Journal of Environmental and Natural Resource Economics
Vol(issue), PP.
.atu.ac.ir
DOI:

Original Research / Review / ...
Received:
Accepted:
ISSN:
eISSN:

Applications of Renewable Energy in Agricultural Greenhouses

Mehdi Karami Moghadam *

Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

Introduction

The use of renewable energy in agriculture has become increasingly important in today's world. In recent decades, climate change and the need to conserve natural resources and protect the environment have emerged as some of the most significant challenges facing humanity. Agriculture, as a fundamental sector for both economic development and food security, plays a critical role in addressing these challenges. The integration of renewable energy technologies into agricultural systems not only improves productivity and enhances crop yields but also significantly reduces the negative environmental impacts associated with conventional agricultural practices.

Objective

In greenhouse production systems, the presence of heating and cooling systems is essential. Heating alone can account for approximately 70% of total production costs during the winter season. However, the application of renewable energy in the form of hybrid solar–wind systems has been reported to result in a substantial reduction in conventional energy consumption (Mahmoudi et al., 2008). In this context, passive solar greenhouses are often considered a cost-effective option for extending the growing season for farmers. In colder climates or cloudy regions, solar heating may need to be combined with another renewable energy source or a conventional heating system to ensure adequate protection of crops against low temperatures (Chikaire et al., 2010).

Research Method

* Corresponding Author: m.karami.mo@areeo.ac.ir
How to Cite: xxxxxxx

The data for this study were collected through a comprehensive literature review. The aim of this research is to examine successful experiences in the application of renewable energy by reviewing various sources. Initially, the study focuses on the use of electrical energy in greenhouses. Subsequently, two renewable energy sources—solar and wind—are introduced, and their applications in greenhouses and agricultural systems across different countries are analyzed. The feasibility of integrating renewable energy systems into protected agriculture depends on several factors, which are thoroughly examined in this study. Finally, the challenges associated with the adoption of renewable energy in agriculture are discussed.

Results and Discussion

Despite the numerous advantages of renewable energy, its adoption—particularly in developing countries—faces significant challenges. In rural areas, institutional, political, legal, economic, and socio-cultural factors play a critical role in the success of community-based renewable energy projects. Increasing awareness of the negative impacts of fossil fuel use among rural populations has been shown to have a significant positive effect on the acceptance of renewable energy. Additionally, variables such as perceived vulnerability, intrinsic rewards, self-efficacy, response efficacy, and perceived response costs have a significant positive influence on the adoption and utilization of renewable energy technologies.

Conclusion

Currently, a variety of technologies exist for renewable energy generation, including wind, solar, hydropower, and biomass. Among these, solar and wind energy have gained particular importance in the analysis, design, and development of innovative products. Future trends in renewable energy include advancements in multi-junction solar cells, thin-film technologies, and the development of low-cost, high-efficiency photovoltaic cells.

Keywords: Fossil energy, agricultural greenhouses, environmental protection, green energy, and climate change.

JEL Classification: Q56 , E01 , C23

مقاله مروری

فصلنامه اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی
دوره ؟، شماره ؟، نام فصل، سال، ص ص
.atu.ac.ir
DOI:

تاریخ دریافت: ۰۰/۰۰/۰۰؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۰۰/۰۰

ISSN:
eISSN:

کاربردهای انرژی پاک در گلخانه‌های کشاورزی

مهدی کرمی مقدم *

دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مشهد، ایران.

چکیده

در حال حاضر، کشاورزی به‌سمت مدرن‌سازی و افزایش بهره‌وری در حرکت است تا بتواند در بازار جهانی رقابتی باقی بماند و یکی از مسائل مهم در این راستا، افزایش هزینه‌های انرژی است. کشت گلخانه‌ای به‌عنوان یک صنعت در حال رشد در بسیاری از کشورها مطرح است. این روش، با وجود آن‌که راهکاری جایگزین و مکمل برای تأمین تقاضای جهانی غذا فراهم می‌کند، به‌دلیل افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی با کاهش رقابت‌پذیری مواجه است. افزایش روزافزون تقاضا برای غذا و نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی منجر به جست‌وجوی منابع انرژی سازگار با محیط‌زیست شده است. انرژی، یکی از بزرگ‌ترین هزینه‌های سربار در تولید محصولات گلخانه‌ای به‌منظور کنترل اقلیم مناسب به‌شمار می‌رود. استفاده از سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر بادی–خورشیدی برای کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ها، مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داده و پایداری تولید گلخانه‌ای را بهبود می‌بخشد. این مرور با هدف معرفی دو نوع انرژی‌های تجدیدپذیر، مزایای استفاده از آنها در کشاورزی و گلخانه‌ها، چالش‌های پیش روی استفاده از این نوع انرژی، و ارائه نمونه‌های عملی از کاربردهای موفق در دنیا، به تشویق استفاده گسترده از این منابع ارزشمند در کشاورزی می‌پردازد.

کلیدواژه‌ها: انرژی فسیلی، گلخانه های کشاورزی، حفاظت از محیط زیست، انرژی سبز و تغییرات اقلیمی

طبقه‌بندی JEL: C23 , E01 , Q56

مقاله حاضر برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «تدوین سند توسعه پایدار انرژی‌های خورشیدی در بخش چاههای کشاورزی استان خراسان رضوی» با حمایت موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی است.

* نویسنده مسئول: m.karami.mo@areeo.ac.ir

مقدمه

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشاورزی اهمیت بسیار زیادی در جهان امروزی دارد. در دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و نیاز به حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های انسانی تبدیل شده‌اند. کشاورزی، به عنوان یکی از بخش‌های اساسی اقتصاد و تأمین غذا، نقش مهمی در این چالش‌ها ایفا می‌کند. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشاورزی، نه تنها به بهبود بهره‌وری و افزایش تولید محصولات کمک می‌کند؛ بلکه تأثیرات منفی زیست‌محیطی کشاورزی را کاهش می‌دهد. از انواع انرژی‌های پاک، انرژی خورشیدی بیشترین استفاده در بخش کشاورزی استان خراسان رضوی دارد. خورشید اصلی‌ترین منبع انرژی مورد استفاده بشر در زمین است. انرژی خورشیدی به‌صورت مستقیم از تابش خورشید قابل بهره‌برداری است. انرژی‌های تجدیدپذیر گاهی با نام‌هایی نظیر "انرژی سبز"، "انرژی پایدار"، یا "انرژی جایگزین" نیز شناخته می‌شوند. برای مقایسه، در حالی که یک نیروگاه هسته‌ای می‌تواند در یک سال با مصرف تنها ۰/۱۳ کیلوگرم سوخت هسته‌ای، ۱۰۰۰ مگاوات برق تولید کند، سطح خورشید در هر ثانیه تقریباً ۴ میلیون تن سوخت خورشیدی را به انرژی تبدیل می‌کند. میانگین انرژی تابشی دریافتی توسط هر متر مربع از سطح زمین حدود ۱۳۶۶ وات است(Lindsey, 2009)، هرچند این مقدار بر اساس عرض جغرافیایی می‌تواند متفاوت باشد (Cocks, 2009). در میان منابع تجدیدپذیر مختلف، انرژی خورشیدی جایگاه ویژه‌ای دارد چرا که در سراسر جهان به‌وفور در دسترس است. فعالیت‌های فعلی کشاورزی خود نیز یکی از منابع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای (GHG)هستند. بهره‌گیری از انرژی خورشیدی می‌تواند موجب کاهش انتشار این گازها شود و بنابراین کشورهای در حال توسعه نیز به استفاده از این منبع علاقه‌مند شده‌اند.

در حال حاضر، کشاورزی به‌سمت مدرن‌سازی و افزایش بهره‌وری در حرکت است تا بتواند در بازار جهانی رقابتی باقی بماند و یکی از مسائل مهم در این راستا، افزایش هزینه‌های انرژی است. کشت گلخانه‌ای به‌عنوان یک صنعت در حال رشد در بسیاری از کشورها مطرح است. این روش، با وجود آن‌که راهکاری جایگزین و مکمل برای تأمین تقاضای جهانی غذا فراهم می‌کند، به‌دلیل افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی با کاهش رقابت‌پذیری مواجه است (Hassanien et al., 2016). بخش عمده‌ای از نیازهای انرژی در تولیدات گلخانه‌ای مربوط به فرآیندهای گرمایش و سرمایش است. گرمایش معمولاً با سوزاندن سوخت‌های

فسیلی نظیر زغال‌سنگ، گازوئیل، نفت کوره، چوب، گاز مایع تأمین می‌شود که منجر به افزایش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) می‌گردد. همچنین، بخاری‌های برقی که انرژی اولیه بیشتری مصرف می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (Chai et al., 2012). فرآیند سرمایش نیز به‌ویژه در کشورهای آمریکای لاتین از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، جایی که روش‌های سرمایش سنتی قادر به تأمین شرایط مطلوب رشد گیاهان در تابستان نیستند. بنابراین، یافتن فناوری‌های نوین گرمایش–سرمایش که ضمن کاهش مصرف انرژی، امکان استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را فراهم آورند، بسیار حائز اهمیت است. چالش اصلی در گلخانه‌های کشاورزی، افزایش کارایی انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه CO_2می‌باشد (Benli, 2011). انرژی خورشیدی و بادی به‌عنوان دو منبع مهم و قابل اتکای انرژی تجدیدپذیر در جهان شناخته می‌شوند که به‌دلیل در دسترس بودن و مزایای توپوگرافی برای تولید انرژی محلی در مناطق دورافتاده و ایزوله، از مزایای ویژه‌ای برخوردارند؛ هرچند توسعه آن‌ها تا حدی با چالش‌هایی مانند تعرفه‌های خرید تضمینی برق مواجه است (Couture and Gagnon, 2010). با این حال، این موانع را می‌توان از طریق ترکیب دو یا چند منبع انرژی مختلف (سامانه‌های هیبریدی) همراه با ذخیره‌سازهای مناسب انرژی، برطرف نمود. مزیت اصلی سامانه خورشیدی–بادی، در قابلیت اطمینان بالاتر آن نهفته است. همچنین، ظرفیت مورد نیاز بانک باتری ذخیره‌ساز انرژی در این سامانه‌ها نسبت به سامانه‌های تک‌منبعی کمتر خواهد بود (Bentouba and Bourouis, 2016). در تولید گلخانه‌ای، وجود سامانه‌های گرمایش و سرمایش الزامی است. به‌گونه‌ای که گرمایش گلخانه‌ها در فصل زمستان حدود ۷۰درصد از کل هزینه‌های تولید را به خود اختصاص می‌دهد. اما با استفاده از انرژی تجدیدپذیر در قالب سامانه‌های خورشیدی–بادی، کاهش چشمگیری در مصرف انرژی متداول گزارش شده است (Mahmoudi et al., 2008). در اقلیم‌های سردتر یا مناطق ابری، ممکن است نیاز باشد که گرمایش خورشیدی با منبع تجدیدپذیر دیگری یا سامانه گرمایش سنتی ترکیب شود تا از گیاهان در برابر سرما محافظت گردد (Chikaire et al., 2010).

لذا این مقاله با هدف معرفی دو نوع انرژی تجدیدپذیر، مزایای استفاده از آنها در کشاورزی و گلخانه‌ها، چالش‌های پیش روی استفاده از این نوع انرژی، و ارائه نمونه‌های عملی از کاربردهای موفق در دنیا، به تشویق استفاده گسترده از این منابع ارزشمند در کشاورزی

می‌پردازد. لذا در این تحقیق ابتدا به استفاده از انرژی الکتریکی در گلخانه‌ها پرداخته می‌شود. سپس دو منبع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی و بادی معرفی و استفاده آنها در بخش گلخانه و کشاورزی در کشورهای مختلف بررسی می‌شود.

روش

گردآوری اطلاعات این تحقیق بصورت کتابخانه‌ای انجام شده است. در این مطالعه سعی شده است با مرور منابع مختلف، تجربه‌های موفق در استفاده از انرژی تجدیدپذیر بررسی شود. در این تحقیق ابتدا به استفاده از انرژی الکتریکی در گلخانه‌ها پرداخته می‌شود. سپس دو منبع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی و بادی معرفی و استفاده آنها در بخش گلخانه و کشاورزی در کشورهای مختلف بررسی می‌شود. امکان‌پذیری ادغام سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر در کشاورزی محافظت شده به عواملی بستگی دارد که این عوامل مورد بررسی قرار می‌گیرند. در انتها به چالشهای پیش رو در استفاده از انرژی تجدیدپذیر پرداخته می‌شود.

تحلیل و بحث

الف) استفاده از انرژی الکتریکی در گلخانه‌ها

ترکیب افزایش مستمر جمعیت جهانی و صنعتی‌شدن کشورهای در حال توسعه، موجب رشد شدید تقاضای جهانی برای انرژی شده است. در این راستا، محققان بسیاری تمرکز خود را بر ارائه فناوری‌های جایگزین مبتنی بر منابع انرژی متفاوت به‌منظور تأمین غذای کافی قرار داده‌اند. از سوی دیگر، منابع محدود آب و توزیع نامناسب آن همراه با اثرات تغییر اقلیم، نشان داده‌اند که کشت محافظت‌شده در گلخانه‌ها، بهترین مسیر برای توسعه بخش کشاورزی به‌شمار می‌آید. گلخانه‌ها می‌توانند به‌گونه‌ای طراحی شوند که از شرایط اقلیمی مناسب (دما، رطوبت نسبی و نور) بهره ببرند و در نتیجه، تولید را با هزینه کمتری محقق کنند (Beyhan et al., 2013; Bot et al., 2005). تانگ و همکاران[1] (۲۰۱۳) در ژاپن با انجام آزمایشی گزارش کردند که مصرف ساعتی انرژی برای گرمایش در بازه زمانی ژانویه تا مارس در گلخانه دارای پمپ حرارتی، در بازه ۰/۲۲ تا ۰/۵۶ مگاژول بر متر مربع بود، در حالی که این مقدار برای گرمایش با بخاری نفتی در محدوده ۰/۴۲ تا ۰/۷۶ مگاژول بر متر مربع قرار داشت. هم‌زمان، میزان انتشار CO_2 در گلخانه با پمپ حرارتی بین ۹/۵ تا ۲۴ گرم بر متر مربع

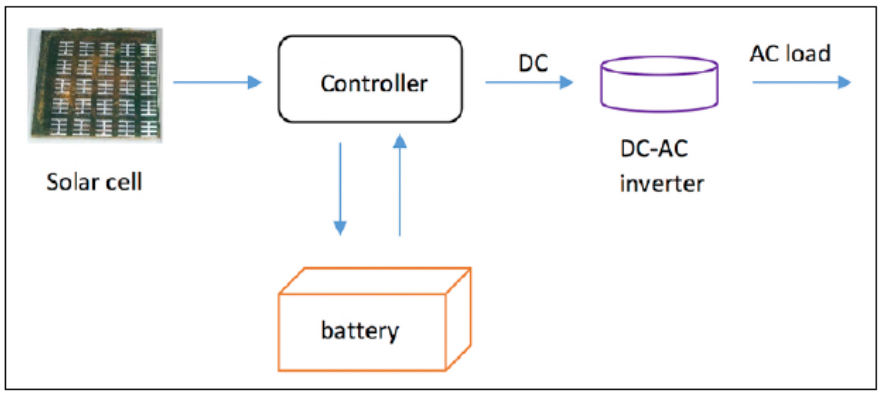
1. Tong et al.

و در گلخانه با بخاری نفتی بین ۳۱ تا ۵۵ گرم بر متر مربع گزارش شد. انرژی به‌عنوان ستون فقرات رشد اقتصادی دنیای مدرن شناخته می‌شود، و انرژی خورشیدی منشأ اصلی بسیاری از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده در بخش کشاورزی و صنعت است. در نتیجه، نگرانی‌ها درباره امنیت انرژی، استفاده از منابع انرژی سبز مانند انرژی خورشیدی را به‌منظور کاهش انتشار CO_2 و هزینه‌های گرمایش ضروری ساخته است. برای مثال، چندین پژوهش‌گر استفاده از سامانه‌های پمپ حرارتی متصل به زمین (GCHPS) در ترکیب با کلکتورهای خورشیدی را پیشنهاد داده‌اند. پمپ حرارتی زمین‌گرمایی با پشتیبانی خورشیدی، عملکرد سیستم را در سطح پایداری حفظ می‌کند (Nam et al., 2015). از سوی دیگر، توجه به امنیت غذایی، محیط‌زیست و پایداری انرژی بیش از هر زمان دیگری برای تولید پایدار محصولات گلخانه‌ای اهمیت یافته است. در چند دهه اخیر، انرژی خورشیدی به‌واسطه پیشرفت‌های فناورانه و سیاست‌های حمایتی دولت‌ها در توسعه و بهره‌برداری از انرژی تجدیدپذیر، به‌طور چشمگیری رشد یافته است (Timilsina et al., 2012; Norberto et al., 2016). در حال حاضر، مصرف توان در سطح جهان حدود ۱۸ تریلیون وات برآورد می‌شود (Rhodes, 2010). مصرف انرژی در بخش کشاورزی نیز با معرفی ارقام پرمحصول و روش‌های مکانیزه تولید افزایش یافته است. پس از هزینه‌های نیروی کار، انرژی معمولاً بزرگ‌ترین هزینه سربار در تولید محصولات گلخانه‌ای حتی در اقلیم‌های معتدل محسوب می‌شود. از کل انرژی مورد نیاز، حدود ٪۷۵ صرف گرمایش، ٪۱۵ برای برق‌رسانی و ٪۱۰ به حمل‌ونقل اختصاص می‌یابد (Blanchard and Runkle, 2017). برای ایجاد شرایط بهینه رشد گیاهان، تنظیم روشنایی، دما، رطوبت و ترکیب یا غلظت گازها در گلخانه از طریق برق‌رسانی ضروری است.

ب) انرژی خورشیدی

خورشید فراوان‌ترین منبع انرژی برای زمین محسوب می‌شود. انرژی خورشیدی به‌صورت طبیعی با نرخ ۱۲۰ پتاوات بر سطح زمین می‌تابد؛ به این معنا که میزان انرژی دریافتی از خورشید تنها در یک روز، می‌تواند نیاز انرژی کل جهان را برای بیش از ۲۰ سال تأمین کند (Chu, 2011). انرژی خورشیدی پاک‌ترین و در عین حال فراوان‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر به‌شمار می‌رود و در دسترس‌ترین آن‌ها نیز هست. گلخانه‌ها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که نور خورشید لازم برای فتوسنتز گیاهان را عبور داده و در عین حال دمای محیط

را در سطح مناسب حفظ نمایند. این انرژی خورشیدی می‌تواند از طریق تجهیزات فتوولتائیک (PV) به انرژی الکتریکی تبدیل شود. انرژی الکتریکی تولیدشده می‌تواند در گلخانه برای تأمین توان تجهیزات کنترل اقلیم مورد استفاده قرار گیرد (Genovese et al., 2008). شکل ۱ تصویر برد سلول خورشیدی سیستم واحد انرژی تجدیدپذیررا نشان می‌دهد. جدول ۱، ۱۰ کشور برتر که بیشترین استفاده از انرژی خورشیدی در سال ۲۰۱۵ و در مجموع تا سال ۲۰۱۵ را داشته‌اند نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است کشورهای چین، آلمان، ژاپن و آمریکا رتبه‌های یک تا چهار استفاده از انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۱۵ را داشته‌اند.



شکل ۱- تصویر برد سلول خورشیدی سیستم واحد انرژی تجدیدپذیر.

جدول ۱- ۱۰ کشور برتر در استفاده از انرژی خورشیدی

۱۰ کشور برتر در استفاده از انرژی خورشیدی در سال ۲۰۱۵			۱۰ کشور برتر در استفاده از انرژی خورشیدی در مجموع تا سال ۲۰۱۵		
۱	چین	۱۵/۲ GW	۱	چین	۴۳/۵ GW
۲	ژاپن	۱۱ GW	۲	آلمان	۳۹/۷ GW
۳	آمریکا	۷/۳ GW	۳	ژاپن	۳۴/۴ GW
۴	انگلستان	۳/۵ GW	۴	آمریکا	۲۵/۶ GW
۵	هند	۲ GW	۵	ایتالیا	۱۸/۹ GW
۶	آلمان	۱/۵ GW	۶	انگلستان	۸/۸ GW
۷	کره	۱ GW	۷	فرانسه	۶/۶ GW
۸	استرالیا	۰/۹ GW	۸	اسپانیا	۵/۴ GW
۹	فرانسه	۰/۹ GW	۹	استرالیا	۵/۱ GW

۵ GW	هند	۱۰	۰/۹ GW	کانادا	۱۰

مأخذ: (Acosta-Silva et al., 2019)

پ) انرژی بادی

انرژی بادی به حرکت توده‌های هوا از نواحی با فشار اتمسفری بالا به مناطق مجاور با فشار پایین مرتبط است، که سرعت این جریان متناسب با گرادیان فشار (اختلاف فشار) می‌باشد. در طول روز، توده‌های هوای بالای اقیانوس‌ها، دریاها و دریاچه‌ها نسبت به توده‌های هوایی مجاور در خشکی‌ها، خنک‌تر باقی می‌مانند. در حال حاضر، توان بادی به‌عنوان یک فناوری قابل اتکا و اثبات‌شده مطرح است که می‌تواند با هزینه‌ای رقابتی با منابعی مانند زغال‌سنگ و حتی انرژی هسته‌ای، برق تولید کند. این فناوری تقریباً از سال ۲۰۰۵ به‌صورت گسترده نصب و بهره‌برداری شده است (Wiser and Bolinger, 2006). اگرچه سهم اقتصادی انرژی بادی در بسیاری از مناطق جهان همچنان ناچیز است، اما بشر از دیرباز از این انرژی برای کاربردهای مختلف بهره برده است. آسیاب‌های بادی در کشور هلند نمونه‌ای شناخته‌شده از بهره‌برداری وسیع از انرژی باد به شمار می‌روند. در مطالعه‌ای توسط دی آروجو لیما و بزرا فیلو[1] (۲۰۱۰) ارزیابی و شبیه‌سازی مزارع بادی در شهر Triunfo در ایالت Pernambuco واقع در شمال‌شرقی برزیل انجام شد. داده‌های باد از ایستگاه هواشناسی پروژه SONDA (سامانه سازماندهی ملی داده‌های زیست‌محیطی) شامل سرعت باد، جهت باد و دما، در ارتفاع ۵۰ متری و طی بازه ۳۰ ماهه جمع‌آوری شد. مدل اقتصادی مورد استفاده، بازگشت سرمایه را در مدت سه سال نشان داد. اوامی و همکاران[2] (۲۰۱۰) نیز به بررسی تغییرات ماهانه و فصلی ویژگی‌های باد در منطقه «لیگوریا» واقع در شمال‌غربی ایتالیا پرداختند. داده‌های سرعت باد از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ در چهار ایستگاه هواشناسی: Capo Vado، Casoni، Fontana Fresca و Settepani Monte گردآوری شد. نتایج نشان داد که Capo Vado بهترین سایت برای بهره‌برداری از انرژی بادی بوده و میانگین ماهانه سرعت باد در آن بین ۲/۸۰ تا ۹/۹۸ متر بر ثانیه (در ارتفاع ۱۰ متری) و چگالی توان بادی ماهانه بین ۹۰/۷۱ تا ۱۱۷۷/۹۷ وات بر مترمربع بوده است. بیشترین تولید انرژی در ماه دسامبر با مقدار ۳۸۰۰ مگاوات‌ساعت ثبت شده است. چالش‌های کنونی برای افزایش سهم انرژی

1 . de Araujo Lima, L., & Bezerra Filho, C. R.
2 . Ouammi et al.

بادی شامل: ادغام در شبکه برق، پیش‌بینی‌پذیری منابع باد، نگرش عمومی و واکنش به تأثیرات بصری توربین‌های بادی است. انرژی بادی فراساحلی معمولاً هزینه بیشتری داشته و یکی از چالش‌های اصلی در توسعه آن، کاهش هزینه‌هاست. همچنین، ماهیت متغیر باد موجب می‌شود که تولید برق از این منبع نتواند به‌طور کامل جایگزین دیگر منابع تولید برق شود (Yuksel, 2013). در سطح جهانی، از سال ۲۰۰۹، سهم انرژی بادی در بازار برق روندی افزایشی داشته است. با این حال، در سال گذشته میلادی، کاهش ۵/۸ درصدی این انرژی که عمدتاً ناشی از افت بازارهای آمریکای شمالی و اروپا بود. با وجود این کاهش، تقاضا برای نصب سامانه‌های انرژی بادی همچنان رو به رشد است و تا پایان سال ۲۰۱۰، مجموع ظرفیت نصب‌شده انرژی بادی در جهان به ۱۹۴/۵ گیگاوات رسید. بزرگ‌ترین سهم تولید در این حوزه متعلق به اروپا با ۴۴/۳ درصد از کل بازار جهانی است. در این میان، آلمان (با ۲۷۲۱۴ مگاوات) و اسپانیا (با ۲۰۶۷۶ مگاوات) بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محسوب می‌شوند.

ج) انرژی‌های تجدیدپذیر در کشاورزی

کشاورزی صنعتی است که می‌تواند از مزایای مالی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی که با به‌کارگیری فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر حاصل می‌شود، بهره‌مند گردد (Van-Campen et al., 2000;). با این حال، موانع قابل‌توجهی در مسیر پذیرش فناوری‌های جدید برای بهره‌برداری از منابع انرژی غیرمرسوم وجود دارد (Faucher and Bastien, 2007). استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان فناوری در کشاورزی، موضوع جدیدی نیست. داوسکین[1] (۱۹۸۸) کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، خورشید و انرژی زمین‌گرمایی در کشاورزی را مطالعه کرد. نتایج او نشان داد که به‌دلیل نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالا و ریسک مالی زیاد، این موضوع یکی از موانع اصلی در توسعه و کاربرد گسترده این منابع انرژی، نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بالا و ریسک مالی زیاد است.امروزه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر از مواد مختلفی استفاده می‌کنند که موجب افزایش بازده و کاهش هزینه‌ها شده است. همچنین، مطالعات متعددی در مورد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشاورزی گلخانه‌ای انجام شده است. به‌عنوان نمونه، می و همکاران[2] (۲۰۰۸) سیاست‌هایی

1 . Dvoskin
2 . Meah et al.

را برای طراحی سیستم پمپاژ آب خورشیدی (PV) به‌عنوان یک فناوری مناسب برای مناطق دورافتاده در کشورهای در حال توسعه بررسی کرده‌اند؛ جایی که هزینه پایین و قابلیت اطمینان انرژی خورشیدی، آن را گزینه‌ای مطلوب برای پمپاژ آب از فواصل دور کرده است. هانادا و همکاران[1] (۲۰۰۵) نیز امکان استفاده از انرژی باد در مناطق کشاورزی ژاپن را بررسی کردند. این پژوهش که با حمایت وزارت آموزش عالی ژاپن انجام شد، بر کاربرد باد با سرعت کم (در مناطق اطراف توکیو) تمرکز داشت و به کاربردهای خاص انرژی باد در تکثیر ماهی‌ها و پمپاژ آب نیز اشاره شده است. سانز و همکاران[2] (۲۰۰۲) به بررسی بهینه‌سازی ادغام انرژی بادی و آبی در یک ایستگاه پمپاژ برای آبیاری پرداختند. اندازه و انرژی ایستگاه پمپاژ به‌گونه‌ای طراحی شد که با نیاز آبی محصولات زراعی سنتی و محصولی مانند خارمریم تطابق داشته باشد. یانو و همکاران[3] (۲۰۰۷) کنترل‌کننده‌ای برای باز و بسته شدن دریچه‌های جانبی گلخانه طراحی کردند که با صفحات خورشیدی (PV) تغذیه می‌شد. این سیستم تهویه دما را در محدوده ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد حفظ می‌کرد. سیستم شامل یک ماژول PV نوع a-Si به مساحت ۰/۷۸ مترمربع با توان ماکزیمم ۳۲ وات و یک باتری ۲۸ آمپر ساعت بود. نتایج نشان داد که سیستم‌های خورشیدی می‌توانند برای کنترل اقلیم گلخانه‌ای به‌کار روند. ویلدا و همکاران[4] (۲۰۰۴) نیز سیستم آبیاری خورشیدی برای تاکستان‌ها را شبیه‌سازی کردند؛ این سامانه‌ها تأمین آب برای جوامع روستایی در مناطق دورافتاده را تسهیل کرده‌اند. استفاده از آب تأمین‌شده توسط سیستم‌های PV برای تولید میوه، می‌تواند یک گزینه اقتصادی مؤثر برای توسعه فعالیت‌های محلی باشد. البته امکان‌سنجی اقتصادی چنین طرح‌هایی به ارزش بازاری محصول وابسته است. باد و خورشید همچنین می‌توانند به تأمین آب شیرین در گلخانه‌ها بدون وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کنند (Bermudez-Contreras et al., 2008). درحال‌حاضر، بیشتر فرایندهای شیرین‌سازی آب متکی به سوخت‌های فسیلی هستند و بنابراین گازهای گلخانه‌ای را افزایش می دهند. آندرید و همکاران[5] (۲۰۱۱) در ناحیه آمازون برزیل، با تاکید بر حفاظت از محیط زیست، تأمین برق پایدار را بخشی از برنامه توسعه ثروت و اشتغال برای ساکنین منطقه

1 . Hanada et al.
2 . Sanz et al.
3 . Yano et al.
4 . Vilela et al.
5 . Andrade et al.

می‌دانند.راه‌حل‌های پیشنهادی باید همزمان با مدیریت منابع تجدیدپذیر و مشارکت جوامع محلی توسعه یابند. مدل‌های مختلفی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای (GHG) ناشی از کشاورزی ارائه شده است (Kulshreshtha et al., 2000; Neufeldt and Schäfer, 2008). اسمیت و همکاران[1] (۲۰۰۷) شرح داده‌اند که برخی کشورها سیاست‌های آب‌وهوایی و غیرآب‌وهوایی را آغاز کرده‌اند که اثر مستقیم یا هم‌افزایانه‌ای بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی دارند. منابع انرژی تجدیدپذیر، پتانسیل عظیمی برای صنعت کشاورزی دارند. کشاورزان باید از طریق یارانه‌ها به استفاده از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر ترغیب شوند. مفهوم کشاورزی پایدار بر پایه ایجاد تعادل میان افزایش بهره‌وری محصول، پایداری اقتصادی، مصرف بهینه منابع طبیعی و کاهش تخریب زیست‌محیطی استوار است. لازم است استفاده از سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر مانند پمپ‌های آب خورشیدی، سامانه‌های برق خورشیدی، گلخانه‌های انرژی‌بر، و آبگرم‌کن‌های خورشیدی در کشاورزی ترویج یابد. در زمین‌های کشاورزی دورافتاده، پمپ‌های آب زیرسطحی خورشیدی (PV) نسبت به موتورهای دیزلی، گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه‌تر و دوستدار محیط زیست محسوب می‌شوند. همچنین، استفاده از انرژی تجدیدپذیر در گلخانه‌ها در حفظ شرایط دمایی مطلوب برای رشد گیاهان و سبزیجات بسیار حائز اهمیت است (Chel and Kaushik, 2010).

چ)امکان‌سنجی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشاورزی حفاظت‌شده

سامانه‌های کشاورزی در بیشتر مناطق جهان در معرض طیف گسترده‌ای از ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها قرار دارند. ریسک‌های اقلیمی از گذشته تا کنون عامل بروز خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها، مهاجرت، قحطی و فقر بوده‌اند. با توجه به اینکه پیش‌بینی می‌شود این ریسک‌ها در آینده افزایش یابند (Downing, 1993)، ادغام سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر در کشاورزی حفاظت‌شده[2] می‌تواند یک فرصت مهم و راهبردی باشد.

با این حال، امکان‌پذیری چنین ادغامی به عوامل متعددی بستگی دارد، از جمله:

- هزینه انرژی،

1 . Smith et al.
2 . Protected Agriculture

- هزینه نصب و دسترسی به شبکه برق مناسب،
- مشوق‌ها و یارانه‌های دولتی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر.

اما باید توجه داشت که ماهیت ناپایدار و متناوب برخی از منابع انرژی تجدیدپذیر (مانند باد و خورشید) می‌تواند بر قابلیت اطمینان، عملکرد عملیاتی و قیمت‌های بازار تأثیر بگذارد و در نتیجه، تمام بازیگران بازار انرژی را تحت تأثیر قرار دهد. تحقق اهداف توسعه انرژی تجدیدپذیر نیازمند هماهنگی میان چندین بازیگر بازار است (Zarnikau, 2011). لیو و همکاران[1] (۲۰۱۱) در پژوهشی نشان دادند کشورهایی که سیاست‌های بیشتری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر اتخاذ می‌کنند، تمایل دارند محصولات بیشتری در این حوزه تولید نمایند. در میان ابزارهای سیاست‌گذاری، یارانه‌ها و مشوق‌های تولید، نقش تعیین‌کننده‌ای در رواج یافتن محصولات انرژی تجدیدپذیر ایفا می‌کنند. در حال حاضر، هدف اصلی بسیاری از دولت‌ها در حوزه سیاست انرژی تجدیدپذیر، حذف موانع توسعه این منابع و ترویج استفاده از آن‌ها است. با این حال، بازار انرژی باید گسترش یابد تا محصولات انرژی تجدیدپذیر در دسترس همگان قرار گیرند و بتوانند با سوخت‌های فسیلی رقابت کنند.

پرتی و همکاران[2] (۲۰۱۳) سه راهکار اساسی برای اقدام مثبت کشاورزان در راستای کاهش اثرات زیست‌محیطی معرفی کردند:

۱. افزایش مخازن کربن در ماده آلی خاک و زیست‌توده‌های سطحی (بالای زمین)،

۲. جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای (مانند CO_2) از طریق کاهش مصرف مستقیم و غیرمستقیم انرژی در مزرعه،

۳. افزایش تولید انرژی تجدیدپذیر از زیست‌توده که یا جایگزین سوخت‌های فسیلی می‌شود یا به‌جای سوزاندن ناکارآمد چوب یا بقایای کشاورزی، استفاده می‌شود و در نتیجه انتشار کربن را کاهش می‌دهد.

---

1 . Liao et al.
2 . Pretty et al.

رودز[1] (۲۰۱۷) نیز وضعیت فعلی کشاورزی را با تأکید بر موضوعات مهمی همچون فرسایش خاک و وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی تحلیل کرده است؛ به‌ویژه با توجه به چالش تأمین امنیت غذایی برای جمعیت جهانی رو به رشد. او خاک را به‌درستی به عنوان "پوست زنده و شکننده زمین" توصیف می‌کند، اما متأسفانه زندگی و شکنندگی خاک اغلب در روند گسترش کشاورزی در سطح جهان نادیده گرفته شده است.

ح) چالشهای پیش رو در استفاده از انرژی تجدیدپذیر

علیرغم مزایای زیاد انرژی های تجدیدپذیر، استفاده از آنها مخصوصا در کشورهای در حال توسعه با چالشهای زیادی همراه است. برخی محققین مسائل و موانع استفاده از این نوع انرژی را مورد بررسی قرار داده‌اند. استریمیکین و همکاران[2] (۲۰۲۱) نشان دادند در مناطق روستایی، بعد نهادی، شرایط سیاسی، قانونی، اقتصادی و اجتماعی-فرهنگی برای موفقیت طرح‌های انرژی‌های تجدیدپذیر جامعه بسیار مهم است. افزایش آگاهی در مورد مضرات استفاده از انرژی فسیلی در میان روستاییان، تاثیر مثبت و معنی‌داری بر پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. همچنین متغیرهای آسیب‌پذیری، پاداش درونی، خودکارآمدی، کارآمدی پاسخ و هزینه پاسخ درک شده، تاثیر مثبت و معنی‌داری بر پذیرش و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر دارد (Badsar and Karami, 2021). قوچانی و همکاران[3] (۲۰۲۱) سناریوهای ممکن را برای وضعیت آینده انرژی تجدیدپذیر در ایران ارائه دادند. سناریوها شامل برنامه بلند مدت برای استفاده از فناوری، سیاست پایدار و جذب سرمایه‌های خارجی می‌باشد. نتایج آنها نشان داده است برنامه‌ها و پیاده‌سازی سیاست‌ها در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر به میزان تطابق آنها با اهداف ملی، توانایی‌های فنی و اقتصاد کشور بستگی دارد. رحمان و همکاران[4] (۲۰۲۲) در تحقیقی به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی را در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد برخلاف کشورهای توسعه یافته، بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش کشاورزی در کشورهای در حال توسعه با چالش‌های فنی و اقتصادی زیادی روبروست. در کشور اکوادور نبود یک سیاست در زمینه انرژی، قوانین کمبود تامین مالی، یارانه سوخت‌های فسیلی و

1 . Rhodes
2 . Streimikiene et al.
3 . Ghouchani et al.
4 . Rahman et al.

ریسک بالای سرمایه‌گذاری از مهم‌ترین عوامل کلی بر سر راه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است (Barragan-Escandom et al.,2022).کبیر و اکیسی[1] (۲۰۲۴) به نقش کشاورزان در تامین انرژی پایدار پرداختند و بیان کردند که با توجه به نیاز روزافزون انرژی در بخش کشاورزی، کشاورزان به سیاستهایی نیاز دارند که از تاب‌آوری کشاورزی حمایت کند. اسکورداتو و گولبراندسن[2] (۲۰۲۴) نیز اشاره کردند تاب‌آوری با استفاده از انرژی پایدار، حوزه‌ای نوظهور و همچنان جوان و در حال تکامل است. هان و همکاران[3] (۲۰۲۵) در یک مطالعه موردی در سوئد، طی مصاحبه با کشاورزان دریافتند تامین مالی و جنبه‌های اقتصادی سرمایه‌گذاری در منابع انرژی تجدیدپذیر امری حیاتی است. در عین حال، حمایت‌های نهادی برای کشاورزان دشوار و پیچیده تلقی می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در حال حاضر فناوری‌های متعددی برای تولید انرژی تجدیدپذیر وجود دارد، از جمله باد، خورشید، انرژی آبی و زیست‌توده (بیومس)؛ با این حال، انرژی خورشیدی و بادی به‌طور ویژه‌ای در فرآیندهای تحلیل، طراحی و ساخت محصولات نوآورانه، در حال کسب اهمیت روزافزون هستند. روندهای آینده در انرژی‌های تجدیدپذیر به شرح ذیل می‌باشد:

الف)پیشرفت‌های سلول‌های خورشیدی چند-پیوندی

به‌کارگیری سلول‌های فتوولتائیک چند-پیوندی امکان دستیابی به راندمان تبدیل بالاتر را فراهم کرده‌است، زیرا این نوع سلول‌ها از کاهش تلفات ترمودینامیکی ناشی از جذب فوتون‌هایی با انرژی بیش از گاف انرژی لایه فعال بهره‌مند می‌شوند. به‌طور نظری، سلول‌های سه-پیوندی می‌توانند به راندمانی حدود ٪۵۰ دست یابند و تاکنون سلول‌هایی با استفاده از مواد گروه III–V ساخته شده‌اند که راندمانی بیش از ٪۴۰ را به ثبت رسانده‌اند. با اینکه این راندمان بالا می‌تواند به کاهش هزینه نهایی تولید انرژی خورشیدی منجر شود، اما هزینه

1. Kabir, M., & Ekici, S.
2 . Scordato, L., & Gulbrandsen, M.
3 . Hahn et al.

بالای ساخت این فناوری—که عمدتاً به دلیل نیاز به تکنیک‌های خلأ بالا برای رشد بلورهای نیمه‌رسانای بسیار خالص است—می‌تواند مانعی برای توسعه بازار آن باشد.

ب)فناوری لایه‌نازک، راهکاری برای کاهش هزینه

افزودن فناوری لایه‌نازک به فرآیند تولید سلول‌های چند-پیوندی، به‌طور قابل توجهی هزینه تولید را کاهش می‌دهد. با این حال، از منظر زیست‌محیطی، استفاده از عناصر سمی در ساختار این سلول‌ها یک محدودیت مهم محسوب می‌شود. در این راستا، تلاش‌هایی برای توسعه مواد PV مناسب برای استفاده در لایه جاذب با سطح وسیع و مبتنی بر فناوری لایه‌نازک صورت گرفته است. هدف، تولید مواد نسل دوم و سوم سلول‌های خورشیدی با استفاده از تکنیک‌های ارزان‌قیمت مانند اسپری پایرولیز است.

ج)توسعه سلول‌های ارزان ولی با راندمان بالا

هدف دیگر، آزمون عملی مفهوم چند-پیوندی با تمرکز بر تولید سلول‌های فتوولتائیک چند-پیوندی کم‌هزینه و با راندمان بالا است. کاربرد فناوری‌های نوین رسوب‌دهی لایه‌نازک در این زمینه می‌تواند سلول‌هایی با هزینه مشابه یا کمتر از نمونه‌های تک‌پیوندی، اما با راندمان بسیار بالاتر تولید کند. یکی از چالش‌های مهم، هزینه بالا و کمیابی بسیاری از عناصر مورد استفاده در تولید مواد نیمه‌رسانا با گاف انرژی بهینه برای جذب مؤثر تابش خورشیدی است. از این‌رو، ضروری است که ترکیبات جدیدی از مواد ارزان، در دسترس، و قابل استفاده در پنل‌های خورشیدی با سطح بزرگ توسعه یابند.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

سپاسگزاری

از حمایت معنوی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سپاسگزاری می‌شود.

ORCID

Mehdi Karami Moghadam http://orcid.org/0000-0002-3890-7148

References

Acosta-Silva, Y. D. J., Torres-Pacheco, I., Matsumoto, Y., Toledano-Ayala, M., Soto-Zarazúa, G. M., Zelaya-Ángel, O., & Méndez-López, A. (2019). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. *Science Progress*, *102*(2), 127-140.

Andrade, C. S., Rosa, L. P., & Da Silva, N. F. (2011). Generation of electric energy in isolated rural communities in the Amazon Region a proposal for the autonomy and sustainability of the local populations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 493-503.

Badsar, M., & Karami, R. (2021). Understanding farmers' response to renewable energy: an application of Protection Motivation Theory. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *23*(5), 987-1000.

Barragán-Escandón, A., Jara-Nieves, D., Romero-Fajardo, I., Zalamea-Leon, E. F., & Serrano-Guerrero, X. (2022). Barriers to renewable energy expansion: Ecuador as a case study. *Energy Strategy Reviews*, *43*, 100903.

Benli, H. (2011). Energetic performance analysis of a ground-source heat pump system with latent heat storage for a greenhouse heating. *Energy conversion and management*, *52*(1), 581-589.

Bentouba, S., & Bourouis, M. (2016). Feasibility study of a wind–photovoltaic hybrid power generation system for a remote area in the extreme south of Algeria. *Applied Thermal Engineering*, *99*, 713-719.

Bermudez-Contreras, A., Thomson, M., & Infield, D. G. (2008). Renewable energy powered desalination in Baja California Sur, Mexico. *Desalination*, *220*(1-3), 431-440.

Beyhan, B., Paksoy, H., & Daşgan, Y. (2013). Root zone temperature control with thermal energy storage in phase change materials for soilless greenhouse applications. *Energy Conversion and Management*, *74*, 446-453.

Blanchard, M., & Runkle, E. (2017). Michigan State Univ. (2017), http://www.flor.hrt.msu.edu/energy/

Bot, G., Van De Braak, N., Challa, H., Hemming, S., Rieswijk, T. H., Van Straten, G., & Verlodt, I. (2005). The solar greenhouse: state of the art in energy saving and sustainable energy supply. *Acta Horticulturae*, *691*(2), 501.

Chai, L., Ma, C., & Ni, J. Q. (2012). Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in northern China. *Biosystems Engineering*, *111*(1), 107-117.

Chel, A., & Kaushik, G. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for sustainable development*, *31*(1), 91-118.

Chikaire, J., Nnadi, F. N., Nwakwasi, R. N., Anyoha, N. O., Aja, O. O., Onoh, P. A., & Nwachukwu, C. A. (2010). Solar energy applications for agriculture. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, *2*, 58-62.

Chu, J., Guo, W., & Yan, S. W. (2011). Geosynthetic tubes and geosynthetic mats: Analyses and applications. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, *42*(1), 56-65.

Cocks, F. (2009). Geothermal Energy: Energy From the Earth Itself, Energy Demand and Climate Change. *Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, Weinheim, Germany*, pp. 105–112.

Couture, T., & Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy policy*, *38*(2), 955-965.

de Araujo Lima, L., & Bezerra Filho, C. R. (2010). Wind energy assessment and wind farm simulation in Triunfo–Pernambuco, Brazil. *Renewable Energy*, *35*(12), 2705-2713.

Downing, T. E. (1993). The effects of climate change on agriculture and food security. *Renewable Energy*, *3*(4-5), 491-497.

Dvoskin, D. (1988). Economic realities of utilizing renewable energy in agriculture. *Energy in agriculture*, *6*(4), 283-293.

Faucher, C., & Bastien, J. (2007). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture. IEEE EIC Clim Chang Technol Conf EICCCC 2007; 1–6.

Genovese, A., Alonzo, G., Catanese, V., Incrocci, L., Bibbiani, C., Campiotti, C., & Dondi, F. (2008, October). Photovoltaic as sustainable energy for greenhouse and closed plant production system. In *International Workshop on Greenhouse Environmental Control and Crop Production in Semi-Arid Regions 797* (pp. 373-378).

Ghouchani, M., Taji, M., Cheheltani, A. S., & Chehr, M. S. (2021). Developing a perspective on the use of renewable energy in Iran. Technological Forecasting and Social Change, 172, 121049.

Hahn, C., Lindkvist, E., Magnusson, D., & Johansson, M. (2025). The role of agriculture in a sustainable energy system–The farmers' perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *213*, 115437.

Hanada, K., Litifu, Z., & Nagasaka, K. (2005). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture. IEEE PES Gen Meet 2005; 2005: 209–216.

Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 989-1001.

Kabir, M., & Ekici, S. (2024). Energy-agriculture nexus: Exploring the future of artificial intelligence applications. *Energy Nexus*, *13*, 100263.

Kulshreshtha, S. N., Junkins, B., & Desjardins, R. (2000). Prioritizing greenhouse gas emission mitigation measures for agriculture. *Agricultural Systems*, *66*(3), 145-166.

Liao, C. H., Ou, H. H., Lo, S. L., Chiueh, P. T., & Yu, Y. H. (2011). A challenging approach for renewable energy market

development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 787-793.

Lindsey, R. (2009). Climate and earth's energy budget. In: NASA Earth Observatory, p. 680.

Mahmoudi, H., Abdul-Wahab, S. A., Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Perret, J., Ouagued, A., & Spahis, N. (2008). Weather data and analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries. *Desalination*, *222*(1-3), 119-127.

Meah, K., Ula, S., & Barrett, S. (2008). Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*(4), 1162-1175.

Nam, Y. J., Gao, X. Y., Yoon, S. H., & Lee, K. H. (2015). Study on the performance of a ground source heat pump system assisted by solar thermal storage. *Energies*, *8*(12), 13378-13394.

Neufeldt, H., & Schäfer, M. (2008). Mitigation strategies for greenhouse gas emissions from agriculture using a regional economic-ecosystem model. *Agriculture, ecosystems & environment*, *123*(4), 305-316.

Norberto, C., Gonzalez-Brambila, C. N., & Matsumoto, Y. (2016). Systematic analysis of factors affecting solar PV deployment. *Journal of Energy Storage*, *6*, 163-172.

Ouammi, A., Dagdougui, H., Sacile, R., & Mimet, A. (2010). Monthly and seasonal assessment of wind energy characteristics at four monitored locations in Liguria region (Italy). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(7), 1959-1968.

Pretty, J. N., Ball, A. S., Xiaoyun, L., & Ravindranath, N. H. (2013). The role of sustainable agriculture and renewable-resource management in reducing greenhouse-gas emissions and increasing sinks in China and India. In *Capturing Carbon and Conserving Biodiversity* (pp. 195-217). Routledge.

Rahman, M. M., Khan, I., Field, D. L., Techato, K., & Alameh, K. (2022). Powering agriculture: Present status, future potential, and challenges of renewable energy applications. *Renewable Energy*, *188*, 731-749.

Rhodes, C. J. (2010). Solar energy: principles and possibilities. *Science progress*, *93*(1), 37-112.

Rhodes, C. J. (2017). The imperative for regenerative agriculture. *Science progress*, *100*(1), 80-129.

Sanz, M., Sanz, JF., & Botero, D. (2002). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. IECON Proc (Industrial Electron) Conf 2002; 4: 3332–3337.

Scordato, L., & Gulbrandsen, M. (2024). Resilience perspectives in sustainability transitions research: A systematic literature review. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *52*, 100887.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., ... & Towprayoon, S. (2007). Policy and technological constraints to

implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, ecosystems & environment*, *118*(1-4), 6-28.

Streimikiene, D., Baležentis, T., Volkov, A., Morkūnas, M., Žičkienė, A., & Streimikis, J. (2021). Barriers and drivers of renewable energy penetration in rural areas. *Energies*, *14*(20), 6452.

Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., & Narbel, P. A. (2012). Solar energy: Markets, economics and policies. *Renewable and sustainable energy reviews*, *16*(1), 449-465.

Tong, Y., Kozai, T., & Ohyama, K. (2013). Performance of household heat pumps for nighttime cooling of a tomato greenhouse during the summer. *Applied engineering in agriculture*, *29*(3), 415-422.

Van Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2000). *Solar photovoltaics for sustainable agriculture and rural development; FAO*.

Vilela, O. C., Bione, J., & Fraidenraich, N. (2004). Simulation of grape culture irrigation with photovoltaic V-trough pumping systems. *Renewable energy*, *29*(10), 1697-1705.

Wiser, R., & Bolinger, M. (2006). Balancing cost and risk: The treatment of renewable energy in western utility resource plans. *The Electricity Journal*, *19*(1), 48-59.

Yano, A., Tsuchiya, K., Nishi, K., Moriyama, T., & Ide, O. (2007). Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy. *Biosystems Engineering*, *96*(4), 633-641.

Yuksel, I. (2013). Renewable energy status of electricity generation and future prospect hydropower in Turkey. *Renewable Energy*, *50*, 1037-1043.

Zarnikau, J. (2011). Successful renewable energy development in a competitive electricity market: A Texas case study. *Energy Policy*, *39*(7), 3906-3913.