳-۲۰۲٤**

منبع: آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر

[1] International Renewable Energy Agency (IRENA)
[2] Photovoltaic

علاوه بر چین، کشورهای ایالات متحده، هند، برزیل و آلمان نیز رشد قابل‌توجهی را در ظرفیت‌های افزوده‌شده تجربه کرده‌اند که در مجموع نشان‌دهندهٔ یک روند جهانی همگرا و شتابان در گذار به سامانه‌های انرژی کم‌کربن است.

بر اساس نمودار ۲، فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر از سال ۲۰۱۰ تاکنون با کاهش‌های چشمگیر و بی‌سابقه در هزینه‌های تولید برق مواجه شده‌اند؛ روندی که در نتیجه پیشرفت‌های فناورانه، ارتقای کارایی زنجیره‌های تأمین و تحقق صرفه‌های ناشی از مقیاس شکل گرفته است. در سال ۲۰۱۰، میانگین وزنی جهانی هزینه هم‌سطح تولید برق (LCOE)[۳] برای نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در مقیاس نیروگاهی، بیش از چهار برابر هزینه تولید برق از ارزان‌ترین نیروگاه‌های فسیلی بود. با این حال، تا سال ۲۰۲۴ هزینه تولید برق خورشیدی فتوولتائیک به میزان ۴۱ درصد کاهش یافته و به ۰.۰۴۳ دلار به ازای هر کیلووات‌ساعت رسیده است.




**نمودار ۲. میانگین وزنی جهانی هزینه تولید برق (LCOE) از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر تازه‌راه‌اندازی‌شده در مقیاس نیروگاهی، ۲۰۱۰–۲۰۲٤**

منبع: آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر

**در میان فناوری‌های تجدیدپذیر، باد خشکی در سال ۲۰۲٤ همچنان اقتصادی‌ترین منبع تولید برق باقی ماند. پس از آن، خورشیدی فتوولتائیک و نیروگاه‌های برق‌آبی در رده‌های بعدی قرار گرفتند.**

[۳] این شاخص نشان می‌دهد که تولید یک واحد انرژی الکتریکی (کیلووات‌ساعت) با یک فناوری خاص در طول عمر پروژه، با احتساب تمام هزینه‌ها (سرمایه‌گذاری اولیه، نگهداری، سوخت، بهره‌برداری و غیره) چقدر تمام می‌شود.

فناوری باد خشکی نیز روندی مشابه و حتی چشمگیرتر از نظر کاهش هزینه تجربه کرده است. در سال ۲۰۱۰، LCOE باد خشکی حدود ۲۳ درصد بالاتر از هزینه تولید برق فسیلی بود؛ اما در سال ۲۰۲۴ این تفاوت کاملاً معکوس شد و باد خشکی با ۵۳ درصد هزینه کمتر نسبت به فناوری‌های فسیلی و با LCOE برابر ۰.۰۳۴ دلار بر کیلووات‌ساعت ثبت شد.
کاهش هزینه‌ها به باد فراساحلی نیز تسری یافته است. میانگین جهانی LCOE باد فراساحلی در سال ۲۰۲۴ معادل ۰.۰۷۹ دلار بر کیلووات‌ساعت بوده است که ۶۲ درصد کاهش در مقایسه با سال ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد. در چین، وجود زنجیره‌های تأمین داخلی یکپارچه و بسیار رقابتی موجب شده است که هزینه هم‌سطح تولید برق از باد فراساحلی به ۰.۰۵۶ دلار بر کیلووات‌ساعت برسد؛ رقمی که توان رقابتی این کشور را در بازار جهانی فناوری‌های تجدیدپذیر بیش از پیش تقویت کرده است.
نیروگاه‌های برق‌آبی، به‌عنوان یک فناوری بالغ و کاملاً قابل تنظیم، بین سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ با کاهش ۷ درصدی در میانگین وزنی جهانی هزینه هم‌سطح انرژی (LCOE) مواجه شدند و این مقدار به ۰.۰۵۷ دلار بر کیلووات‌ساعت رسید. این روند عمدتاً ناشی از کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای (CAPEX) بوده است، به‌ویژه در چین. اگرچه نرخ کاهش LCOE در برق‌آبی به اندازه فناوری‌های خورشیدی یا بادی سریع نبوده است، این فناوری همچنان تأمین برق پایه با قیمت رقابتی و ارائه خدمات انعطاف‌پذیری شبکه را به‌ویژه در آمریکای لاتین، جنوب‌شرق آسیا و چین تضمین می‌کند.
در میان سایر فناوری‌های قابل تنظیم و پایدار شبکه، نیروگاه‌های زمین‌گرمایی در سال ۲۰۲۴ به میانگین وزنی جهانی LCOEمعادل ۰.۰۶۰ دلار بر کیلووات‌ساعت دست یافتند. برخی پروژه‌ها در مناطق با شرایط ژئولوژیکی مساعد واقع در اندونزی، ایالات متحده و شرق آفریقا قادر بودند برق را با هزینه‌ای پایین‌تر از معیارهای جهانی تولید برق فسیلی عرضه کنند.

در مقابل، زیست‌انرژی با افزایش فشار بر هزینه‌ها مواجه شد و میانگین جهانی LCOE آن در سال ۲۰۲۴ به ۰.۰۸۷ دلار بر کیلووات‌ساعت رسید. این افزایش عمدتاً ناشی از نوسانات قیمت خوراک و هزینه‌های لجستیکی مرتبط با تأمین سوخت بود.

بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۲۴، میانگین وزنی جهانی هزینه هم‌سطح انرژی (LCOE) برای نیروگاه‌های خورشیدی متمرکز (CSP) با کاهشی معادل ۷۷ درصد به ۰.۰۹۲ دلار بر کیلووات‌ساعت رسید. این کاهش عمدتاً ناشی از کاهش هزینه‌های کل نصب شده، افزایش میانگین ضریب ظرفیت، کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری و طولانی‌تر شدن مدت ذخیره انرژی حرارتی بوده است.

بر اساس شاخص هزینه هم‌سطح انرژی (LCOE)، انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۴ همچنان رقابتی‌ترین گزینه برای توسعه ظرفیت‌های جدید تولید برق محسوب می‌شدند. در این سال، ۹۱ درصد از ظرفیت‌های نیروگاهی جدید در مقیاس بزرگ قادر به تولید برق با هزینه‌ای کمتر از ارزان‌ترین فناوری‌های نوین مبتنی بر سوخت‌های فسیلی بودند. **در این سال انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق کاهش نیاز به سوخت‌های فسیلی، از هزینه‌ای معادل ٤٦٧ میلیارد دلار جلوگیری کردند و جایگاه خود را به‌عنوان اقتصادی‌ترین منبع برق جدید تثبیت نمودند. علاوه بر این، این منابع نقش مهمی در تقویت امنیت انرژی، پایداری اقتصادی و تاب‌آوری شبکه در شرایط ناپایدار بازار انرژی جهانی ایفا کردند.**

## ۱-۲. امنیت غذایی

براساس برآوردهای جهانی به‌روز شده، نرخ گرسنگی در جهان در سال‌های اخیر روندی کاهشی را نشان می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۲۴، ۸.۲ درصد از جمعیت جهان با گرسنگی مواجه باشند؛ این رقم نسبت به ۸.۵ درصد در سال ۲۰۲۳ و ۸.۷ درصد در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است.
این کاهش عمدتاً ناشی از بهبودهای قابل توجه در جنوب‌شرق آسیا، جنوب آسیا و آمریکای جنوبی بوده است، در حالی که گرسنگی در اغلب زیرمنطقه‌های آفریقا و همچنین در غرب آسیا همچنان روندی صعودی دارد.
به‌صورت کلی، شواهد جهانی حاکی از آن است که ناامنی غذایی در مناطق روستایی به‌طور نظام‌مند بالاتر از مناطق شهری گزارش می‌شود و زنان نسبت به مردان آسیب‌پذیری بیشتری در برابر این پدیده دارند.

در دوره ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۴، افزایش مداوم قیمت مواد غذایی موجب شد که میانگین هزینه تأمین یک رژیم غذایی سالم در سطح جهان به ۴.۴۶ دلار برابری قدرت خرید (PPP) برای هر نفر در روز برسد؛ رقمی که نسبت به میانگین‌های ثبت‌شده در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۲ روند افزایشی معناداری را نشان می‌دهد.

با این حال، علیرغم رشد هزینه‌ها در سال ۲۰۲۴، جمعیت جهانی ناتوان از تأمین هزینه یک رژیم غذایی سالم کاهش یافته و از ۲.۷۶ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۹ به ۲.۶۰ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۴ رسیده است؛ امری که بیانگر بهبود نسبی در دسترسی اقتصادی به رژیم غذایی مطلوب در مقایسه با دوره پیش از همه‌گیری و سال‌های پس از آن است.

در سال‌های اخیر، بازارهای جهانی غذا با فشارهای ساختاری و ناپایداری‌های مداوم مواجه بوده‌اند؛ به‌ویژه آنکه تورم قیمت مواد غذایی از سال ۲۰۲۱ به یکی از محوری‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاری و اقتصاد جهانی بدل شده است. تداوم این تورم، روند بهبود امنیت غذایی در دوره پس از همه‌گیری کووید-۱۹ را به‌طور معناداری کند کرده است. این در حالی است که، با توجه به بهبود اقتصادی قابل‌توجه در بسیاری از کشورها، انتظار می‌رفت پیشرفت امنیت غذایی سریع‌تر و فراگیرتر باشد. با وجود این، اثرات ترکیبی افزایش هزینه‌ها، اختلال در زنجیره تأمین و نوسانات ژئوپلیتیک مانع از تحقق این انتظارات شده است. تورم بالای قیمت مواد غذایی می‌تواند به‌ویژه در کشورهای کم‌درآمد، شدت ناامنی غذایی را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. **برآوردها نشان می‌دهد که افزایش ۱۰ درصدی قیمت غذا با افزایش ۳.۵ درصدی در ناامنی غذایی متوسط تا شدید و افزایش ۱.۸ درصدی در ناامنی غذایی شدید همراه است.** در دوره اوج تورم، ۶۵ درصد از کشورهای کم‌درآمد و ۶۱ درصد از کشورهای با درآمد پایین تا متوسط که مجموعاً محل سکونت ۱.۵ میلیارد نفر هستند با نرخ تورم بالای ۱۰ درصد در قیمت مواد غذایی مواجه شدند. این شرایط، شکاف‌های نابرابری را عمیق‌تر کرده و روندهای کاهش فقر، بهبود امنیت غذایی و ارتقای وضعیت تغذیه را به‌طور جدی با مخاطره روبه‌رو می‌کند.
بر اساس آخرین به‌روزرسانی‌های موجود، شیوع کم‌خونی در میان زنان ۱۵ تا ۴۹ ساله از ۲۷.۶ درصد به ۳۰.۷ درصد افزایش یافته است. در اغلب مناطق جهان، طی دوره ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳ یا هیچ بهبودی مشاهده نشده یا روندی افزایشی در شیوع این وضعیت گزارش شده است. به موازات این روند، چاقی در میان بزرگسالان نیز سیر صعودی داشته و از ۱۲.۱ درصد در سال ۲۰۱۲ به ۱۵.۸ درصد در سال ۲۰۲۲ رسیده است؛ امری که حاکی از تشدید چالش‌های مرتبط با سوءتغذیه در هر دو طیف کمبود و اضافه‌وزن در سطح جهانی است.

برای تحقق اهداف جهانی تغذیه در افق ۲۰۳۰ در حوزه شاخص‌های کلیدی سوءتغذیه کودکان، نیاز به تسریع قابل‌توجه در روند پیشرفت وجود دارد. اگرچه جهان در کاهش کوتاه‌قدی کودکان به موفقیت‌هایی دست یافته و شیوع آن از ۲۶.۴ درصد در سال ۲۰۱۲ به ۲۳.۲ درصد در سال ۲۰۲۴ تنزل یافته است، اما شیوع لاغری کودکان و چاقی کودکان طی همین دوره تقریباً بدون تغییر باقی مانده است. در سال ۲۰۲۴، شیوع این دو شاخص به‌ترتیب در حدود ۶.۶ درصد و ۵.۵ درصد برآورد شده است؛ امری که نشان می‌دهد پیشرفت جهانی در مقابله با همه اشکال سوءتغذیه کودکان همچنان ناکافی و نابرابر است. سوءتغذیه کودکان به‌ویژه در شرایط تورم قیمت مواد غذایی می‌تواند تشدید شود. شواهد مربوط به دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۳ نشان می‌دهد که افزایش شدید قیمت غذا با افزایش نرخ لاغری در کودکان زیر پنج سال ارتباط معناداری داشته است. به‌طور تقریبی، افزایش ۱۰ درصدی قیمت مواد غذایی با افزایش ۲.۷ تا ۴.۳ درصدی در شیوع کلی لاغری و افزایش ۴.۸ تا ۶.۱ درصدی در لاغری شدید در کودکان زیر پنج سال همراه بوده است. این یافته‌ها بر نقش تعیین‌کننده ثبات قیمت غذا در پیشگیری از اشکال حاد سوءتغذیه کودکان تأکید می‌کند.

در مواجهه با پیامدهای گسترده افزایش قیمت مواد غذایی و به منظور پیشگیری از بروز دوره‌های تورمی آتی، اتخاذ یک بسته سیاستی جامع و چندوجهی ضروری است.

۱. حمایت هدفمند از جمعیت‌های آسیب‌پذیر: اقدامات مالی موقت و هدفمند، مانند تخفیف‌های مالیاتی کوتاه‌مدت بر کالاهای اساسی و برنامه‌های حمایت اجتماعی، می‌توانند از خانوارهای آسیب‌پذیر در دوره‌های افزایش قیمت محافظت کنند. این اقدامات باید در چارچوب سیاست‌های کلان هماهنگ و با استراتژی‌های خروج شفاف و اهداف ارتقای تدریجی طراحی شده و تحت نظارت دقیق قرار گیرند تا منافع مستقیماً به مصرف‌کنندگان برسد.
۲. هماهنگی سیاست‌های مالی و پولی برای تثبیت بازارها: سیاست‌های پولی شفاف و قابل اعتماد در کنار مداخلات مالی هدفمند، نقش مهمی در تثبیت انتظارات تورمی و ارتقای پایداری بازار ایفا می‌کنند .هزینه‌های عمومی استراتژیک، شامل سرمایه‌گذاری در امنیت غذایی و تغذیه و برنامه‌ریزی مالی واقع‌بینانه می‌تواند مقاومت اقتصادی را تقویت و سلامت بلندمدت اقتصاد را تضمین کند.
۳. تمرکز بر اقدامات ساختاری و تجاری برای اثرات بلندمدت: کنترل کوتاه‌مدت قیمت‌ها تنها اثرات موقتی دارد و ممکن است اختلال در بازار و کاهش انگیزه برای سرمایه‌گذاری بلندمدت ایجاد کند. سیاست‌های بلندمدت باید بر تقویت ذخایر استراتژیک غذایی، شفافیت بازار و توسعه زیرساخت‌های تجاری تمرکز داشته باشند و در عین حال اختلالات تجاری را کاهش دهند تا بازارها یکپارچه شده و شدت شوک‌های قیمتی کاهش یابد.
۴. تقویت سیستم‌های اطلاعات و داده: سیستم‌های اطلاعات بازار کشاورزی قوی برای مدیریت نوسانات قیمت و پیشگیری از سفته‌بازی حیاتی هستند. این سیستم‌ها باید با داده‌های دقیق و به‌روز تقویت شوند تا تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران و کشاورزان موثرتر و مبتنی بر شواهد باشد و مصرف‌کنندگان نیز بتوانند بهینه‌تر با تغییرات بازار مواجه شوند.
۵. سرمایه‌گذاری در سیستم‌های غذایی و کشاورزی مقاوم: برای کاهش ریسک دوره‌های تورمی شدید مواد غذایی، سرمایه‌گذاری پایدار در زنجیره‌های کشاورزی، تحقیق و توسعه و زیرساخت‌ها ضروری است. بهبود ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و بهره‌وری موجب افزایش کارایی زنجیره تأمین و تقویت تاب‌آوری کل سیستم غذایی و کشاورزی در برابر نوسانات قیمت می‌شود.

به‌طور کلی، یکی از چالش‌های کلیدی که سیستم‌های غذایی جهانی با آن مواجه‌اند، تضمین امنیت غذایی و تغذیه برای تمام جمعیت‌ها به گونه‌ای پایدار است؛ به این معنا که پایه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی امنیت غذایی حفظ و تضعیف نشود. برای تحقق این هدف، سیستم‌های غذایی باید سه مولفه اصلی را برآورده کنند:

- پایداری اقتصادی: سیستم‌ها باید سودآور و از نظر اقتصادی پایدار باشند.
- پایداری اجتماعی: سیستم‌ها باید منافع گسترده و فراگیر برای جوامع فراهم کنند.
- پایداری زیست‌محیطی: فعالیت‌های سیستم غذایی باید اثرات مثبت یا حداقل اثرات خنثی بر محیط زیست داشته باشند (فائو، ۲۰۲۱).

**دستیابی به این اهداف مستلزم گذری ساختاری از وابستگی به سوخت‌های فسیلی و حرکت به سوی سیستم‌های غذایی کم‌کربن و پایدار است.**

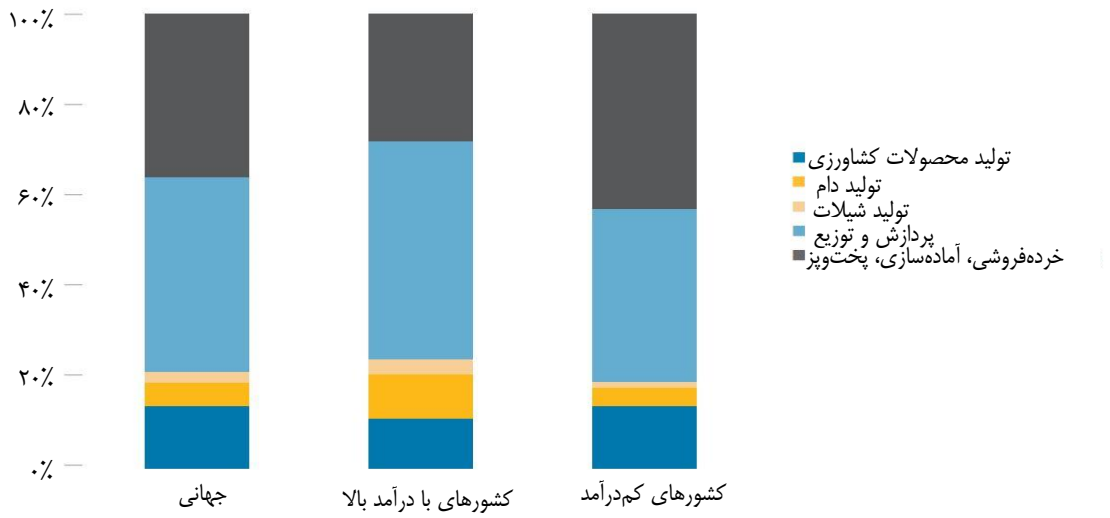
با توجه به اهمیت پایداری در سیستم‌های غذایی و نیاز به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، نقش انرژی در تأمین امنیت غذایی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. در این راستا، انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر بهبود دسترسی به غذا، کاهش هزینه‌های تولید و تقویت تاب‌آوری سیستم‌های غذایی داشته باشند. بنابراین، در ادامه، به بررسی نقش انرژی در امنیت غذایی و تأثیر بالقوه انرژی‌های تجدیدپذیر بر این حوزه خواهیم پرداخت.

## ۲. نقش انرژی در سیستم‌های کشاورزی و غذایی

سیستم‌های جهانی انرژی و غذا هم‌اکنون در یک نقطه عطف حیاتی قرار دارند. هر دو سیستم با فشار فزاینده ناشی از رشد جمعیت و افزایش تقاضا مواجه‌اند و مستلزم تحولاتی بنیادین برای حرکت به سمت سیستم‌هایی فراگیر، امن و پایدار هستند. این تغییرات باید با اهداف توسعه پایدار ۲۰۳۰ و توافق‌نامه پاریس همسو باشند تا همگام با تعهدات بین‌المللی عمل شود. افزون بر این، مسیرهای تحول انرژی و غذا به‌طور عمیق و ساختاری به یکدیگر پیوسته‌اند، به‌گونه‌ای که تغییر در یکی از این سیستم‌ها می‌تواند اثرات قابل توجه و متقابل بر دیگری داشته باشد. تأمین انرژی برای سیستم‌های کشاورزی و غذایی همواره یکی از ویژگی‌های بنیادین توسعه کشاورزی بوده و به‌عنوان عاملی کلیدی در دستیابی به امنیت غذایی مطرح است. انرژی به افزایش عملکرد محصولات، کاهش کار فیزیکی و ضایعات، افزودن ارزش و ارتقای درآمد، به ویژه برای کشاورزان خرد و بنگاه‌های کوچک و متوسط بخش کشاورزی و غذایی کمک می‌کند. علاوه بر این، انرژی نقش مهمی در تسهیل نوآوری و بهبود فناوری در سیستم‌های غذایی ایفا می‌نماید.

انرژی نقش اساسی و فرابخشی در تمامی مراحل سیستم‌های غذایی و کشاورزی ایفا می‌کند. فرآیند تولید غذا و انتقال آن از مزرعه به مصرف‌کننده حدود ۳۰ درصد از کل مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده که بخش عمده این انرژی در مراحل پس از برداشت و به شکل سوخت‌های فسیلی مصرف می‌شود همچنین فرآیند تولید غذا حدود ۳۱ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به همراه دارد. استفاده فعلی از انرژی در سیستم غذایی به دلایل متعددی پایدار نیست، تأمین غذای جمعیتی بالغ بر ۱۰ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰، در حالی که افزایش دمای جهانی از مرز ۱.۵ درجه سانتی‌گراد فراتر نرود، مستلزم تحولی رادیکال در ساختار و عملکرد سیستم‌های غذایی و کشاورزی است تا کارایی، پایداری و تاب‌آوری آن‌ها افزایش یابد (فائو، ۲۰۲۵).

الگوی مصرف انرژی در سیستم‌های غذایی به طور قابل توجهی بین کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه متفاوت است. بر اساس نمودار ۳، در کشورهای توسعه‌یافته، تقریباً یک‌چهارم از کل انرژی در مرحله تولید (شامل زراعت، دامداری و ماهیگیری) مصرف می‌شود، در حالی که ۴۵ درصد از انرژی در فرآوری و توزیع مواد غذایی و ۳۰ درصد در مراحل خرده‌فروشی، آماده‌سازی و پخت‌وپز به کار می‌رود. در مقابل، در کشورهای در حال توسعه، مصرف انرژی در مزرعه کمتر است و بخش قابل توجهی از انرژی صرف پخت‌وپز می‌شود.




**نمودار ۳. سهم مصرف کل انرژی در سطح جهان و در کشورهای با درآمد بالا و پایین، بر اساس بخش‌های زنجیره غذایی-کشاورزی**

منبع: فائو-۲۰۲۱

در مرحله تولید اولیه، انرژی عمدتاً صرف راه‌اندازی تراکتورها و ماشین‌آلات کشاورزی، بهره‌برداری از زیرساخت‌های آبیاری، تولید کود و خوراک دام، راه‌اندازی گلخانه‌ها و سایر روش‌های کشت محافظت‌شده و نیز فعالیت‌های ماهیگیری و آبزی‌پروری می‌شود. نیازهای انرژی در هر یک از این فعالیت‌ها، بسته به مقیاس واحد تولید و نوع محصول غذایی تفاوت‌های قابل توجهی دارد.

در مرحله فرآوری و نگهداری پس از برداشت، محصولات ممکن است خشک، خرد، خوشه‌کوبی، آسیاب یا فرآوری‌های دیگری قبل از توزیع تجربه کنند. این مرحله اغلب شامل سرمایش برای کاهش تلفات پس از برداشت نیز می‌شود. انرژی در این مرحله برای تأمین برق، گرمایش و سرمایش و حمل‌ونقل داخلی ضروری است و دسترسی پایدار به انرژی نقش مهمی در افزایش ارزش افزوده، کاهش ضایعات غذایی و ارتقای درآمد بازیگران مختلف زنجیره غذایی ایفا می‌کند.

مرحله حمل‌ونقل و توزیع عمدتاً شامل رساندن محصولات غذایی به بازارهای محلی یا دوردست است. مصرف انرژی در این مرحله بسته به ساختار زنجیره تأمین و نوع وسیله حمل‌ونقل متفاوت است، اما اتکای تقریباً کامل به سوخت‌های فسیلی باعث می‌شود هزینه‌های حمل‌ونقل به نوسانات قیمت سوخت حساس باشد.

در نهایت، در مرحله خرده‌فروشی، آماده‌سازی و پخت‌وپز، انرژی عمدتاً برای نگهداری مواد غذایی و پخت و آماده‌سازی غذا با استفاده از تجهیزات آشپزی متنوع مصرف می‌شود، که این امر به‌طور مستقیم با کیفیت و دسترسی به غذا و مصرف پایدار انرژی در سیستم‌های غذایی مرتبط است.

مصرف انرژی در دهه‌های اخیر به‌طور مداوم افزایش یافته است، که بخش عمده ورودی‌های انرژی آن را برق و سوخت دیزل تشکیل می‌دهند و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در این بخش‌ها همچنان اندک باقی مانده است. اگرچه استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی در سیستم‌های کشاورزی و غذایی به تسهیل مکانیزاسیون، افزایش تولید کود و بهبود فرآوری و حمل‌ونقل مواد غذایی کمک کرده است، اما هم‌زمان امنیت غذایی را تهدید می‌کند. بنابراین، حرکت به سمت استفاده گسترده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های غذایی و کشاورزی ضروری است، تا ضمن کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، پایداری، تاب‌آوری و امنیت غذایی تقویت شود.

## ۳. ضرورت انرژی‌های تجدیدپذیر برای تحول سیستم‌های غذایی

انرژی می‌تواند بخشی کلیدی از راه‌حل ارتباط میان تغییرات اقلیمی و سیستم‌های غذایی باشد و این نقش از طریق چند مسیر محقق می‌شود:

۱. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های کشاورزی و غذایی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و افزایش پایداری؛
۲. تولید انرژی تجدیدپذیر از باقیمانده‌های سیستم‌های غذایی، که علاوه بر کاهش ضایعات، منابع انرژی جایگزین ایجاد می‌کند؛
۳. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از هدررفت و ضایعات غذایی؛
۴. جذب کربن در محصولات انرژی‌زا و خاک با استفاده از کودهای زیستی تولیدشده از بیوگاز و بیوچار حاصل از گازسازی زیست‌توده جامد.

علاوه بر این، تأمین انرژی کافی در زنجیره‌های غذایی می‌تواند توانمندی سازگاری سیستم‌ها با تغییرات اقلیمی را افزایش دهد؛ از جمله با ارتقای مقاومت در برابر نوسانات آب و هوایی، مانند استفاده از آبیاری مکانیزه به جای کشاورزی بارانی سنتی. همچنین، این امر می‌تواند فرصت‌های اقتصادی و اجتماعی را گسترش دهد؛ از طریق تنوع بخشی به محصولات و خدمات، افزایش ارزش افزوده و تقویت اشتغال محلی، که به بهبود تاب‌آوری اقتصادی و معیشتی جوامع کشاورزی کمک می‌کند.

چالش اصلی در فرآیند تحول سیستم‌های غذایی، جداسازی استفاده از سوخت‌های فسیلی و ترویج نوآوری‌های مرتبط است، به گونه‌ای که امنیت غذایی به خطر نیفتد. با توجه به افزایش تقاضا برای انرژی و غذا، تحول هر دو سیستم برای همسویی با اهداف جهانی اقلیم و توسعه پایدار ضروری به نظر می‌رسد. ارتباط میان این بخش‌ها به گونه‌ای است که تغییرات در یک بخش، اثرات عمیق و متقابلی بر سایر بخش‌ها ایجاد می‌کند. به‌ویژه، گذاره انرژی به طور مستقیم بر سیستم‌های غذایی تأثیر می‌گذارد و در عین حال خود از تحولات آن‌ها متأثر می‌شود و بالعکس.

انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند نقشی کلیدی در تأمین نیازهای انرژی سیستم‌های کشاورزی و غذایی در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه ایفا کنند. بهره‌گیری از این منابع انرژی، علاوه بر تسهیل تولید و توزیع غذا، می‌تواند به کاهش

گرسنگی، کاهش کار فیزیکی سنگین، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، افزایش ظرفیت سازگاری کشاورزان و بنگاه‌های کشاورزی، ارتقای درآمدها و کاهش اثرات زیست‌محیطی بخش کشاورزی و غذایی منجر شود. افزون بر این، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند بهبود برابری جنسیتی و ایجاد فرصت‌های شغلی برای جوانان را نیز تسهیل کند (صندوق بین‌المللی توسعه کشاورزی[4]، ۲۰۲۰)

## ۳-۱. لزوم گسترش دسترسی به انرژی‌های مدرن در مناطق با عرضه محدود

در کشورهای در حال توسعه، سیستم‌های کشاورزی–غذایی بخش بزرگی از معیشت کشاورزان، ماهیگیران و سایر فعالان زنجیره ارزش غذایی را تشکیل می‌دهند. با توجه به زیرساخت‌های هنوز در حال توسعه این سیستم‌ها، برای اینکه بتوان بهره‌وری تولید، امنیت غذایی و تاب‌آوری در برابر شوک‌های اقلیمی و سایر بحران‌ها را بهبود داد، لازم است انرژی بیشتری نسبت به سطح کنونی در دسترس قرار گیرد. به عبارت دیگر، بدون افزایش دسترسی به انرژی پایدار، قابل اعتماد و مقرون‌به‌صرفه، ظرفیت این سیستم‌ها برای تولید و فرآوری محصولات غذایی محدود می‌ماند و توانایی مقابله با فشارهای محیطی و اقتصادی کاهش می‌یابد (صندوق بین‌المللی توسعه کشاورزی ، ۲۰۲۰). این مسئله همچنین یکی از دلایل اصلی سطوح بالای اتلاف مواد غذایی در کشورهای در حال توسعه قبل از رسیدن محصولات به بازار محسوب می‌شود. بخش قابل توجهی از این اتلاف، ناشی از عدم دسترسی به زیرساخت‌های مناسب نگهداری سردخانه‌ای است که می‌تواند طول عمر محصولات را افزایش دهد و کیفیت آن‌ها را حفظ کند (فائو، ۲۰۲۰).

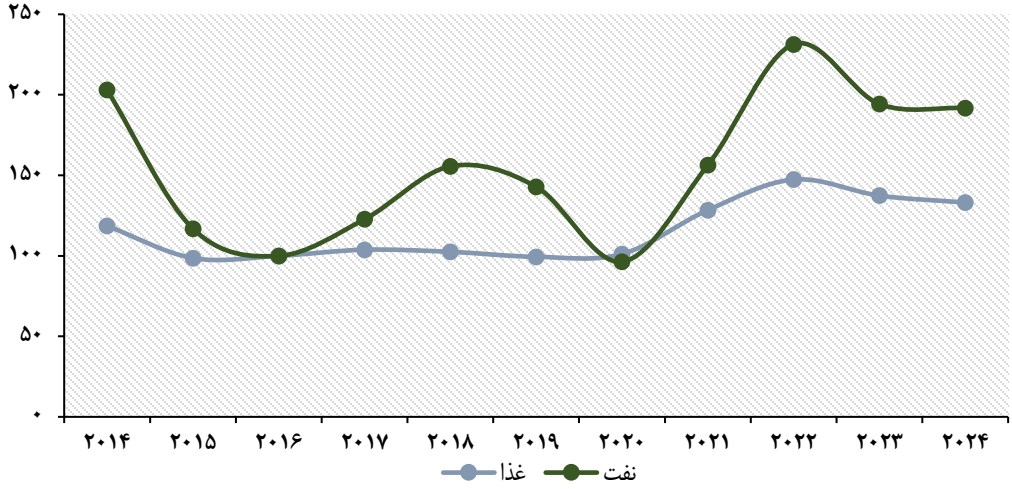
با تشدید نوسانات بارش ناشی از تغییرات اقلیمی، سیستم‌های کشاورزی دیم که هنوز در گستره وسیعی از آفریقا و بخش‌هایی از جنوب آسیا غالب هستند، برای ارتقای بهره‌وری، امنیت غذایی و تاب‌آوری در برابر شوک‌های اقلیمی و اقتصادی نیازمند زیرساخت‌های مدرن مدیریت آب و آبیاری هستند. سطح اراضی مجهز به آبیاری در آفریقای زیر صحرا همچنان پایین است و در مناطقی که آبیاری وجود دارد، تأمین انرژی آن عمدتاً مبتنی بر سوخت‌های فسیلی است. برای مثال، در هند بیش از ۸.۸ میلیون پمپ کشاورزی مبتنی بر سوخت فسیلی فعال هستند (فائو،۲۰۲۱) و در بنگلادش بیش از ۱.۳ میلیون پمپ دیزلی سالانه بیش از یک میلیون تن دیزل مصرف می‌کنند که هزینه‌ای در حدود ۹۰۰ میلیون دلار دارد. وابستگی به پمپ‌های فسیلی در سطح مزرعه، علاوه بر تحمیل هزینه‌های عملیاتی بالا و متغیر به کشاورزان، بار مالی قابل توجهی بر دولت‌ها، به ویژه در کشورهایی که سوخت وارد می‌کنند یا یارانه می‌دهند و همچنین پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجهی ایجاد می‌کند. در شرایط موجود، جوامع کشاورزی روستایی تنها بخش محدودی از ارزش نهایی محصولات خود را کسب می‌کنند، در حالی که بخش عمده ارزش افزوده توسط شرکت‌هایی جذب می‌شود که دسترسی به بازار، انرژی و زیرساخت‌های بهتری دارند. برای بهبود امنیت غذایی و افزایش درآمد تولیدکنندگان اولیه، لازم است دسترسی به انرژی مدرن توسعه یابد و با سایر عوامل مکمل مانند تأمین مالی، تجهیزات مناسب، آموزش‌های فنی و دسترسی به بازار همسو شود. مطالعه شش زنجیره ارزش شامل غلات، محصولات با ارزش بالا و لبنیات نشان می‌دهد که توسعه دسترسی به انرژی مدرن بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ می‌تواند حدود ۴ میلیارد دلار درآمد جدید ایجاد کند.

[4] International Fund for Agricultural Development (IFAD)

**انرژی‌های تجدیدپذیر غیرمتمرکز می‌توانند نقش محوری در تقویت دسترسی به انرژی پایدار و مقرون‌به‌صرفه در مناطقی ایفا کنند که عرضه انرژی ناکافی، غیرقابل اعتماد یا پرهزینه است.** ماهیت توزیع‌شده این سامانه‌ها امکان بهره‌گیری از منابع محلی در دسترس و ارائه خدمات انرژی متناسب با نیازهای متنوع از برق، گرمایش و سرمایش تا حمل‌ونقل را در سراسر زنجیره‌های ارزش کشاورزی–غذایی فراهم می‌کند. این رویکرد نه تنها بهره‌وری و درآمد کشاورزان را افزایش می‌دهد، بلکه تاب‌آوری سیستم‌های غذایی و امنیت غذایی کلی را نیز تقویت می‌کند.

## ۳–۲. ضروت کاهش وابستگی به نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، تحول سیستم‌های غذایی و ارتقای امنیت غذایی به گسترش بهره‌گیری از منابع انرژی مدرن در زنجیره‌های کشاورزی–غذایی وابسته است. با این حال، استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی برای تأمین نیازهای فزاینده انرژی در بخش‌های مختلف شامل برق، گرمایش، سرمایش و حمل‌ونقل، به دلایل متعددی نامطلوب است. نخست، قیمت مواد غذایی نسبت به تغییرات ناگهانی در عرضه و قیمت سوخت‌های فسیلی حساس و آسیب‌پذیر است. همانطور که در نمودار ۴ نیز قابل مشاهده است، شاخص قیمت مواد غذایی، همبستگی بالایی با قیمت نفت دارد و نوسانات قابل توجهی را نشان می‌دهد. این واقعیت ضرورت تنوع‌بخشی به منابع انرژی در سیستم‌های کشاورزی–غذایی را برجسته می‌سازد تا وابستگی به منابع انرژی نوسان‌پذیر از نظر قیمت و وابسته به حمل‌ونقل کاهش یابد. تنوع‌بخشی انرژی می‌تواند در بلندمدت امنیت انرژی و امنیت غذایی را به‌طور همزمان ارتقا دهد و تاب‌آوری سیستم‌های غذایی را در برابر شوک‌های اقتصادی و محیطی افزایش دهد.




**نمودار٤. روند شاخص قیمت مواد غذایی و نفت طی سال‌های ۲۰۱٤ تا ۲۰۲٤- برحسب دلار آمریکا (۲۰۱٦=۱۰۰)**

منبع: IMF (۲۰۲۵)

## ۳–۳. کاهش هزینه‌ها و تلفات در زنجیره کشاورزی–غذایی از طریق دسترسی به انرژی

در کشورهای در حال توسعه، تقریباً ۱۴ درصد از مواد غذایی قبل از رسیدن به بازار از بین می‌رود. سهم قابل توجهی از کل انرژی مصرف‌شده در زنجیره‌های کشاورزی–غذایی در این تلفات نهفته است؛ بر اساس گزارش فائو، این سهم بین ۳۰ تا ۴۰

درصد برآورد می‌شود. در این کشورها، بیشتر تلفات غذایی در مراحل برداشت و ذخیره‌سازی اولیه رخ می‌دهد. در مناطقی با سطوح بالای ناامنی غذایی، کاهش تلفات در ابتدای زنجیره تأمین احتمالاً بیشترین اثر را بر افزایش امنیت غذایی خواهد داشت. در این راستا، انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کنند. علل اصلی تلفات غذایی شامل دستکاری نادرست، حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی ناکافی و همچنین کمبود ظرفیت زنجیره سرد است .زنجیره‌های سرد پایدار و فناوری‌های سرمایشی می‌توانند به طور مؤثر در کاهش تلفات، به‌ویژه در نزدیکی مزرعه، نقش داشته باشند؛ با این حال، بهره‌برداری از این فناوری‌ها مستلزم دسترسی قابل اعتماد و مقرون‌به‌صرفه به انرژی است. در حال حاضر، زیرساخت‌های ذخیره‌سازی سرد مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر و مستقر در نزدیکی مزرعه در حال پیاده‌سازی هستند تا تلفات غذایی را کاهش دهند.

بر خلاف کشورهای در حال توسعه، در کشورهای پردرآمد، هدررفت غذا اهمیت بیشتری نسبت به تلفات غذا دارد. این تفاوت به این دلیل است که در این کشورها، بخش عمده غذا به بازار می‌رسد، اما مقدار قابل توجهی از آن در مراحل خرده‌فروشی، آماده‌سازی، پخت و مصرف به هدر می‌رود. بنابراین مشکل اصلی در این کشورها، مدیریت مصرف و کاهش دورریز در انتهای زنجیره تأمین است، نه کاهش تلفات در مراحل اولیه تولید.

متأسفانه، بسیاری از کشورهای پردرآمد برای پاسخ به تقاضای رو به رشد غذا، اقدام به افزایش تولید می‌کنند، در حالی که تلفات و هدررفت غذا کاهش نمی‌یابد. این رویکرد منجر به فشار مضاعف بر محیط زیست، منابع طبیعی محدود و اکوسیستم‌ها می‌شود و نشان می‌دهد که تنها افزایش تولید کافی نیست و کاهش ضایعات در سراسر زنجیره تأمین غذایی ضروری است.

## ۳–۴. کاهش اثرات زیست‌محیطی انرژی مصرفی در سیستم‌های کشاورزی و غذایی

بخش غذا یکی از منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای است و همزمان به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارد. همانطور که پیشتر اشاره شد، فعالیت‌های مرتبط با انرژی در سیستم‌های کشاورزی و غذایی حدود یک‌سوم از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای این بخش را تشکیل می‌دهند. راهبردهای کاهش انتشار نیازمند بهره‌وری انرژی و حذف کربن در تمام بخش‌های زنجیره ارزش غذایی است. در کشورهای توسعه‌یافته، فرصت‌های قابل‌توجهی برای بهبود بهره‌وری انرژی در فعالیت‌های تولیدی وجود دارد، در حالی که در کشورهای در حال توسعه، تمرکز باید بر مصرف انرژی پس از برداشت باشد.

علاوه بر افزایش بهره‌وری انرژی، گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر کم‌کربن می‌تواند همزمان از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حمایت کرده و نیازهای انرژی در تمام مراحل زنجیره ارزش کشاورزی–غذایی از تولید اولیه، فرآوری، ذخیره‌سازی و توزیع گرفته تا خرده‌فروشی و پخت‌وپز را تأمین کند. این رویکرد به طور فزاینده‌ای در برنامه‌های ملی کاهش انتشار (NDCs)[5] که تحت توافق‌نامه پاریس ارائه شده‌اند، مورد تأکید قرار گرفته است. علاوه بر مزیت‌های زیست‌محیطی، ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های کشاورزی و غذایی می‌تواند سازگاری با تغییرات اقلیمی را بهبود بخشد و تاب‌آوری سیستم‌ها در برابر رویدادهای شدید آب‌وهوایی و کمبود منابع ناشی از تغییرات اقلیمی را تقویت کند.

[5] Nationally Determined Contributions

# ۴. نقش انرژی‌های تجدیدپذیر در زنجیره‌های ارزش کشاورزی و غذایی

این بخش به تحلیل کاربست‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر زنجیره‌های ارزش کشاورزی–غذایی می‌پردازد و بر ضرورت اتخاذ یک رویکرد نظام‌مند و یکپارچه برای شناسایی شکاف‌های انرژی در هر مرحله تأکید می‌کند. چنین رویکردی امکان طراحی مداخلاتی را فراهم می‌سازد که قادر باشند حداکثر منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی را برای تمامی ذی‌نفعان ایجاد کنند. افزون بر این، کاربری‌های کلیدی انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله آبیاری مبتنی بر انرژی پاک، فناوری‌های فرآوری محصولات کشاورزی، سامانه‌های سردخانه‌ای و انواع بیوانرژی پایدار با تمرکز ویژه بر شرایط و نیازهای کشورهای در حال توسعه، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

## ۴–۱. تقویت زنجیره‌های کشاورزی و غذایی با انرژی‌های تجدیدپذیر

زنجیره‌های ارزش کشاورزی–غذایی مجموعه‌ای به‌هم‌پیوسته از فعالیت‌ها را در بر می‌گیرند که تولید، تجمیع، فرآوری، توزیع، خرده‌فروشی و مصرف را به یکدیگر متصل می‌کند. این زنجیره‌ها از تنوع ساختاری بالایی برخوردارند و در بسیاری از موارد، بسیار پیچیده‌اند؛ به‌گونه‌ای که بازیگران متعدد و تعاملات گسترده‌ای میان محصولات و فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی، دامپروری، جنگلداری، شیلات و آبزی‌پروری در آن‌ها شکل می‌گیرد. زنجیره‌های ارزش غذایی غالباً ساختاری خطی دارند و از مجموعه‌ای از بنگاه‌ها و واحدهای کسب‌وکار تشکیل می‌شوند که از طریق جریان کالا و خدمات، تبادل اطلاعات و پیگیری منافع مشترک، با یکدیگر در تعامل نزدیک قرار می‌گیرند.

زنجیره‌های غذایی پایدار به این صورت تعریف می‌شوند: مجموعه‌ای از مزارع، بنگاه‌ها و فعالیت‌های هماهنگ که به‌طور مرحله‌به‌مرحله ارزش افزوده ایجاد می‌کنند؛ این مجموعه مواد خام کشاورزی را تولید کرده، آن‌ها را به محصولات غذایی مشخص تبدیل می‌کند، برای مصرف‌کنندگان نهایی به فروش می‌رساند و در نهایت پسماند آن را دفع می‌کند. این فرایند باید در تمام بخش‌ها سودآور باشد، برای جامعه منفعت ایجاد کند و بدون تخریب دائمی منابع طبیعی ادامه یابد.

به‌کارگیری رویکرد «زنجیره ارزش» برای بررسی نیازهای انرژی چند مزیت مهم دارد. نخست، این رویکرد کمک می‌کند کمبودهای انرژی در هر مرحله شناسایی شود تا بتوان مداخله‌هایی طراحی کرد که کل سیستم را پوشش دهد و بیشترین ارزش و منفعت را ایجاد کند. دوم، این رویکرد به ما امکان می‌دهد نقش و انگیزه بازیگران مختلف زنجیره از تولیدکننده تا خرده‌فروش را در نظر بگیریم و تشخیص دهیم کجا زمینه برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم‌تر است. برای نمونه، در زنجیره ارزش شیر، استفاده از سامانه‌های سرمایش و پمپاژ آب مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر می‌تواند سود مستقیمی برای دامداران ایجاد کند و همچنین برای فرآوری‌کنندگان، حمل‌ونقل و خرده‌فروشان از طریق کاهش تلفات و بهبود کیفیت مفید باشد.

سوم، ترسیم زنجیره ارزش امکان ردیابی جریان محصول، سرمایه و اطلاعات را فراهم می‌کند و مشخص می‌سازد در کدام نقاط باید به چالش‌های غیرانرژی مانند نبود تأمین مالی مناسب یا کمبود آگاهی و مهارت رسیدگی شود.

## ۴–۲. سیستم‌های یکپارچه غذا–انرژی

در حوزه بیوانرژی، یکپارچگی غذا و انرژی از دو مسیر اصلی محقق می‌شود:

۱. افزایش بهره‌وری زمین از طریق سیستم‌های کشاورزی که به‌طور هم‌زمان محصولات غذایی و انرژی تولید می‌کنند.برای مثال، سیستم‌های کشاورزی—جنگلی که در آن درختان به‌عنوان منبع بیوانرژی به‌کار می‌روند.
۲. بهینه‌سازی استفاده از زیست‌توده با بهره‌گیری از محصولات جانبی یا ضایعات حاصل از تولید غذا و انرژی به‌عنوان ورودی برای تولید محصولات دیگر مانند تولید بیوگاز از کود دامی.

نوع سوم سیستم‌های یکپارچه غذا—انرژی مبتنی بر بیوانرژی نبوده و به آگری‌ولتائیک (Agri-PV) یعنی ترکیب کشاورزی و تولید برق خورشیدی، اختصاص دارد. فناوری‌های خورشیدی فرصت‌های ارزشمندی برای کاربری چندمنظوره زمین ایجاد می‌کنند. به‌طور جهانی، تاکنون بیش از ۲.۸ گیگاوات ظرفیت آگری‌فتولتائیک نصب شده است.
با وجود مزایای قابل توجه سیستم‌های آگری‌ولتائیک، ارزیابی جامع هزینه—فایده این فناوری همچنان محدود است و نیازمند بررسی‌های بیشتر در مقیاس‌های مختلف بهره‌برداری است. توسعه و گسترش این سیستم‌ها با چالش‌هایی نظیر هزینه‌های بالای نصب سازه‌های مرتفع، نیاز به نگهداری تخصصی و نیز ضرورت وجود چارچوب‌های سیاستی حمایتی کارآمد مواجه است.
در هند، برنامه KUSUM با هدف ترویج نصب سامانه‌های آگری‌ولتائیک در مقیاس ۵۰۰ کیلووات تا ۲ مگاوات طراحی شده است تا امکان تولید هم‌زمان انرژی خورشیدی و محصولات کشاورزی فراهم شود (سازمان رسمی اطلاع‌رسانی دولت هند[۶]، ۲۰۲۱). با این حال، برای تسریع پذیرش و گسترش این فناوری، اجرای مجموعه‌ای از سیاست‌های مکمل ضروری است؛ از جمله حمایت از پروژه‌های پایلوت و آزمایشی، اصلاح و بهبود نظام طبقه‌بندی کاربری زمین، ارتقای استانداردهای فنی و کیفیت تجهیزات و ایجاد مشوق‌های مالی متناسب با ساختار هزینه و ویژگی‌های عملیاتی سیستم‌های آگری‌ولتائیک.

### ۴-۳. افزایش بهره‌وری کشاورزی

تکنولوژی‌هایی مانند سیستم‌های آبیاری برقی می‌توانند عملکرد محصولات کشاورزی را با تأمین مطمئن آب افزایش دهند، که در نهایت به امنیت غذایی کمک کرده و سطح گرسنگی را کاهش می‌دهد (برنی و همکاران[۷]، ۲۰۱۰).

### ۴-۴. بهبود ذخیره و نگهداری غذا

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند زیرساخت‌های سردخانه‌ای و انبارهای یخچالی را تامین کند و به کاهش هدررفت مواد غذایی پس از برداشت کمک کند. به‌کارگیری سیستم‌های ذخیره‌سازی سرد مبتنی بر انرژی خورشیدی، نه تنها عمر مفید محصولات را افزایش می‌دهد، بلکه کیفیت و در دسترس بودن آن‌ها را نیز تضمین می‌کند و به این ترتیب اثرات اقتصادی و غذایی حاصل از هدررفت مواد غذایی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد (آفوگنون و همکاران[۸]، ۲۰۱۵)

### ۴-۵. حمایت از فرآوری غذا و ارزش افزوده

انرژی تجدیدپذیر در انجام فعالیت‌های فرآوری غذا مانند آسیاب کردن، خشک کردن و بسته‌بندی نقش دارد، که باعث افزایش ارزش محصولات و جذابیت آن‌ها در بازار می‌شود. این امر می‌تواند تنوع غذایی را افزایش دهد و دسترسی به غذاهای فرآوری‌شده و غنی‌شده را آسان‌تر کند (بلا و حسین[۹]، ۲۰۱۰).

---
6 Press Information Bureau
7 Burney et al
8 Affognon et al
9 Bala and Hossain

### ۴-۶. توانمندسازی اقتصادی

با فراهم شدن دسترسی به منابع انرژی، فعالیت‌های اقتصادی گسترش یافته و فرصت‌های شغلی و درآمد خانوار افزایش می‌یابد. افزایش درآمد خانوار به خانواده‌ها امکان دسترسی به انواع غذاها را می‌دهد و در نهایت وضعیت تغذیه‌ای آن‌ها را بهبود می‌بخشد (ایجیگا و همکاران[10]، ۲۰۲۴)

### ۴-۷. سلامت و بهداشت

انرژی تجدیدپذیر می‌تواند تأمین انرژی مراکز بهداشتی را تضمین کند و خدمات حیاتی مانند واکسیناسیون و مراقبت‌های مادران را در دسترس قرار دهد. تقویت زیرساخت‌های بهداشتی می‌تواند با مقابله با بیماری‌ها، به بهبود وضعیت تغذیه‌ای و کاهش سوءتغذیه کمک کند (هینز و همکاران[11]، ۲۰۰۹)

### ۴-۸. کاربردهای منتخب انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های غذایی و کشاورزی

کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر سیستم‌های کشاورزی و غذایی به‌طور فزاینده‌ای در حال توسعه و گسترش هستند. این بخش به تحلیل چهار نمونه برجسته می‌پردازد: پمپاژ خورشیدی برای آبیاری، سامانه‌های سردخانه‌ای، فرآوری محصولات کشاورزی و بیوانرژی پایدار، که همگی در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی در پذیرش داشته‌اند. برای هر یک از این کاربردها، وضعیت فعلی پذیرش، مدل‌های ارائه و تأمین مالی مورد استفاده برای تسریع استقرار فناوری‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، عوامل کلیدی تسهیل‌کننده رشد سریع و موفقیت در پیاده‌سازی این فناوری‌ها شناسایی و تحلیل شده‌اند.

### ۴-۸-۱. پمپاژ خورشیدی برای آبیاری

کشاورزی دیم همچنان ستون اصلی تولید جهانی غذا است. این شرایط موجب می‌شود کشاورزان، به‌ویژه بهره‌برداران خرد، کنترل محدودی بر میزان و زمان تأمین آب داشته باشند. در نبود بارش، آنان ناچار به آبیاری دستی یا استفاده از پمپ‌های دیزلی پرهزینه هستند که فشار مالی و فیزیکی قابل‌توجهی ایجاد می‌کند (انجمن جهانی صنعت برق خارج از شبکه[12]، ۲۰۱۹). تغییرات اقلیمی نیز با برهم‌زدن الگوهای بارش و افزایش فراوانی خشکسالی‌ها، ریسک‌هایی جدی برای معیشت و امنیت غذایی، به‌ویژه در مناطق کم‌توسعه، ایجاد کرده است.

در این شرایط، توسعه آبیاری، در کنار بهبود ذخیره‌سازی و مدیریت آب می‌تواند عملکرد محصولات را افزایش دهد، وابستگی به بارش‌های نامنظم را کاهش دهد و امکان کشت چنددوره‌ای را فراهم آورد. آبیاری خورشیدی در این میان فرصتی کلیدی برای تأمین پایدار و غیرمتمرکز انرژی پمپاژ آب فراهم می‌کند (انجمن انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۱۶). با این حال، توسعه آبیاری خورشیدی نیازمند اتخاذ رویکردی میان‌بخشی و هماهنگ است، زیرا خطر افت آب زیرزمینی مستقل از نوع انرژی وجود دارد. هزینه عملیاتی پایین این سامانه‌ها می‌تواند به برداشت بیش از حد آب منجر شود. به همین دلیل، ابزارهایی مانند خرید تضمینی برق مازاد به‌کار گرفته شده‌اند تا تعادل میان گسترش آبیاری و حفظ پایداری منابع آب حفظ شود (جها[13]، ۲۰۲۳). استفاده از سامانه‌های خورشیدی آبیاری از دهه ۱۹۷۰ آغاز شده است و پیشرفت‌های اخیر در کارایی و مدل‌های مالی

[10] Ijiga et al
[11] Haines et al
[12] Global Off-Grid Lighting Association (GOGLA)
[13] Jha

موجب رشد سریع پذیرش آن شده است. هند با نصب بیش از ۲۷۲ هزار سامانه تا سال ۲۰۲۰ پیشتاز جهانی است و بنگلادش نیز برنامه گسترش ده هزار سامانه تا سال ۲۰۲۷ را دنبال می‌کند. پتانسیل فنی این فناوری در خوراک‌دهی به کشاورزی خرد بسیار چشمگیر است. در جدول ۱، مزایای بهره‌گیری از سامانه‌های پمپاژ آب خورشیدی برای کشاورزان و دولت‌ها ارائه شده است.

**جدول ۱. مزایای بهره‌گیری از سامانه‌های پمپاژ آب خورشیدی برای کشاورزان و دولت‌ها**

| گروه ذینفع | مزایا |
|---|---|
| کشاورزان | • دسترسی پایدارتر به انرژی و آب آبیاری<br>• افزایش عملکرد محصولات و رشد درآمد کشاورزی<br>• کاهش نیاز به کار دستی و بهبود بهره‌وری زمانی<br>• افزایش تاب‌آوری در برابر نوسانات بارش و تغییرات اقلیمی<br>• امکان تولید محصولات با ارزش افزوده بالاتر و بهبود تنوع درآمد<br>• پیامدهای اجتماعی مثبت شامل ارتقای سلامت، آموزش و کاهش فقر |
| دولت‌ها | • کاهش مصرف برق شبکه و سوخت‌های فسیلی در بخش کشاورزی<br>• کاهش بار مالی یارانه‌ها<br>• کاهش وابستگی به واردات انرژی<br>• ایجاد شغل و توسعه کسب‌وکارهای کوچک در زنجیره ارزش آبیاری خورشیدی<br>• افزایش پایداری و قابلیت اطمینان سیستم‌های برق روستایی<br>• تقویت تولید کشاورزی و رشد اقتصادی<br>• کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیشبرد اهداف اقلیمی |

چگونگی ارائه و تأمین مالی پمپ‌های خورشیدی، عامل کلیدی در تعیین میزان دسترسی و قابلیت پذیرش این فناوری در میان گروه‌های مختلف کشاورزان( معیشتی، خرده‌پا و تجاری) به شمار می‌رود. هزینه اولیه نسبتاً بالای پمپ‌های خورشیدی در مقایسه با پمپ‌های دیزلی، یکی از موانع اصلی گسترش این فناوری است. کشاورزان معیشتی و خرده‌پا به دلیل جریان نقدی محدود و وابستگی شدید درآمد به فصل‌های زراعی، توانایی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پرهزینه را ندارند مگر آنکه سازوکارهای ویژه حمایت مالی برای آن‌ها فراهم شود. در مقابل، کشاورزان تجاری یا بزرگ‌مقیاس توان مالی بیشتری برای پذیرش سامانه‌های آبیاری خورشیدی دارند و غالباً زیرساخت‌های اختصاصی برداشت و پمپاژ آب را در اختیار دارن (فائو،۲۰۲۱). طراحی یک مدل ارائه کارآمد باید متناسب با نیازها، الگوهای آبیاری و شرایط بومی هر منطقه صورت گیرد. تنوع زیاد در اندازه مزارع و شیوه‌های آبیاری نشان می‌دهد که استفاده از یک رویکرد واحد برای همه گروه‌ها امکان‌پذیر نیست. در آسیا، آبیاری گسترده است، در حالی که کشاورزی آفریقا عمدتاً به بارش متکی است؛ بنابراین، مدل‌های ارائه متفاوتی مانند طرح‌های مبتنی بر جامعه، دولت‌محور و کشاورز–محور شکل گرفته‌اند. این تنوع، ضرورت طراحی سازوکارهای مالی و نهادی متناسب با ویژگی‌های هر بازار را برجسته می‌کند.

### ۴–۸–۲. سردخانه‌ها مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر

**سردخانه‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر نقشی حیاتی در بهبود کارایی و پایداری زنجیره‌های ارزش غذایی ایفا می‌کنند.** این سامانه‌ها با افزایش ماندگاری محصولات، کاهش تلفات پس‌ازبرداشت و حفظ کیفیت کالاهای تولیدی در بخش‌های زراعت، دامداری و شیلات، ظرفیت رقابت‌پذیری تولیدکنندگان را به‌طور چشمگیری ارتقا

می‌دهند. به‌کارگیری راهکارهای سردسازی پایدار همچنین امکان گسترش بازارهای فروش فراتر از مقیاس‌های محلی را فراهم می‌سازد و موجب افزایش درآمد در تمامی سطوح، از کشاورزان تا فرآوری‌کنندگان و خرده‌فروشان، می‌شود.

در عین حال، شکاف قابل توجهی میان کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه در میزان پیشرفت فناوری‌های سردخانه‌ای مشاهده می‌شود. در بسیاری از کشورهای کمترتوسعه‌یافته، مراحل توزیع و خرده‌فروشی همچنان به اتاق‌های ذخیره‌سازی سنتی متکی است، در حالی که کشورهای توسعه‌یافته از ظرفیت سردخانه‌های مدرن و انبارهای پیشرفته بهره می‌برند.

فناوری‌های سردخانه‌ای مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای درحال‌توسعه اهمیت روزافزونی یافته‌اند، زیرا زیرساخت‌های سردسازی در بسیاری از این کشورها به‌شدت محدود است. داده‌های موجود نشان‌دهنده شکاف قابل توجه ظرفیت سردخانه میان کشورهاست، که بخش مهمی از آن ناشی از دسترسی ناکافی به برق در مناطق روستایی است. در نتیجه، بخش زیادی از محصولات فسادپذیر بدون کنترل دمایی جابه‌جا و ذخیره می‌شوند و این امر به اتلاف حدود ۱۴ درصد از تولید جهانی غذا در مراحل پس از برداشت تا خرده‌فروشی می‌انجامد. سهم این تلفات در «اولین مایل» زنجیره ارزش، به‌ویژه در مناطق کم‌توسعه، بسیار بالا است (فائو،۲۰۲۱).

بهبود دسترسی به سیستم‌های سرمایشی می‌تواند از بخش قابل توجهی از این تلفات به‌ویژه برای میوه‌ها، سبزیجات و لبنیات جلوگیری کند. علاوه بر کاهش ضایعات، توسعه سردخانه‌ها قدرت چانه‌زنی کشاورزان را افزایش می‌دهد، زیرا امکان فروش محصول در زمان مطلوب و دریافت قیمت منصفانه‌تر را فراهم می‌کند. این بهبودها در نهایت به افزایش درآمد تولیدکنندگان و کارایی بیشتر زنجیره ارزش غذایی منجر می‌شود.

فرآیند سرمایش یکی از پرانرژی‌ترین مراحل زنجیره غذایی است و بنابراین هم یک چالش و هم یک فرصت کلیدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شود. زنجیره سرد، که شامل تجهیزات سرمایش صنعتی و خانگی است، در حال حاضر تقریباً ۵٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای کل سیستم غذایی جهانی را به خود اختصاص داده و با گسترش فعالیت‌های مرتبط، سهم آن در آینده افزایش خواهد یافت. فزایش ظرفیت ذخیره‌سازی سرد با اتکا به فناوری‌های مبتنی بر سوخت‌های فسیلی می‌تواند بار انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشدید کرده و تغییرات اقلیمی را تشدید کند. در مقابل، بهره‌گیری از سیستم‌های سرمایش کارآمد و مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر امکان گسترش ظرفیت ذخیره‌سازی سرد را به شکلی محیط‌زیست‌پسند و اقتصادی فراهم می‌آورد و دسترسی به این فناوری‌ها را به‌ویژه در مناطق روستایی بهبود می‌بخشد. این رویکرد همزمان با کاهش ضایعات غذایی و تقویت امنیت غذایی، با اهداف توسعه پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای همسو است.

با این حال، محدودیت‌های عمده‌ای همچنان وجود دارد. دسترسی محدود به منابع مالی مقرون‌به‌صرفه و پراکندگی فعالیت‌های کشاورزی، قابلیت اجرای این فناوری‌ها را در مناطق روستایی کاهش می‌دهد. خوشه‌های کشاورزی و نهادهای تجمیع‌کننده‌ها (مانند تعاونی‌ها) می‌توانند تقاضای کافی برای راه‌اندازی سیستم‌های ذخیره‌سازی غیرمتمرکز ایجاد کنند، اما مدل‌های ارائه خدمات و سرمایه بلندمدت برای پوشش مقیاس سرمایه‌گذاری و دوره بازگشت طولانی ضروری هستند. علاوه بر این، سیاست‌ها و مشوق‌های مالی فعلی بیشتر به مصرف خانگی یا سطح شبکه انرژی خورشیدی محدود شده و حمایت هدفمند کمی برای کاربردهای تولیدی در زنجیره غذایی وجود دارد. بنابراین، پشتیبانی سیاستی هدفمند و طراحی مدل‌های مالی و عملیاتی مناسب برای سیستم‌های ذخیره‌سازی و فرآوری مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، برای تسریع پذیرش این راهکارهای کم‌کربن و مؤثر در کاهش تلفات غذایی ضروری است (ایدوکو و همکاران[14]، ۲۰۲۴)

[14] Idoko et al

### ۴-۸-۳. تجهیزات فرآوری برقی و حرارتی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر

پردازش محصولات کشاورزی یکی از مراحل کلیدی در زنجیره ارزش غذایی است که تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت سیستم‌های غذایی برای ایجاد ارزش افزوده، کاهش تلفات پس از برداشت و افزایش منافع اقتصادی و اجتماعی جوامع کشاورزی دارد. بهبود فرآوری محصولات، محور اصلی تحول سیستم‌های غذایی است که در دستور کار دولت‌ها و سازمان‌های اهداکننده کمک‌های بین‌المللی قرار دارد (بانک جهانی،۲۰۱۹) این تحول نیازمند انرژی است. نیازهای انرژی در فرآوری محصولات کشاورزی به نوع محصول و کسب‌وکار، عمق زنجیره ارزش و دسترسی به بازار بستگی دارد. با این حال، برای کشاورزان خرد و حاشیه‌ای، انجام برخی فرآوری‌ها ضروری است تا ارزش محصولاتشان تحقق یابد.

تجهیزات فرآوری مبتنی بر سوخت فسیلی به طور سنتی هزینه سرمایه‌ای پایینی نسبت به تجهیزات برقی داشته و شبکه‌های توزیع و خدمات نگهداری آن‌ها تثبیت شده است. با این حال، هزینه‌های عملیاتی آن‌ها می‌تواند بالا و ناپایدار باشد، چرا که نوسانات قیمت سوخت اغلب به کشاورزان منتقل می‌شود. همچنین قابلیت اطمینان این سیستم‌ها پایین و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها قابل توجه است.

تجهیزات فرآوری برقی و حرارتی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، چه به صورت سیستم‌های مستقل و چه شبکه‌های کوچک، جایگزینی اقتصادی و پایدار ارائه می‌کنند. این فناوری‌ها علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، امکان توسعه زیرساخت‌های پردازش غیرمتمرکز و کاهش فعالیت‌های پرکار دستی را فراهم می‌آورند.

انرژی زمین‌گرمایی نیز به‌طور فزاینده‌ای برای تأمین نیازهای حرارتی و برقی در فرآوری محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مثال، میدان زمین‌گرمایی موکای در نیوزیلند، بخار دو چاه خود را به یک کارخانه لبنیاتی می‌رساند تا بیش از ۲۵۰ میلیون لیتر شیر سالانه فرآوری شود. ایسلند نیز از منابع زمین‌گرمایی فراوان خود برای پرورش و خشک‌کردن ماهی بهره برده و به یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان جهانی ماهی خشک تبدیل شده است.

مدل‌های ارائه و تأمین مالی مرتبط با استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر برای پشتیبانی از فعالیت‌های فرآوری متنوع و در حال تحول هستند. یکی از عوامل تعیین‌کننده، ساختار زنجیره‌های ارزش است، از جمله مقیاس، پراکندگی، سطح تجمیع و زیرساخت‌های لجستیکی. بسیاری از جوامع روستایی خارج از شبکه برق که دسترسی به خدمات برق قابل اعتماد ندارند، مجبورند محصولات خود را به فواصل طولانی برای رسیدن به سایت‌های فرآوری متمرکز و غالباً مبتنی بر سوخت فسیلی منتقل کنند که این امر هزینه‌های زیادی بر کشاورزان تحمیل می‌کند. در پاسخ، فرآوری‌های مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر برای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و امکان ارزش‌افزایی در سطح مزرعه یا جامعه در حال استقرار است. این اقدامات معمولاً از طریق برنامه‌هایی که توسط سازمان‌های توسعه‌ای با همکاری بخش خصوصی و سایر نهادها از جمله تجمیع‌کنندگان محصولات کشاورزی اجرا می‌شوند، تسهیل می‌شوند. این مشارکت‌ها نقش مهمی در طراحی مدل‌های جدید ارائه و تأمین مالی و همچنین بهبود فناوری ایفا می‌کنند.

از موانع مهم عدم پذیرش این فناوری، نبود منابع مالی برای سرمایه اولیه تجهیزات فرآوری مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر است. با وجود مزایای هزینه عملیاتی پایین‌تر و فرصت‌های ارزش‌افزوده، پذیرش کند است. نوآوری‌هایی مانند مدل‌های

پرداخت به‌ازای مصرف، اجاره و وام، امکان تأمین مالی تجهیزات را برای کاربران فراهم می‌کنند. توسعه این فناوری‌ها نیازمند باز کردن مسیرهای تأمین مالی محلی از طریق اعتبارات بلندمدت، یارانه‌ها و برنامه‌های آموزشی و توانمندسازی است.

## ۵. نمونه‌های برجسته پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با اثرگذاری بر امنیت غذایی

تجارب جهانی نشان می‌دهد که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به طور مستقیم بهره‌وری کشاورزی و امنیت غذایی را ارتقا دهد. نمونه‌های شاخص عبارت‌اند از:

- برنامه KUSUM هند: این برنامه با نصب گسترده پمپ‌های خورشیدی در مناطق کشاورزی، وابستگی کشاورزان به سوخت دیزل و برق شبکه را برای آبیاری کاهش داده است. برآورد می‌شود این طرح سالانه بیش از ۶ میلیارد دلار صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی ایجاد کرده و کارایی تولید محصولات کشاورزی را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد (وزارت انرژی‌های نو و تجدیدپذیر هند[۱۵]، ۲۰۲۵).
- پروژه M-KOPA Solarکنیا: این پروژه بیش از ۷۵۰,۰۰۰ خانوار را به سیستم‌های خورشیدی تجهیز کرده و امکان استفاده از سردخانه‌های خورشیدی برای نگهداری شیر و محصولات دریایی را فراهم ساخته است. نتایج این اقدام شامل کاهش ضایعات پس از برداشت و افزایش درآمد کشاورزان و ماهیگیران بوده است (گادوینز و همکاران[۱۶]، ۲۰۲۴).
- سیستم‌های آبیاری خورشیدی اتیوپی: استفاده از پمپ‌های خورشیدی در آبیاری موجب افزایش تا ۳۰۰ درصد تولید محصولات کشاورزی شده و نشان‌دهنده تأثیر مستقیم انرژی‌های تجدیدپذیر بر ارتقای بهره‌وری کشاورزی است (نگرا و همکاران[۱۷]، ۲۰۲۵).
- برنامه بیوگاز برای دامپروری ویتنام: برنامه بیوگاز ویتنام برای بخش دامپروری بر ایجاد واحدهای بیوگاز با هدف تبدیل ضایعات دامی به انرژی تمرکز دارد. این سیستم‌ها علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز برای پخت‌وپز و گرمایش، منجر به تولید «کود آلی» با کیفیت بالا نیز می‌شوند. به‌کارگیری این فناوری نه‌تنها وابستگی خانوارهای روستایی به سوخت‌های فسیلی را کاهش می‌دهد، بلکه نقش مهمی در بهبود باروری خاک، کاهش هزینه‌های تولید و ارتقای پایداری کشاورزی دارد (ثو و همکاران[۱۸]، ۲۰۱۲).
- ابتکار سیستم‌های خورشیدی خانگی در بنگلادش: این طرح یکی از موفق‌ترین برنامه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای درحال‌توسعه به‌شمار می‌آید. هدف اصلی این برنامه، تأمین انرژی پایدار برای خانوارهای واقع در مناطق روستایی و دورافتاده است که دسترسی محدودی به شبکه برق سراسری دارند. این سیستم‌ها با فراهم کردن برق قابل‌اعتماد برای روشنایی، شارژ وسایل الکترونیکی و بهره‌گیری از پمپ‌های آبیاری خورشیدی، نه‌تنها کیفیت زندگی خانوارها را ارتقا می‌بخشند، بلکه به بهبود بهره‌وری کشاورزی و مدیریت منابع آب نیز کمک می‌کنند. اجرای

[15] Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), Government of India
[16] Godwins et al
[17] Negera et al
[18] Thu et al

گسترده این طرح، نقش چشمگیری در افزایش تاب‌آوری اقتصادی و تقویت امنیت غذایی در جوامع روستایی بنگلادش داشته است (شرکت توسعه زیرساخت محدود بنگلادش[19]، ۲۰۱۴).

# ۶. چالش‌های کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های غذایی–کشاورزی

## ۱.چالش‌های سیاست‌گذاری و هماهنگی بین‌بخشی

- **تفکیک سیاست‌های انرژی و کشاورزی:** نبود یک استراتژی هماهنگ و یکپارچه، بهره‌برداری از هم‌افزایی‌های انرژی و کشاورزی را به ویژه در کشورهای در حال توسعه با زنجیره‌های غذایی کمتر توسعه‌یافته.محدود می‌کند.
- **پیچیدگی ذینفعان چندبخشی:** برنامه‌های انرژی تجدیدپذیر مانند بیوگاز با چندین بخش (کشاورزی، دامپروری، انرژی، محیط زیست و توسعه روستایی) همپوشانی دارند و نیازمند هماهنگی مؤثر هستند.
- **نقش دولت‌ها:** حمایت از استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق تأمین مالی عمومی، سرمایه‌گذاری در اکوسیستم نوآوری، تعیین استانداردها، ارتقای دانش و مهارت‌ها و ایجاد زیرساخت‌های بازاری ضروری است.
- **مدیریت منابع آب و زمین:** سیاست‌های انرژی بدون در نظر گرفتن پیوند آب–انرژی–غذا می‌توانند منجر به استفاده ناپایدار از منابع شوند؛ برای مثال، خطر برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی در سیستم‌های آبیاری خورشیدی.

## ۲. چالش‌های فناوری و رویکرد زنجیره ارزش

- **تمرکز صرف بر فناوری:** تا کنون، رویکرد به انرژی‌های تجدیدپذیر عمدتاً فناوری‌محور بوده و توجه کافی به زنجیره ارزش و بهره‌مندی اجتماعی–اقتصادی کشاورزان نشده است.
- **پیچیدگی استقرار زنجیره‌ای:** بهره‌گیری کامل از مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر نیازمند ارتباطات بازاری رو به عقب و جلو و هماهنگی با سایر بخش‌های زنجیره ارزش است.
- **اقتصاد زیستی مدور و کاهش انتشار کربن:** استفاده از باقی‌مانده‌های کشاورزی برای تولید انرژی هنوز به شکل گسترده مورد توجه قرار نگرفته است.

## ۳. چالش‌های داده و اطلاعات

- **کمبود داده‌های جریان انرژی و هزینه‌ها:** اطلاعات محلی در مورد مصرف انرژی، هزینه‌های واحدهای کشاورزی و غیرکشاورزی و امکان‌سنجی فناوری‌های تجدیدپذیر محدود است.
- **نیاز به داده‌های کاربردی:** برای مثال، آبیاری خورشیدی نیازمند اطلاعات دقیق در مورد میزان مصرف آب، شیوه‌های آبیاری و دسترسی به منابع آب زیرزمینی است. در فرآوری محصولات کشاورزی، نقشه‌برداری از نیازهای فرآوری، زیرساخت‌ها و مصرف انرژی اهمیت دارد.

[19] Infrastructure Development Company Limited (IDCOL)

- **پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی:** ارزیابی امکان‌پذیری استفاده از این منابع به داده‌های زمین‌شناسی با کیفیت و شرایط سیالات نیاز دارد.

### ٤. چالش‌های مالی و سرمایه‌گذاری

- **نبود دسترسی به تأمین مالی مناسب:** کشاورزان خرد و واحدهای تولیدی کوچک و متوسط به دلیل ماهیت فصلی درآمد و سرمایه‌بر بودن فناوری‌های تجدیدپذیر، امکان پرداخت هزینه اولیه را ندارند.
- **نیاز به مشوق‌های مالی هدفمند:** ارائه یارانه و مشوق‌ها ضروری است تا منافع اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی بلندمدت لحاظ شود.
- **مدل‌های نوآورانه تأمین مالی:** استفاده از مدل‌های پرداخت تدریجی، اجاره و وام می‌تواند شکاف مالی را کاهش دهد، اما دسترسی به وام بلندمدت و منابع سرمایه‌ای برای توزیع‌کنندگان و تأمین‌کنندگان هنوز محدود است.
- **طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه:** تجهیزات ذخیره‌سازی سرد و فرآوری محصولات کشاورزی ممکن است تا ۱۰ سال دوره بازگشت سرمایه داشته باشند، که برای کشورهای در حال توسعه یک مانع است.

### ٥. چالش‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی

- **آگاهی کم کاربران نهایی:** کشاورزان و سایر ذینفعان از مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی انرژی‌های تجدیدپذیر و ارتباط آن با امنیت غذایی آگاهی کافی ندارند.
- **کمبود ظرفیت فنی و مدیریتی:** بهره‌برداری و نگهداری از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر به ویژه در صورت واردات تجهیزات بدون راهنمای محلی، دشوار است.

### ٦. چالش‌های جنسیتی و اجتماعی

- **موانع دسترسی زنان:** زنان ۶۰ تا ۸۰ درصد غذای کشورهای در حال توسعه را تولید می‌کنند، اما دسترسی کمتری به منابع آب، زمین، اعتبار و ورودی‌های بهره‌وری دارند.
- **نیاز به ادغام بعد جنسیتی و جوانان:** سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی باید فرصت‌های رشد کسب‌وکارهای محلی، اشتغال و ظرفیت‌سازی برای جوانان و زنان را مدنظر قرار دهد.

## ۷. بررسی ظرفیت‌های ایران در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در راستای امنیت غذایی

ایران با مجموعه‌ای از چالش‌های بنیادین و ساختاری در حوزه تأمین انرژی مواجه است. رشد مداوم مصرف انرژی ــ ناشی از افزایش جمعیت، توسعه صنعتی و استمرار الگوهای مصرف غیربهینه ــ یکی از عوامل اصلی شکل‌گیری ناترازی انرژی در کشور است. در کنار این مسئله، فرسودگی و ناکارآمدی زیرساخت‌های انتقال و توزیع انرژی در بسیاری از مناطق موجب اتلاف بخش قابل توجهی از انرژی تولیدی شده و در نتیجه، هزینه‌های اقتصادی افزایش یافته و کارآمدی کل نظام انرژی کاهش می‌یابد.

وابستگی شدید به منابع فسیلی برای تولید برق نیز پیامدهای زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه داشته است؛ از جمله افزایش آلودگی هوا، تشدید روند تغییرات اقلیمی و فشار مضاعف بر منابع آبی. این پیامدها نه‌تنها پایداری محیط‌زیست را تهدید می‌کنند، بلکه آثار میان‌بخشی قابل‌توجهی بر امنیت غذایی کشور نیز برجای می‌گذارند. ناترازی انرژی، از طریق ایجاد اختلال در فرآیندهای تولید، آبیاری، فرآوری و سردسازی محصولات کشاورزی و همچنین افزایش هزینه‌های عملیاتی، به کاهش بهره‌وری بخش کشاورزی و کاهش ظرفیت تولید پایدار غذا منجر می‌شود.

مجموعه این چالش‌ها نشان می‌دهد که ادامه مسیر کنونی در حوزه انرژی نمی‌تواند پایداری بلندمدت اقتصادی، زیست‌محیطی و غذایی کشور را تضمین کند. در چنین شرایطی، حرکت به‌سوی توسعه انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر، نه یک انتخاب، بلکه ضرورتی راهبردی برای تقویت تاب‌آوری نظام انرژی و ارتقای امنیت غذایی ایران به شمار می‌آید.

ایران به‌واسطه موقعیت جغرافیایی منحصربه‌فرد خود از ظرفیت‌های چشمگیری برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برخوردار است. میزان تابش خورشیدی بالا، پهنه‌های گسترده‌ای با شرایط مطلوب برای بهره‌برداری از انرژی بادی و زمین‌گرمایی... مجموعه‌ای از قابلیت‌هایی است که مزیت‌های رقابتی کم‌نظیری ایجاد کرده و زمینه‌ای راهبردی برای سرمایه‌گذاری گسترده و هدفمند در حوزه انرژی‌های پاک فراهم می‌سازد. در جدول ۲ برخی از شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در مرداد ۱۴۰۴ ارائه شده است.

جدول۲. شاخص‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک در مرداد ۱۴۰۴

| عنوان | واحد | میزان |
|---|---|---|
| برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر و پاک | میلیون کیلووات ساعت | ۳۷۹ |
| عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای | هزارتن | ۲۰۴ |
| عدم مصرف سوخت فسیلی | معادل میلیون متر مکعب گاز طبیعی | ۱۰۲ |
| عدم مصرف آب | میلیون لیتر | ۸۳ |
| ظرفیت نصب شده انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک | مگاوات | ۱۹۶۶.۶۵ |

بر اساس آخرین اطلاعات منتشر شده وزارت نیرو میزان برق تولیدی از کنابع تجدیدپذیر و پاک در مرداد سال ۱۴۰۴ نسبت به مدت مشابه در سال قبل ۳۱.۵ درصد افزایش داشته است. اجتناب از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز در همین بازه زمانی نسبت به مدت مشابه سال ۲۶.۷ درصد افزایش داشته است. میزان عدم مصرف سوخت فسیلی در مرداد ۱۴۰۴ نسبت به مدت مشابه در سال قبل ۳۰.۷ درصد افزایش داشته است. میزان عدم مصرف آب نیز نسبت به مدت مشابه در سال قبل ۳۱.۷ درصد افزایش داشته است. این شاخص‌ها بیانگر تأثیر قابل توجه توسعه انرژی‌های پاک در کاهش فشار زیست‌محیطی، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، و ارتقای بهره‌وری منابع حیاتی از جمله آب است.

این روند صعودی نه‌تنها به بهبود پایداری زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر امنیت غذایی کشور نیز اثرگذار است. کاهش مصرف آب و سوخت‌های فسیلی، افزایش پایداری تأمین برق برای بخش کشاورزی، و ارتقای بهره‌وری انرژی در زنجیره تأمین غذا، از جمله پیامدهای مثبت این توسعه هستند. از این‌رو، تقویت زیرساخت‌های تجدیدپذیر و افزایش سهم آنها در سبد انرژی کشور می‌تواند یکی از مهم‌ترین راهبردهای ایران برای مدیریت چالش‌های آینده و دستیابی به امنیت غذایی پایدار باشد.

از طرفی با توجه به وابستگی بالای بخش کشاورزی ایران به نفت خام، هزینه تولید مواد غذایی تا حد زیادی تحت تأثیر نوسانات قیمت نفت قرار دارد. از این رو، هرگونه شوک قیمتی در بازار جهانی نفت می‌تواند به افزایش تورم مواد غذایی منجر

شده و امنیت غذایی را به یک چالش جدی برای اقتصادهای در حال توسعه تبدیل کند. به همین دلیل، اهداف مرتبط با افزایش عرضه جهانی غذا از طریق ارتقای بهره‌وری محصولات کشاورزی، دام و طیور و منابع دریایی ممکن است تا حدی به دلیل دسترسی محدود به سوخت‌های فسیلی ارزان در آینده مختل شود. در مقابل، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند بخش کشاورزی را در برابر اثرات منفی نوسانات قیمتی انرژی محافظت کرده و پایداری تولید غذایی را تقویت نماید.
اما با وجود ظرفیت‌های قابل توجه ایران در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، توسعه این بخش با موانع متعدد نهادی، اقتصادی و ساختاری مواجه است. **فقدان سیاست‌های حمایتی و تشویقی مؤثر، نبود سازوکارهای پایدار برای جذب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی و ضعف زیرساخت‌های تولید و انتقال، مهم‌ترین چالش‌های این حوزه به شمار می‌آیند.** نوسانات اقتصادی، ریسک بالای سرمایه‌گذاری و عدم شفافیت مقررات نیز فضای کسب‌وکار انرژی‌های تجدیدپذیر را با عدم قطعیت روبه‌رو کرده و روند توسعه آن را کند ساخته است. علاوه بر این، آگاهی محدود جامعه و بخشی از صنایع نسبت به مزایا و آثار بلندمدت انرژی‌های پاک، مانعی نرم اما مؤثر در پذیرش و گسترش این فناوری‌ها محسوب می‌شود.
برای غلبه بر این چالش‌ها، اتخاذ رویکردی جامع و مبتنی بر سیاست‌گذاری پایدار ضروری است. تدوین بسته‌های حمایتی شامل معافیت‌های مالیاتی، تسهیلات کم‌بهره و تضمین خرید برق تجدیدپذیر می‌تواند زمینه جذب سرمایه‌گذاری و تسریع توسعه زیرساخت‌ها را فراهم سازد. نوسازی شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین نیز برای ارتقای بهره‌وری و کاهش تلفات انرژی ضروری است. در نهایت، ارتقای آگاهی عمومی و فرهنگ‌سازی درباره مزایای اقتصادی، زیست‌محیطی و بلندمدت انرژی‌های تجدیدپذیر، پیش‌شرط افزایش مشارکت اجتماعی و پذیرش این نوع انرژی‌ها به شمار می‌رود.
یکی دیگر از راهبردهای مؤثر در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، گسترش همکاری‌های بین‌المللی است. ایران می‌تواند با جذب سرمایه‌گذاری خارجی و بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته سایر کشورها، روند توسعه این منابع را تسریع کند. همکاری با شرکت‌ها و مؤسسات بین‌المللی و استفاده از تجارب موفق جهانی می‌تواند به ارتقای فناوری‌های موجود، بهبود کارایی پروژه‌ها و اجرای طرح‌های بزرگ‌مقیاس در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر کمک شایانی نماید.
علاوه بر آن، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر از اهمیت بالایی برخوردار است. تولید تجهیزات و فناوری‌های پیشرفته در داخل کشور نه‌تنها وابستگی به واردات را کاهش می‌دهد، بلکه موجب ایجاد فرصت‌های شغلی، ارتقای توانمندی‌های صنعتی و تقویت زنجیره تأمین داخلی می‌شود. تقویت پژوهش‌های دانشگاهی و حمایت از نوآوری‌های داخلی می‌تواند سهم ایران در بازار انرژی‌های پاک را افزایش دهد و توان رقابتی کشور را در سطح منطقه‌ای ارتقا بخشد.
سرمایه‌گذاری هوشمندانه همراه با سیاست‌گذاری‌های حمایتی، انرژی‌های تجدیدپذیر را به راهکاری مؤثر برای مقابله با ناترازی انرژی و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی تبدیل می‌کند. این اقدامات نه تنها به توسعه پایدار انرژی کمک می‌کنند، بلکه زمینه بهبود کیفیت محیط‌زیست، ایجاد فرصت‌های اقتصادی و معرفی ایران به‌عنوان یکی از پیشگامان منطقه در این حوزه را فراهم می‌آورند. دستیابی به این اهداف مستلزم همکاری هم‌زمان دولت، بخش خصوصی و جامعه علمی است تا فرصت‌های پیش‌رو برای تأمین پایدار انرژی به‌طور مؤثر مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

## ۶. نتیجه‌گیری و توصیه‌هایی برای تصمیم‌گیرندگان در گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های غذایی–کشاورزی

گسترش کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در زنجیره‌های غذایی–کشاورزی نیازمند همکاری هماهنگ میان دولت، بخش خصوصی، مؤسسات مالی، دانشگاه‌ها و سازمان‌های بین‌المللی و غیردولتی است. یک رویکرد جامع سیستم‌محور که فراتر از بخش‌های جداگانه انرژی و غذا باشد، ضروری است تا راه‌حل‌ها پایدار، اثرگذار و منطبق با اهداف توسعه پایدار و توافق پاریس درباره تغییرات اقلیمی باشند.

### ۱. جمع‌آوری داده‌های دقیق برای هدایت سرمایه‌گذاری‌ها

کمبود داده‌های مربوط به جریان‌های انرژی در طول زنجیره‌های ارزش، مانع اصلی طراحی و پیاده‌سازی راهکارهای مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر است. داده‌های دقیق می‌توانند امکان تحلیل هزینه–فایده، طراحی فناوری‌های مناسب، درک مدل‌های کسب‌وکار و آگاهی از مزایای بالقوه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را فراهم کنند، از جمله افزایش درآمد، ایجاد فرصت‌های شغلی، بهبود بهره‌وری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. به‌عنوان نمونه، ارزیابی استفاده از انرژی ژئوترمال در فرآوری محصولات کشاورزی نیازمند داده‌های زمین‌شناسی دقیق در خصوص منابع و شرایط سیالات است. جمع‌آوری داده‌های اولیه در سطح ملی و منطقه‌ای، به‌ویژه در زنجیره‌های ارزش حیاتی برای امنیت غذایی، می‌تواند شکاف‌های انرژی، ظرفیت واحدهای اقتصادی و جریان‌های موجود را شناسایی کرده و زمینه سیاستگذاری هدفمند و هماهنگی بین‌بخشی را فراهم نماید.

### ۲. بهره‌گیری از ابزارهای نقشه‌برداری مکانی

ابزارهای مکانی یا Geospatial نقش کلیدی در شناسایی مناطق با پتانسیل بالا برای پذیرش انرژی تجدیدپذیر در کاربردهای کشاورزی و غذایی دارند. این ابزارها امکان ادغام داده‌های اقتصادی، دسترسی به منابع انرژی، آب، زمین و زیرساخت‌ها را فراهم می‌کنند و می‌توانند فرصت‌های اثرگذار برای هم‌افزایی بین زنجیره‌های غذایی و تولیدکنندگان انرژی را شناسایی کنند. تجربه موفق در استفاده از این ابزارها شامل آسیاب‌های ذرت در اوگاندا و سیستم‌های آبیاری خورشیدی در اتیوپی است. این ابزارها می‌توانند تحلیل‌های سیاستگذاری و سرمایه‌گذاری را دقیق‌تر کرده و به برنامه‌ریزی پایدار محیط‌زیست کمک کنند.

### ۳. بهبود دسترسی به تأمین مالی برای کاربران نهایی و شرکت‌ها

سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در کشاورزی و زنجیره‌های غذایی نیازمند منابع مالی بلندمدت و مقرون‌به‌صرفه است که با جریان نقدی کاربران نهایی و دوره فصلی درآمد کشاورزان هماهنگ باشد. در مناطقی که بانک‌ها و مؤسسات مالی یا دیگر منابع وام‌دهی محدود هستند، بسیاری از کشاورزان و شرکت‌های کوچک نمی‌توانند هزینه خرید تجهیزات انرژی تجدیدپذیر را به‌صورت نقدی پرداخت کنند. در این شرایط، روش‌هایی مانند اجاره به مالکیت یا پرداخت اقساطی به کاربران اجازه می‌دهد که ابتدا از تجهیزات استفاده کنند و بعد به تدریج مبلغ آن را بپردازند، بدون آنکه فشار مالی شدیدی داشته باشند.

برای شرکت‌هایی که در مرز بین بخش انرژی و کشاورزی فعالیت می‌کنند، منابع مالی هدفمند و خاص می‌تواند به آنها کمک کند تا پروژه‌های تحقیق و توسعه خود را پیش ببرند و فناوری‌های جدید را تجاری‌سازی کنند. علاوه بر این، کمک‌های مالی بین‌المللی، از جمله منابع مرتبط با تغییرات آب و هوایی، می‌تواند شکاف‌های سرمایه‌ای موجود را پر کند و به ایجاد یک بازار پایدار برای انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی و غذایی کمک کند.

## ٤. توسعه رویکردهای یکپارچه برای تحول سیستم‌های غذایی و انرژی

تحول همزمان سیستم‌های انرژی و غذایی می‌تواند هم‌افزایی‌ها را حداکثر و تعارض‌ها در استفاده از منابع زمین و آب را کاهش دهد. به عبارت دیگر، با یک رویکرد یکپارچه، می‌توان بهره‌وری زمین را بالا برد و همزمان انرژی و غذا تولید کرد بدون آنکه یکی به ضرر دیگری تمام شود. برای مثال، سیستم‌های کشت مخلوط (چند محصول در یک زمین) و سیستم‌های آگری‌ولتائیک (استفاده همزمان از زمین برای کشاورزی و نصب پنل خورشیدی) بهینه‌سازی استفاده از زمین و انرژی را ممکن می‌کنند. همچنین این سیستم‌ها به استفاده مؤثر و پایدار از زیست‌توده و کود حیوانی کمک می‌کنند.

## ٥. ادغام دیدگاه‌های میان‌بخشی در سیاست‌های ملی

برای پیشرفت در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و بیوانرژی پایدار، لازم است که سیاست‌های بخش انرژی و بخش کشاورزی با هم هماهنگ باشند. اگر این هماهنگی وجود نداشته باشد، ممکن است استفاده از انرژی تجدیدپذیر باعث فشار بر منابع آب یا زمین شود یا با نیازهای کشاورزی رقابت ایجاد کند. بنابراین، سیاست‌ها باید اثرات متقابل میان انرژی، آب و زمین را در نظر بگیرند. نمونه‌هایی از اقدامات موفق شامل برنامه‌های فیلیپین، چارچوب سیاستی هند، طرح سبز مراکش و ارزیابی سایت‌های مینی‌گرید در اتیوپی هستند. برای تحریک تقاضا برای انرژی تجدیدپذیر، دو روش اصلی وجود دارد:

١. اندازه‌گیری دقیق مصرف انرژی در زنجیره غذایی با استفاده از فناوری‌های دیجیتال تا مشخص شود چه بخش‌هایی بیشترین نیاز به انرژی دارند.
٢. خوشه‌بندی خریدها و رقابتی کردن تجهیزات تجدیدپذیر: به جای خرید جداگانه، گروه‌های کشاورزی یا تعاونی‌ها تجهیزات را به صورت گروهی خریداری کنند و قیمت تجهیزات تجدیدپذیر را رقابتی کنند تا نسبت به تجهیزات دیزلی یا سوخت فسیلی جذاب شوند.

## ٦. تقویت نوآوری فناوری و تجهیزات کم‌مصرف انرژی

بخش عمده تجهیزات موجود برای فرآوری محصولات کشاورزی و دیگر کاربردها برای شبکه‌های برق با تأمین نامحدود طراحی شده و بهره‌وری انرژی پایینی دارند. توسعه و بازطراحی فناوری‌های متناسب با نیازهای زنجیره‌های ارزش مختلف و افزایش بهره‌وری انرژی تجهیزات می‌تواند هزینه کل سیستم‌ها را کاهش و قابلیت پرداخت و پذیرش کاربران را افزایش دهد. این فرآیند نیازمند همکاری نزدیک میان تأمین‌کنندگان فناوری، مؤسسات تحقیق و توسعه و کاربران نهایی برای آزمایش، ارزیابی و مستقرسازی فناوری است.

### ۷. افزایش آگاهی و تقویت ظرفیت

کمبود آگاهی کاربران نهایی از مزایای فناوری‌های مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر و ظرفیت محدود برای نصب، بهره‌برداری و نگهداری سیستم‌ها، مانع اصلی پذیرش این فناوری‌ها است. پروژه‌های نمایشی، مشارکت کاربران در طراحی و کمپین‌های اطلاع‌رسانی می‌توانند این محدودیت‌ها را کاهش دهند. تقویت ظرفیت باید فراتر از مهارت‌های فنی باشد و شامل آموزش‌های عملیاتی، بازاریابی و روش‌های دسترسی به بازار برای محصولات افزایش‌یافته باشد.

### ۸. جامعیت و عدالت اجتماعی در تحول سیستم‌های غذایی و انرژی

توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر باید شامل همه گروه‌ها، به ویژه زنان، جوانان و جوامع حاشیه‌ای باشد. زنان بخش عمده تولید غذا را در کشورهای در حال توسعه بر عهده دارند و دسترسی محدود آنان به منابع و خدمات می‌تواند اثرات تغییرات اقلیمی را تشدید کند. ادغام دیدگاه جنسیتی و سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌سازی زنان و جوانان، از جمله در پروژه‌های آموزشی و فناوری، می‌تواند فرصت‌های معیشتی، کاهش زمان کار طاقت‌فرسا و بهره‌وری تولید غذا را افزایش دهد.

# منابع

۱. وزارت نیرو

۲.

1. Burney, J., Woltering, L., Burke, M., Naylor, R., & Pasternak, D. (2010). Solar-powered drip irrigation enhances food security in the Sudano–Sahel. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(5), 1848-1853.

2. Affognon, H., Mutungi, C., Sanginga, P., & Borgemeister, C. (2015). Unpacking postharvest losses in sub-Saharan Africa: a meta-analysis. *World development*, *66*, 49-68.

3. Bala, B. K., & Janjai, S. (2011). Solar drying technology: potentials and developments. In *Energy, environment and sustainable development* (pp. 69-98). Vienna: Springer Vienna.

4. Haines, A., Kovats, R. S., Campbell-Lendrum, D., & Corvalán, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health. Public health, 120(7), 585-596.

5. Ijiga, A. C., Olola, T. M., Enyejo, L. A., Akpa, F. A., Olatunde, T. I., & Olajide, F. I. (2024). Advanced surveillance and detection systems using deep learning to combat human trafficking. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, *11*(01), 267-286.

6. Idoko, I. P., Ijiga, O. M., Harry, K. D., Ezebuka, C. C., Ukatu, I. E., & Peace, A. E. (2024). Renewable energy policies: A comparative analysis of Nigeria and the USA. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *21*(1), 888-913.

7. Jha, V. (2023). *The Making of the International Solar Alliance: India's Moment in the Sun*. Oxford University Press.

8. Barron-Gafford, G.A., et al. (2019), “Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands”, Nature Sustainability, Vol. 2, pp.848-855.

9. FAO (2021), “Three sustainable energy solutions for food production and places where they are used”, Food and Agriculture Organization, Rome.

10. FAO (2020), “Food loss and waste must be reduced for greater food security and environmental sustainability”, Food and Agriculture Organization, Rome.

11. FAO (2019), “Priorities related to food value chains and the agri-food sector in Nationally Determined Contributions”, Food and Agriculture Organization, Rome.

12. FAO (2018), The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050, Summary version, Food and Agriculture Organization, Rome.

13. GOGLA (2021), Global off-grid solar market report: Semi-annual sales and impact data, July-December 2020, Amsterdam, www.gogla.org/sites/default/files/resource_docs/global_off-grid_solar_market_report_ h2_2020.pdf.

14. GOGLA (2020), “Productive use of off-grid solar, appliances and solar water pumps as drivers of growth”, Utrecht, Netherlands, www.gogla.org/sites/default/files/resource_docs/gogla_pb_use-of-off-grid-solar_def. pdf.

15. World Bank (2019), The market opportunity for productive use leveraging solar energy (PULSE) in Sub-Saharan Africa, World Bank, Washington, DC.

16. IFAD (2020), “Renewable energy for smallholder agriculture”, International Fund for Agricultural Development, Rom.

17. PIB (Press Information Bureau) (2021), “Agriculture voltage technology”, Press Release, Ministry of Agriculture and Farmers’ Welfare, Government of India

18. Vourdoubas, J., & Dubois, O. (2016). Energy and agri-food systems: Production and consumption. *Mediterra 2016. Zero Waste in the Mediterranean. Natural Resources, Food and Knowledge/International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)–Paris: Presses de Sciences Po, 2016.*, 155.

19. Unicef. (2025). The state of food security and nutrition in the world 2025: addressing high food price inflation for food security and nutrition. Food & Agriculture Org..

20. Ministry of New and Renewable Energy (MNRE), Government of India

21. Negera, M., Dejen, Z. A., Melaku, D., Tegegne, D., Adamseged, M. E., & Haileslassie, A. (2025). Agricultural productivity of solar pump and water harvesting irrigation technologies and their impacts on smallholder farmers’ income and food security: evidence from Ethiopia. Sustainability, 17(4), 1486.

22. Thu, C. T. T., Cuong, P. H., Van Chao, N., Anh, L. X., Trach, N. X., & Sommer, S. G. (2012). Manure management practices on biogas and non-biogas pig farms in developing countries–using livestock farms in Vietnam as an example. Journal of cleaner production, 27, 64-71.