سال چهارم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۶، ص ص ۳۴ - ۴۳
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۲۲
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۸

مروری بر نقش منابع انرژی تجدیدپذیر در توسعه پایدار

شعله کاظمی فرد[۱]، لیلا ناجی [۲*]، فرامرز افشار طارمی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، شیمی کاربردی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۲- استادیار، شیمی تجزیه (الکتروشیمی)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
۳- استاد، شیمی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
* تهران، ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳، leilanaji@aut.ac.ir

چکیده

تقاضای انرژی جهانی بدلیل افزایش جمعیت و توسعه تکنولوژی بشدت بالا رفته است. بنابراین تمایل به سمت کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر با عمر بالا، قابل اعتماد و مقرون به صرفه افزایش یافته است. انرژی خورشیدی، از میان سایر منابع انرژی تجدیدپذیر، یک منبع انرژی امیدبخش دردسترس و رایگان است که می تواند برای بحران انرژی موجود مورد استفاده قرار گیرد. انرژی خورشیدی و تکنولوژی آن در تمام نقاط جهان در حال پیشرفت می‌باشد که دلیل آن کمبود منابع فسیلی و محدودیت‌های موجود در استفاده از سایر منابع انرژی می‌باشد. انرژی خورشیدی بدلیل مزایای فراوان مانند دردسترس بودن، مقرون به صرفه بودن، ظرفیت و بازده بالا در مقابل سایر منابع انرژی تجدیدپذیر، بهترین گزینه برای تامین انرژی جهان می‌باشد. این مقاله به بررسی لزوم نیاز به منابع انرژی تجدیدپذیر، صنایع انرژی خورشیدی، سناریوهای انرژی جهان و چالش‌های پیش رو می پردازد و انرژی خورشیدی را بعنوان یک گزینه مطلوب معرفی می‌نماید. همچنین فرصت‌های همراه با منابع انرژی تجدیدپذیر را مرور میکند که شامل امنیت انرژی، دسترسی به انرژی، توسعه اجتماعی و اقتصادی، کاهش تغییرات آب و هوایی و درنهایت کاهش خطرات سلامت می‌باشد. علیرغم فرصت‌هایی که بوجود می آید، چالش‌هایی نیز در زمینه توسعه پایدار منابع انرژی تجدیدپذیر وجود دارد.

کلیدواژگان: منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، توسعه پایدار، تغییر اقلیم

Review on Renewable Energy Sources Role in Sustainable Development

Sholeh Kazemifard[1], Leila Naji[2*], Faramarz Afshar Taromi[3]

1, 2- Department of Chemistry, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
3- Department of Polymer Engineering & Color Technology, Amirkabir University of Technology, Tehran. Iran
* P.O.B. 15875-4413 Tehran, Iran, leilanaji@aut.ac.ir
Received: 12 November 2016 Accepted: 18 June 2017

Abstract

Due to population explosion and technological progresses, world's energy demand is growing up fast. Therefore application of renewable energy sources because of reliable, cost-effective and everlasting for energy demand is attractive. Solar energy, among different types of renewable energy sources, is a promising candidate and easily available source to manage long term for energy crisis. Solar technology and industry is developing all over the world because of lack of fossil fuels and limitations for application of the other types of energy. Solar energy shows many advantages such as availability, cost effective, high capacity and efficiency compared to other types of renewable resources, therefore is the best option for energy supply around the world. This paper considers the need of renewable energy, solar energy industries, world energy scenarios and challenges, and introduces solar energy as a good candidate. Also the paper reviewed the opportunities associated with renewable energy sources including energy security, energy access, social and economic expansion, climate change mitigation, and finally reduction of health effects. Despite these opportunities, there are challenges about sustainability of renewable energy sources.

Keywords: Renewable Resources of Energy, Solar Energy, Sustainable Development, Climate Change

۱- مقدمه

منابع انرژی تجدیدپذیر، ۱۴٪ از انرژی مورد نیاز کل جهان را تأمین می‌کنند [۱]. این منابع شامل، زیست توده، انرژی آبی، زمین گرمائی، انرژی‌های خورشیدی، بادی و دریایی می‌باشد. انرژی تجدیدپذیر از جمله منابع انرژی اولیه، داخلی و تمیز و به عبارتی منابع انرژی غیر قابل پایان است [۲، ۳]. منابع انرژی آبی، ۲۰ درصد از انرژی الکتریسیته جهان را تأمین می‌کند. انرژی باد نیز در سواحل و سایر مناطق بادخیز نوید بخش منبع انرژی می‌باشد [۱، ۴]. منابع اصلی انرژی تجدیدپذیر و موارد استفاده آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ منابع مهم انرژی تجدیدپذیر و قالب‌های کاربردی آن‌ها

منبع انرژی	تبدیل انرژی و روش استفاده
توان سیال	تبدیل توان
زیست توده جدید	گرما و تولید توان، پیرولیز، فرآیندهای تبدیل گاز، هضم و جذب
زمین گرمایی	گرمایش شهری، تولید توان، هیدروترمال، سنگ داغ خشک
خورشیدی	سیستم خانگی خورشیدی، خشک کن خورشیدی، غذاپز خورشیدی
خورشید مستقیم	فوتوولتائیک، تولید توان گرمایی، هیترهای آبی
باد	تولید توان، ژنراتور بادی، پمپ‌های آب، آسیاب بادی
موج	طراحی‌های مختلف
جزر و مد	سدسازی، جریان‌های جزر و مدی

منابع انرژی تجدیدپذیر تحت عنوان منابع انرژی جایگزین نیز نامیده می‌شوند و انتظار می‌رود سهم آنها بطور چشمگیری در سال‌های آینده افزایش یابد (٪۳۰-٪۸۰ در سال ۲۱۰۰) [۴]. سناریو انرژی تجدیدپذیر برای جهان تا سال ۲۰۴۰ در جدول ۲ ارائه شده است.

توسعه پایدار نیازمند روش‌ها و ابزارهایی برای اندازه‌گیری و مقایسه تأثیرات زیست محیطی فعالیت‌های بشر برای محصولات مختلف است [۵]. در حال حاضر، در راستای ارتقاء کیفیت زندگی، صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه و افزایش جمعیت جهانی، مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش چشمگیری یافته اند. افزایش بی رویه مصرف سوخت‌های فسیلی نه تنها منجر به افزایشی در نرخ تقلیل منابع سوخت‌های فسیلی شده است، بلکه تأثیر جدی و مضری بر روی محیط زیست دارد و باعث افزایش خطرات سلامتی و تغییر مخاطره آمیز شرایط جوی کره زمین می‌شود [۶]. تغییرات در راستای بهبود محیط زیست، در سطح جهان، بخصوص در کشورهای توسعه یافته در حال پذیرفتن است. جامعه بطور آهسته به سمت جستجوی روش تولید پایدار، کمینه سازی اتلاف، کاهش آلودگی ایجاد شده توسط وسایل، حفاظت جنگل‌های محلی و کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای سوق می یابد [۷].در راستای افزایش مصرف سوخت فسیلی، برای مقابله با هشدار اخیر تقاضای انرژی در خصوص بحران انرژی، یک تجدید نظر مفید برای ارتقاء جایگزین‌های تجدیدپذیر جهت تامین نیاز انرژی در حال رشد جهانی ارائه شده است [۹-۸]. مصرف بی رویه سوخت‌های فسیلی از طریق دی اکسید کربن منجر به گرم شدن کره زمین شده است. بنابراین، ارتقاء انرژی خالص و پاک تجدیدپذیر بطور گسترده‌ای مورد نیاز است [۱۰]. جهت نظارت بر نشر گازهای گلخانه ای قراردادی با هدف پیشگیری از آلودگی سراسری تحت عنوان پیمان پروتکل کیوتو وضع گردید [۱۱].

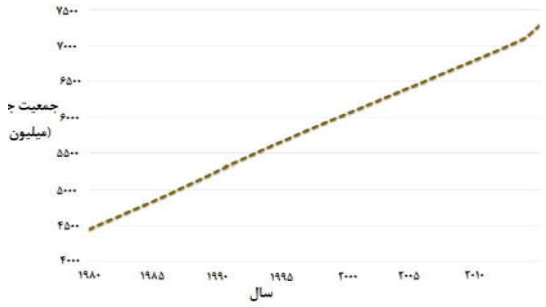
جدول ۲ سناریوهای انرژی تجدیدپذیر جهانی تا سال ۲۰۴۰

	۲۰۰۱	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
تمام مصرف (برابر با میلیون تن نفت)	۱۰۰۳۸	۱۰۵۴۹	۱۱۴۲۵	۱۲۳۵۲	۱۳۳۱۰
زیست توده	۱۰۸۰	۱۳۱۳	۱۷۹۱	۲۴۸۳	۳۲۷۱
سیال بزرگ	۲۲/۷	۲۶۶	۳۰۹	۳۴۱	۳۵۸
زمین گرمایی	۴۳/۲	۸۶	۱۸۶	۳۳۳	۴۹۳
سیال کوچک	۹/۵	۱۹	۴۹	۱۰۶	۱۸۹
باد	۴/۷	۴۴	۲۶۶	۵۴۲	۶۸۸
خورشید-حرارتی	۴/۱	۱۵	۶۶	۲۴۴	۴۸۰
فوتوولتائیک	۰/۱	۲	۲۴	۲۲۱	۷۸۴
خورشیدی-حرارتی-الکتریسیته	۰/۱	۰/۴	۳	۱۶	۶۸
دریایی (جزر و مد، موج، اقیانوسی)	۰/۰۵	۰/۱	۰/۴	۳	۲۰
تمام منابع انرژی تجدیدپذیر	۱۳۶۵/۵	۱۷۴۵/۵	۲۹۶۴/۴	۴۲۸۹	۶۳۵۱
سهم منابع انرژی تجدیدپذیر (٪)	۱۳/۶	۱۶/۶	۲۳/۶	۳۴/۷	۴۷/۷

در این مقاله، برای یافتن دامنه ای از ابزارهای انرژی‌های تجدیدپذیر تلاش شده است، که بتوانند پاسخگوی نیازهای انرژی و تعدیل گازهای گلخانه‌ای بخصوص دی اکسیدکربن باشند. همچنین مباحث مرتبط با توسعه پایدار مانند امنیت انرژی، دسترسی به انرژی، تغییرات آب و هوایی نیز بررسی می‌گردند و درانتها انرژی خورشید بعنوان یک منبع مطلوب انرژی، با ظرفیت و توان بالا، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

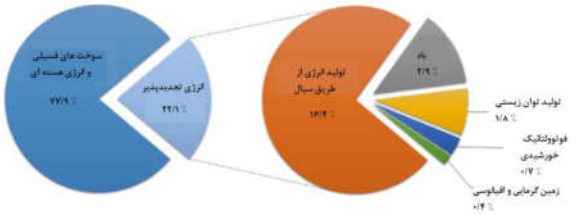
۲- طرح یا سناریوی انرژی جهان، نیروهای محرکه و گرایش‌های توسعه

تقاضای انرژی در جهان در حال افزایش است. علت اصلی میزان مصرف بالای انرژی، رشد جمعیت بوده است و همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود در سال ۲۰۱۴ در حدود ۴۶/ ۷۲۸۲ میلیون نفر در جهان زندگی می کرده اند [۱۲]. برای برآورده کردن این تقاضای انرژی در سرتاسر جهان از منابع متعددی استفاده شده است.



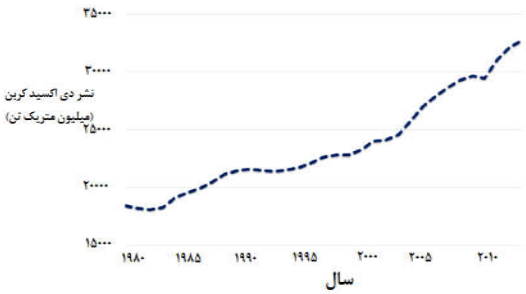
شکل ۱ وضعیت جمعیت جهان [۱۲]

شکل ۲ همانند جدول ۲، منابع مختلفی را که برای ایجاد الکتریسیته مورد استفاده قرار گرفته، نشان می‌دهد. اما، در حدود ۷۷/۹ ٪ الکتریسیته از سوخت‌های فسیلی و منابع هسته ای تولید می‌شود که پر هزینه هستند و با تولید CO_2 محیط زیست را آلوده می‌کنند. در حدود ۰/۷ ٪ الکتریسیته نیز توسط PV خورشیدی تأمین می‌گردد [۱۳]. بنابراین، برای توسعه صنعت PV به منظور استفاده بهینه از انرژی خورشیدی که براحتی در دسترس می‌باشد، به تحقیقات بیشتری نیاز است.



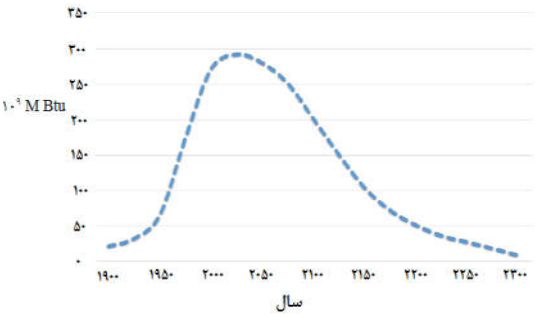
شکل ۲ تولید الکتریسیته جهانی [۱۳]

جهان روز به روز آلوده‌تر می‌شود و به موجودات زنده آسیب بیشتری وارد می‌گردد. شکل ۳ انتشار کل گاز CO_2 ناشی از مصرف انرژی را نشان می دهد. در سال ۲۰۱۲ در حدود ۳۲۷۲۳ میلیون متریک تن گاز CO_2 تولید شده است [۱۴]. این میزان تولید، بسیار زیاد است و به مسائل محیط زیستی متعددی از قبیل تغییر آب و هوا و در نتیجه ذوب شدن یخ‌ها و افزایش سطح آب دریاها منجر می‌شود. به علت آلودگی محیط زیست و از بین رفتن منابع سوخت‌های فسیلی، جهان باید توجه خود را به منابع انرژی تجدیدپذیر معطوف کند.



شکل ۳ نشر تمام دی اکسید کربن تولیدی در اثر مصرف انرژی [۱۴]

شکل ۴ وضعیت انرژی سوخت‌های فسیلی جهان را نشان می دهد. براساس این شکل پس از سال ۲۳۰۰ منابع انرژی به اتمام خواهد رسید [۱۵]. بنابراین، اکنون برای افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر گام‌های مهمی برداشته شده است.



شکل ۴ انرژی سوخت فسیلی جهان [۱۵]

۳- انرژی تجدیدپذیر و توسعه پایدار

انرژی تجدیدپذیر نقش مهمی در آینده جهان ایفا خواهد کرد. منابع انرژی تجدیدپذیری که نیازهای انرژی خانگی را تأمین می‌کنند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلوده کننده هوای صفر و یا نزدیک صفر را دارد. توسعه سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر منجر به حل مسائل مهمی از جمله ارتقاء منبع انرژی قابل اعتماد و سوخت ارگانیک مقرون به صرفه، حل مشکلات انرژی محلی و منبع آب، افزایش استاندارد زندگی و سطح اشتغال جمعیت بومی، تضمین توسعه پایدار مناطق دوردست در نواحی بیابانی و کوهستانی و اجرای التزامات کشورها درخصوص انجام توافق نامه‌های بین المللی در مورد حفاظت محیط زیست می‌شود [۱۶]. توسعه و اجرای پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر در مناطق روستایی می تواند منجر به ایجاد فرصت‌های شغلی شده، در نتیجه باعث کاهش مهاجرت به شهر می‌گردد [۱۷]. جمع آوری انرژی تجدیدپذیر به روش غیرمتمرکز از طریق راه‌های قابل اعتماد، مقرون‌به‌صرفه و پایدار محیطی یکی از گزینه‌هایی است که مطابق نیازهای انرژی کوچک مقیاس و روستایی است[۱۹-۱۸].

انرژی تجدید پذیر از طریق تأثیر در توسعه انسانی و بهره‌وری اقتصادی، رابطه مستقیمی با توسعه پایدار دارد [۲۰]. منابع انرژی تجدیدپذیر فرصت‌هایی در زمینه‌ی امنیت انرژی، توسعه اجتماعی و اقتصادی، دسترسی به انرژی، کاهش تغییرات آب و هوایی و کاهش اثرات زیست‌محیطی و سلامت را فراهم می‌کند [۲۱]. شکل ۵ فرصت‌های منابع انرژی تجدیدپذیر را در خصوص توسعه پایدار نشان می‌دهد. در ادامه این فرصت ها بطور خلاصه بررسی می‌گردند.

شکل ۵ فرصت‌های منابع انرژی تجدیدپذیر

۳-۱- امنیت انرژی

هرچند هیچ توافق عمومی در مورد تفسیر دقیق امنیت انرژی وجود ندارد اما مفهوم کلی آن مورداستفاده قرار می‌گیرد. بااین‌حال، نگرانی در مورد امنیت انرژی بر اساس تصوری است که یک منبع دائمی انرژی وجود دارد که برای چرخه اقتصادی بسیار مهم است [۲۲]. با توجه به وابستگی متقابل رشد اقتصادی و مصرف انرژی، دسترسی به یک منبع انرژی پایدار برای دنیای سیاسی بهمراه چالش فنی و پولی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مهم است [۲۴-۲۳]. منابع انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با فسیل‌ها به‌طور عادلانه در سراسر جهان توزیع شده و عموماً کمتر از فسیل‌ها دادوستد می‌شوند. انرژی تجدیدپذیر واردات انرژی را کاهش داده، منجر به تنوع منابع می‌شود، آسیب پذیری اقتصادی را در برابر نوسانات قیمت کاهش داده، و

فرصت‌هایی را برای افزایش امنیت انرژی در سراسر جهان ایجاد می‌کند. معرفی انرژی‌های تجدیدپذیر همچنین می‌تواند به افزایش اعتبار خدمات انرژی، به ویژه در مناطقی که دسترسی کافی به شبکه ندارند کمک کند. منابع انرژی متنوع به‌صورت یکجا می‌توانند با یک مدیریت و طراحی سیستم خوب باعث افزایش امنیت شوند [۲۳].

۳-۲- توسعه اجتماعی و اقتصادی

به‌طورکلی، بخش انرژی با داشتن ارتباط قوی بین رشد اقتصادی و افزایش مصرف انرژی به عنوان کلید توسعه اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. در سطح جهانی، درآمد سرانه، همبستگی مثبتی با سرانه مصرف انرژی دارد و رشد اقتصادی می‌تواند به عنوان عامل مهم افزایش مصرف انرژی در دهه‌های اخیر شناخته شود و در نتیجه به نوبه خود می‌تواند باعث ایجاد اشتغال گردد. مطالعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۰۸، ثابت کرد که اشتغال از طریق فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر در حدود ۲/۳ میلیون از مشاغل سراسر جهان را شامل می‌شود، که علاوه بر اشتغال باعث بهبود بهداشت، آموزش، برابری جنسیتی و امنیت محیط زیست نیز شده است [۲۳].

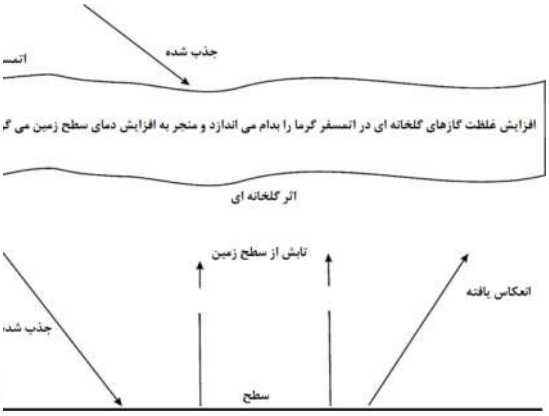
۳-۳- دستیابی به انرژی

یکی دیگر از اهداف توسعه پایدار، جستجو و اطمینان حاصل کردن از پاکی، مقرون‌به‌صرفه بودن و قابل استفاده و قابل دسترس بودن انرژی برای همه است و این در صورتی می‌تواند به‌وسیله منبع انرژی تجدیدپذیر عملی گردد که در سراسر جهان توزیع شده باشد. مسئله دسترسی باید در زمینه داخلی حل و فصل گردد و در بسیاری از کشورها تفاوت آشکاری میان برق مناطق شهری و روستایی وجود دارد، این امر به‌خصوص در کشورهای جنوب صحرای آفریقا و منطقه جنوب آسیا صحت دارد [۲۴]. رقابت شبکه‌های توزیع شده برپایه انرژی‌های تجدیدپذیر، به‌طورکلی در مناطق روستایی که فاصله زیادی از شبکه ملی دارند بیشتر است و میزان پایین برق‌رسانی روستایی، فرصت‌های قابل‌توجهی را برای انرژی‌های تجدیدپذیر مبنی بر سیستم‌های ریز شبکه عرضه می‌کند تا برق در دسترس آن‌ها باشد [۲۳].

۳-۴- سناریوهای تغییر اقلیم

تغییر اقلیم یکی از اساسی‌ترین نگرانی‌های بشر در قرن ۲۱ می‌باشد [۲۶]. این تغییرات ممکن است به طریقی سلامتی را به خطر بیاندازد. برای مثال، در اثر افزایش فرکانس و شدت امواج گرما، سردی هوا کاهش یافته و منجر به مرگ می‌گردد و یا افزایش سیلاب و خشکسالی منجر به تغییرات در توزیع بیماری‌های مادرزادی شده و درنتیجه خطر بیماری و سوء تغذیه را افزایش می دهد. احتمالاً توازن کلی تأثیرات بر روی سلامتی منفی است و محتملاً آلودگی در کشورهای کم درآمد تأثیرات مضر را منجر می‌شود. تجربه موج گرمای ۲۰۰۳ در اروپا نشان داد، کشورهای پردرآمد نیز ممکن است از این امر متأثر شده و آسیب ببینند [۲۷]. یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی مرتبط با انرژی بی شک تغییرات اقلیمی کره زمین است (گرم شدن جهانی یا اثر گلخانه ای). افزایش غلظت گازهای گلخانه ای از قبیل CO_2، CH_4، CFCs،هالون‌ها، N_2O، اوزون و پروکسی استیل نیترات در اتمسفر همانند یک تله عمل می‌کنند و اشعه گرمایی تابیده شده به سطح زمین را محبوس کرده و منجر به افزایش دمای کره زمین می‌گردند [۲۸]. مشکلات مرتبط با تغییرات اقلیمی جهانی بصورت شماتیک در شکل ۶ نشان داده شده است.

بسیاری از تحقیقات علمی آشکار می‌کند که سطوح کلی CO_2 در ۲۰۰ سال گذاشته ۳۱٪ افزایش داشته است و مقدار کربن فوق العاده بالایی از سال ۱۸۰۰ از طریق جنگ زدایی به محیط زیست اضافه شده است و غلظت گاز متان که مسئول خالی شدن لایه اوزن بوده نیز از همان سال بیش از دو برابر شده است. در قرن اخیر میانگین دمای سطحی کره زمین ۰/۴-۰/۸ درجه سانتیگراد بیشتر از خط مبنای ۱۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. افزایش دمای جهانی بالطبع منجر به نرخ افزایش سالانه ۱-۲ میلیمتر در میانگین سطوح دریا در قرن اخیر شده است. دریاهای یخی قطبی ۴۰٪ نازکتر شده و از تابستان ۱۹۵۰ به اندازه ۱۰ تا ۱۵٪ کاهش یافته است [۲۹]. شرکت‌های صنعتی بطور مستقیم و غیرمستقیم (از طریق مصرف برق) در انتشار ۳۷٪ از گازهای گلخانه ای حاصل از مصرف ۸۰٪ انرژی نقش دارد. انرژی کلی مرتبط با انتشار که در سال ۲۰۰۴ حدود ۹/۹ Gt از CO_2 بوده است از سال ۱۹۷۱ رشدی در حد ۶۵٪ نشان داده است [۳۰]. اگر استفاده بهینه و کارآمد منابع انرژی تجدیدپذیر در نشست‌های انرژی ترویج یابد، چشم انداز وسیع برای به حداقل رساندن انتشار گازهای گلخانه ای وجود دارد [۳۱].



شکل ۶ توضیح شماتیکی اثر گلخانه ای

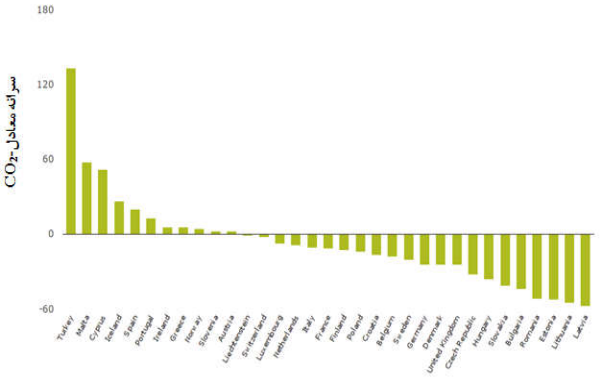
جدول ۳ آشکار می‌کند که از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۵ میزان رشد انتشار CO_2 به طور میانگین در هر سال ۱/۷ ٪ است. نظریه های مختلفی نرخ رشد سریع در حدود ۲/۲ ٪ در سال را برای میزان انتشار CO_2 تا سال ۲۰۲۰، پیش بینی می‌کند. تا سال ۲۰۲۰ کشورهای در حال توسعه می توانند مسئول نیمی از میزان انتشار گازهای CO_2 باشند.

جدول ۳ نشر CO2 با توجه به منطقه جغرافیایی (میلیون تن CO2)

	۱۹۷۱	۱۹۹۵	۲۰۱۰	۲۰۲۰
OECD	۹۰۳۱	۱۰۷۶۳	۱۳۴۲۷	۱۴۴۷۶
اقتصادهای در حال توسعه	۳۰۲۹	۳۱۳۵	۳۸۵۲	۴۴۶۵
چین	۸۷۵	۳۰۵۱	۵۳۲۲	۷۰۸۱
باقی جهان	۱۴۳۶	۴۷۹۱	۸۰۳۴	۱۱۱۶۳
جهان	۱۴۷۳۲	۲۲۱۵۰	۳۱۱۸۹	۳۷۸۴۸

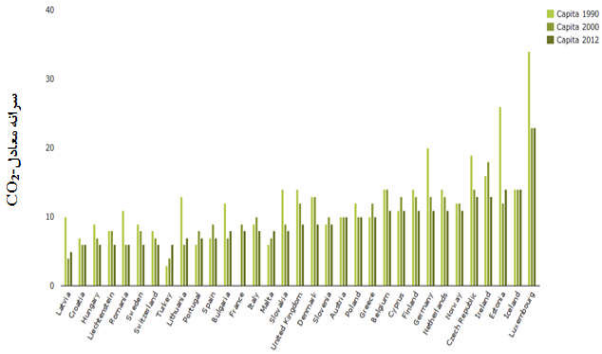
منابع انرژی تجدیدپذیر به کار رفته در تولید انرژی به کاهش گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند که این کاهش تغییرات اقلیمی، کاهش مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی، با آلاینده‌های حاصل از منابع انرژی سوخت فسیلی در ارتباط است. تغییر کلی انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای عضو آژانس محیط زیست اروپا (EEA) در سال ۱۹۹۰-۲۰۱۲ و انتشار گازهای گلخانه‌ای خودسرانه، در شکل ۷ و ۸ نشان داده‌شده است. شکل ۷

نشان می‌دهد که در ۳۳ کشور EEA، انتشار گازهای گلخانه‌ای در بین سال ۱۹۹۰-۲۰۱۲، ۱۴٪ کاهش یافته است. با این وجود، تفاوت‌هایی در کشورهای عضو EEA وجود دارد، بطوریکه با وجود کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ۲۲ کشور EEA، در ۱۱ کشور EEA افزایش وجود دارد.



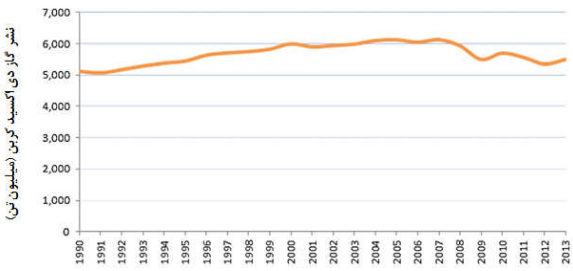
شکل ۷ تغییر در نشر گازهای گلخانه ای در ۳۳ کشور عضو آژانس محیط زیست اروپا (منبع: آژانس محیط زیست اروپا)

همانطور که در شکل ۸ (EEA، 2016) نمایش داده‌شده است در بین سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۲ انتشار گازهای گلخانه‌ای سرانه ۲۲ درصد در کشورهای منطقه اقتصادی اروپا کاهش یافته است.



شکل ۸ سرانه معادل نشر گازهای گلخانه ای در ۳۳ کشور عضو آژانس محیط زیست اروپا (منبع: آژانس محیط زیست اروپا)

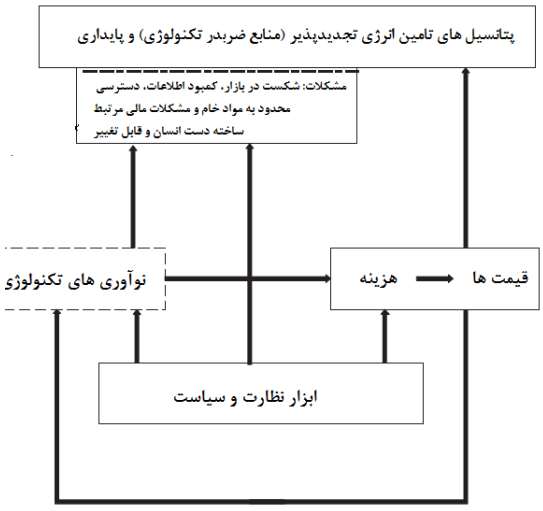
شکل ۹ انتشار گاز دی اکسید کربن ایالات متحده را در سال ۱۹۹۰-۲۰۱۳ نشان می‌دهد. شکل ۹ مثالی از کاهش سطوح انتشار دی اکسید کربن در ایالات متحده آمریکا را در سال ۱۹۹۰-۲۰۱۳ نشان می‌دهد، که انتقالی از منابع انرژی بر پایه سوخت‌های فسیلی به منابع انرژی تجدیدپذیر صورت گرفته است (ایالات متحده آمریکا حفاظت اداره محیط زیست، ۲۰۱۴).



شکل ۹ نشر گاز دی اکسید کربن در ایالات متحده در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ (منبع: آژانس محافظت از محیط زیست امریکا)

۴- چالش‌های مؤثر بر منابع انرژی تجدیدپذیر

منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند گزینه اصلی برای تامین انرژی در اقتصاد انرژی کم کربن باشند. تغییرات مخرب در تمام سیستم‌های انرژی برای ضربه زدن به منابع انرژی تجدیدپذیر گسترده و در دسترس، ضروری است. سازمان دهی انتقال انرژی از حالت غیر پایدار به حالت انرژی‌های تجدیدپذیر اغلب به عنوان یکی از چالش‌های عمده نیمه اول قرن بیست و یکم توصیف می‌شود [۳۲]. شکل ۱۰ ارتباط بین عوامل موثر بر منابع انرژی تجدیدپذیر و پایداری را نشان می‌دهد. در شکل ۱۰ مشهود است که مانع عمده استفاده از منبع انرژی تجدیدپذیر به سیاست یک کشور و ابزار اجرای سیاست بستگی دارد که به نوبه خود هزینه و نوآوری‌های تکنولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این، نوآوری‌های تکنولوژیکی، هزینه فن‌آوری‌های انرژی تجدیدپذیر را که به نوبه خود منجر به شکست بازار و کاهش تشویق فن‌آوری انرژی تجدیدپذیر می‌شوند تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، باید ارتباط بین عوامل مؤثر بر منابع انرژی تجدیدپذیر و پایداری را در نظر گرفت.



شکل ۱۰ ارتباط میان فاکتورهای مؤثر بر تولید و پایداری منابع انرژی تجدیدپذیر [۲۳، ۳۲]

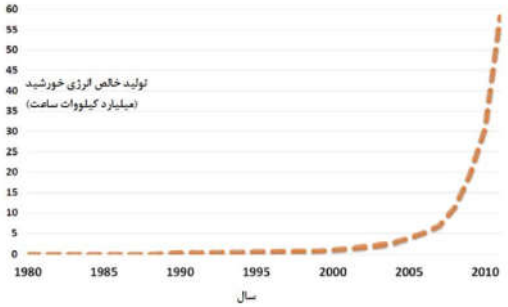
در ادامه روش‌هایی توصیه شده است که می‌توانند به کاهش تغییرات آب و هوا و اثرات آن کمک کنند:

- همه بخش‌ها و مناطق به‌واسطه سرمایه‌گذاری در فن‌آوری‌های انرژی تجدیدپذیر و سیاست‌های خود، قابلیت مشارکت برای کمک به کاهش آن را دارند.
- کاهش اثر کربن خود از طریق ایجاد تغییرات در الگوی شیوه زندگی و رفتار، می‌تواند به کاهش تغییرات آب و هوا کمک کند.
- تحقیق در مورد ابداعات و فناوری‌هایی که می‌توانند استفاده از اراضی را کاهش داده و همچنین به‌واسطه منابع انرژی تجدیدپذیر، عوارض و خطر رقابت منابع را نیز کاهش دهند. به عنوان مثال در بیوانرژی که در آن غذای مصرفی با تولید انرژی در رقابت است.
- افزایش حمایت و همکاری‌های بین‌المللی برای کشورهای در حال توسعه در جهت گسترش زیر بنا و ارتقاء فن‌آوری برای راه‌اندازی منبع جدید و انرژی پایدار به عنوان راهی برای کاهش تغییرات آب و هوا و اثرات آن.

بنابراین تغییر جهت از منابع انرژی تجدیدناپذیر به منابع انرژی تجدیدپذیر، اثرات بسیار مثبتی را برای جامعه بشری بهمراه دارد. از این رو در ادامه، انرژی خورشیدی بعنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر در دسترس که تحقیقات بسیاری طی سال‌های گذشته برروی آن انجام شده است و پیشرفت‌های زیادی در صنعت فوتوولتائیک مشاهده شده است، بررسی می‌گردد.

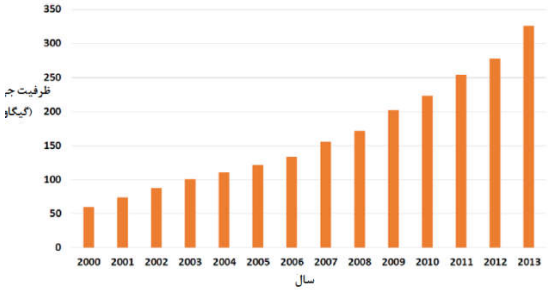
۵- انرژی خورشیدی

در سال ۲۰۱۳ افزایش چشمگیری، در حدود ۳۹ ٪، برای فوتوولتائیک (PV) خورشیدی ثبت شده است که نویدبخش برآورده شدن نیازهای انرژی جهان در آینده است. فناوری فتوولتائیک بسیار سریع توسعه می‌یابد و برای تولید الکتریسیته بیشتر به منظور رفع نیازهای مردم بکار می‌رود. شکل ۱۱ روند تولید خالص الکتریسیته خورشیدی را نشان می دهد. از سال ۲۰۰۷ افزایش چشمگیری در مشارکت فناوری‌های جدید از قبیل تمرکز و کلکتورهای لوله ای تخلیه شده ایجاد شده است [۱۴].



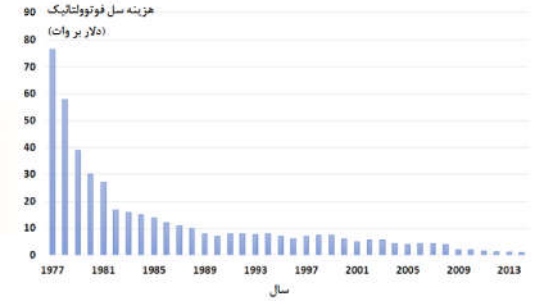
شکل ۱۱ تولید خالص انرژی خورشید (میلیارد کیلووات ساعت) [۱۴]

علاوه براین، صنعت حرارت خورشیدی نیز رشد چشمگیری داشته است. برای کسب نور خورشید و تولید گرما با اتلاف حداقل، از کلکتورهای متعددی استفاده می‌شود. شکل ۱۲ ظرفیت کلی کلکتورهای گرم کننده آب خورشیدی را در سرتاسر جهان نشان می دهد. در سال ۲۰۱۳ در حدود ۳۲۶ گیگاوات انرژی حرارتی توسط کلکتورهای خورشیدی تولید شده است [۱۳]. بزرگترین تأسیسات سیستم گرمایش خورشیدی در چین و اروپا می‌باشد [۳۴-۳۳]. برزیل در نظر داشت تا آخر سال ۲۰۱۵ تقریباً ۱۰۰۰ مگاوات سیستم گرمایش خورشیدی برای کاهش استفاده از منابع سوخت‌های فسیلی و برای جبران انرژی دایر کند [۳۳].



شکل ۱۲ ظرفیت جهانی کلکتورهای گرمایش آب خورشیدی [۱۳]

در گذشته ساخت سلول‌های خورشیدی به علت هزینه بالای آن کار دشواری بود. برای کاهش هزینه ساخت و به منظور ایجاد سیستم‌های PV بهتر تحقیقات وسیعی انجام گرفته است. شکل ۱۳ پیشینه بهای سلول‌های PV سیلیکونی را برحسب هر وات به دلار نشان می دهد. به علت کارایی بهتر و دوام بیشتر فناوری سیلیکونی، این فناوری در طراحی سلول‌های خورشیدی کاربرد بیشتری دارد. به علت مشارکت فناوری‌های جدید در صنعت PV، هزینه ساخت این دستگاه‌ها از ۷۶/۶۷ دلار در سال ۱۹۷۷ به ۰/۳۶ دلار در سال ۲۰۱۴ کاهش یافته است [۳۵].



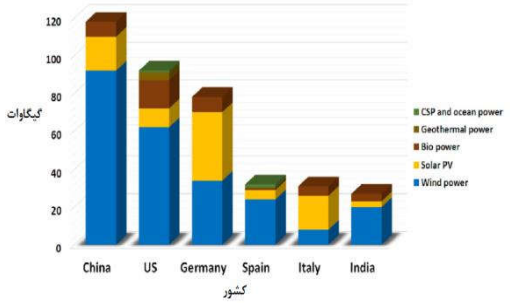
شکل ۱۳ روند تغییرات قیمت سل سیلیکونی در واحد دلار بروات]۳۵[

کشورهایی از قبیل چین، ایالات متحده امریکا، آلمان، اسپانیا، ایتالیا، و هند در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق پیشرو هستند. شکل ۱۴ ظرفیت انرژی تجدیدپذیر این کشورها را در سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. در میان این کشورها، آلمان در استفاده از PV خورشیدی برای تولید برق پیشتاز است [۱۳]. کشور هند نیز ، به علت روند رشدی که در استفاده از PV خورشیدی برای آینده پایدار دارد، در این لیست قرار گرفته است [۳۶]. کشورهای دیگر درحال توسعه نیز باید در پیشبرد فناوری PV خورشیدی برای توسعه خود گام‌های بزرگی بردارند، زیرا میزان نور خورشید در این کشورها در مقایسه با کشورهای توسعه یافته بیشتر است [۳۷].

۵-۱- کاربردهای انرژی حرارتی خورشیدی

از آنجایی که انرژی حرارتی خورشیدی به عنوان یکی از مهمترین منابع تجدیدپذیر حائز اهمیت فراوانی می‌باشد، هم بطور مستقیم و غیرمستقیم در دسترس است. خورشید با نرخ $۳ \times ۸/۱ \times ۱۰^{۲۳}$ کیلووات انرژی ساطع میکند که تقریباً $۱/۸ \times ۱۰^{۱۴}$ کیلووات از آن توسط زمین محبوس می‌شود [۳۸]. محدوده وسیعی برای استفاده از انرژی خورشیدی در دسترس برای

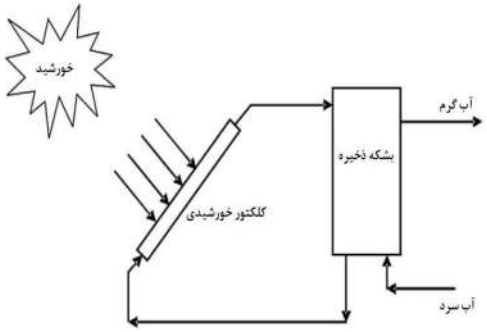
کاربردهای حرارتی از قبیل پخت و پز، گرم کردن آب و خشک کردن محصولات و غیره وجود دارد.



شکل ۱۴ ظرفیت تولید توان انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان [۱۳]

مطالعه ای در کوستا ریکا[1] و سرتاسر جهان انجام گردید و مقایسه ای در خصوص مزایا و محدودیت‌های اجاق‌های خورشیدی با اجاق‌های الکتریکی و هیزمی صورت گرفت. دوره بازپرداخت[2] یک اجاق گاز خورشیدی معمولی، حتی اگر به مدت ۶-۸ ماه در سال مورد استفاده قرار گرفته باشد حدود ۱۲-۱۴ ماه است که بطور کلی ۱۶/۸ میلیون تن هیزم می تواند ذخیره شده و همچنین مانع از نشر سالانه ۳۸/۴ میلیون تن دی اکسید کربن می‌شود [۳۹].

آبگرمکن‌های خورشیدی خانگی که مناسب تأمین نیاز آب گرم یک خانواده ۴ نفری است، از محیط زیست محافظت می‌کنند و می توانند برای دستیابی به یک آینده بهتر مورد استفاده قرار گیرند [۴۰]. تخمین زده می‌شود که ظرفیت هر روز سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی خانگی می تواند در حدود ۱۲۳۷ کیلوگرم انتشار CO_2 را در سال با بهره برداری ۵۰٪ از ظرفیت آبگرمکن کاهش دهد و در مناطق گرمسیر و آفتابی این میزان ۱۴۱۰/۵ کیلوگرم می‌باشد [۴۲-۴۱]. یک تصویر شماتیک از آبگرمکن خورشیدی در شکل ۱۵ ارائه شده است.



شکل ۱۵ شماتیکی از یک آبگرمکن در مقیاس خانگی [۴۳]

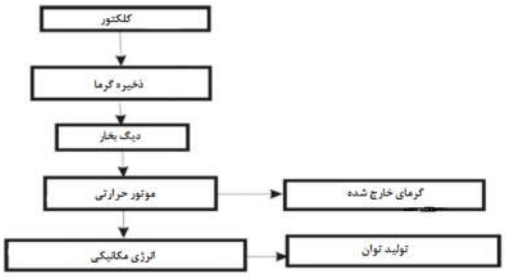
فناوری خشک کننده خورشیدی یک جایگزین برای روندی است که بتوان سبزیجات و میوه‌ها را به روش تمیز، بهداشتی و با استانداردهای ملی و بین المللی با صرف هزینه انرژی صفر خشک نمود. این روش باعث ذخیره انرژی و زمان می‌شود. در عین حال محل کمی را اشغال نموده و کیفیت محصولات را ارتقا می‌دهد و باعث می‌شود که روند خشک کردن بسیار کارآمدتر بوده و حفظ کننده محیط زیست باشد[۴۳].

[1] Costa Rica
[2] Payback period

تخمین زده شد که تولید CO_2 برای یک سیستم خشک کننده در ۲۵ روز هر ماه در طی ۱۱ ماه فعالیت در یک سال، از ۱۰۰ کیلووات ساعت/روز انرژی الکتریسیته استفاده می‌کند [۴۴]. این مقدار تقریباً برابر ۱۴/۷۷ تن/سال CO_2 است. همچنین مطالعه بر روی خشک کننده محصول خورشیدی و قابلیت انتشار CO_2 انجام شده است. تخمین زده شد که می‌توان با سطح دهانه یک مترمربع به ذخیره ۴۳۶ کیلوگرم دی اکسید کربن در چرخه عمر آن رسید [۴۵].

۵-۱-۱- توان حرارتی خورشیدی

مناطق دوردست زیادی در جهان وجود دارد که در آنها الکتریسیته در دسترس نیست، اما تشعشع خورشید به وفور موجود است، پس استفاده از انرژی خورشیدی برای تولید برق در این مناطق کاملاً ممکن است [۴۶]. سیستم توان الکتریسیته حرارتی خورشیدی[3] وسیله ای است که از تشعشات خورشید برای تولید الکتریسیته از طریق تبدیل حرارت خورشیدی استفاده می‌کند. بطور کلی انرژی خورشیدی از طریق استفاده از دستگاه تبدیل گرما به الکتریسیته که در شکل ۱۶ نشان داده شده است، به الکتریسیته تبدیل می‌شود [۴۸-۴۷]. اجزای اصلی هر سیستم حرارتی خورشیدی یک جمع کننده خورشیدی است. جمع کننده‌های انرژی خورشیدی نوع خاصی از مبادله کننده هستند که انرژی تشعشعات خورشیدی را به انرژی داخلی محیط انتقالی[4]، منتقل می‌کنند. معرفی تاریخی استفاده از انرژی خورشیدی توسط تشریح انواع مختلف جمع کننده‌ها شامل صفحات مسطح[5]، جسم مرکب سهمی وار[6]، تشتک سهمی شکل[7]، لنزهای فرسنل، ظرف سهمی شکل و جمع کننده‌های میدانی خورپا[8]، به معرفی این انرژی می پردازد [۴۹]. هزینه تولید انرژی از طریق انرژی خورشیدی کمی بالاتر از نیروگاه‌های متداول است (انرژی خورشیدی: ۴۰-۹ دلار/کیلووات ساعت، نیروگاه‌های معمول: ۷-۵ دلار/کیلووات ساعت). اما میزان کربن انتشار یافته در نیروگاه‌های خورشیدی نزدیک صفر می‌باشد، درحالیکه درحدود ۲۳۰-۱۰۰ گرم کربن/کیلووات ساعت از نیروگاه‌های معمول فسیلی نشر می‌کند.



شکل ۱۶ شماتیکی از دیاگرام سیستم تبدیل حرارتی خورشیدی

۵-۱-۲- سیستم فتوولتائیک خورشیدی

تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته بطور مرسوم با استفاده از سلولهای فتوولتائیک انجام می‌شود که از اثر فتوولتائیک[9] (PV) استفاده می کند. اثر PV به تعاملات فوتون‌ها با انرژی برابر یا بیشتر از باندگپ مواد PV بستگی دارد [۵۰]. مدول PV بطور مستقیم انرژی الکتریکی را از طریق نور

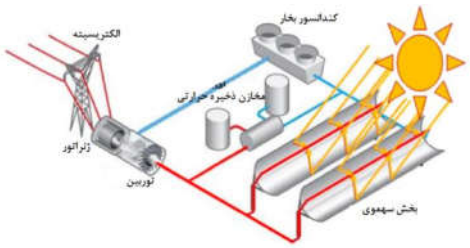
[3] - Solar thermail electricity power
[4] Internal energy of the transport medium
[5] Flate plate
[6] Compound parabolic
[7] Parabolic trough
[8] Heliostat field collectors
[9] Photovoltaic effect

خورشید بدون هرگونه انتشار یا ارتعاشی تولید می‌کند. نور خورشید رایگان است اگرچه قیمت‌ها شروع به کاهش کرده اند اما هزینه تولید انرژی همچنان بالا می‌باشد.

طراحی دستگاه‌های فوتوولتائیک ابتدایی بسیار ساده و کارایی آن‌ها زیاد است [۵۱]. علاوه براین، آن‌ها قابلیت بازدهی بالایی را دارند. ازاین‌رو، این فناوری در سرتاسر جهان کاربردهای متعددی دارد. اما، برای دستیابی به بازده بیشتر، هنوز سیستم آن باید ارتقاء یابد. دستگاه‌های فتوولتائیک معمولاً برای القای الکتریسیته از مواد نیمه‌رسانا استفاده می‌کنند که در آن‌ها معمولاً سیلیکون بکار برده می‌شود. اصول کلی این دستگاه، فعال کردن الکترون‌ها با القای انرژی اضافی است. اصول کار این دستگاه این است که همانند افزایش انرژی از نور خورشید، الکترون‌ها از حالت انرژی کمتر به حالت انرژی بیشتر انتقال می‌یابند. این فعال‌سازی به نوبه خود باعث ایجاد حفره‌ها و الکترون‌های آزاد در نیمه‌رسانا می‌شود و در نتیجه الکتریسیته ایجاد می‌کند [۵۲].

سیلیکون مونوکریستالین (تک‌بلوری)، سیلیکون پلی کریستالین (چند بلوری)، سیلیکون میکروکریستالین یا ریزبلوری، مس ایندیم دی سلنید و تلورید کادمیم معمولاً به عنوان نیمه‌رسانا در سیستم‌های فتوولتائیک بکار می‌روند. عوامل متعددی در انتخاب این مواد مؤثرند [۵۳]. سیستم PV شامل اجزای متعددی از قبیل پیل، مدول، و آرایه برای تولید برق است. علاوه براین، به منظور بازده عملیاتی بهتر، از وسایل مختلف تنظیم و کنترل سازه‌ها، دستگاه‌های الکترونیکی، ارتباطات الکتریکی و دستگاه‌های مکانیکی استفاده می‌شود. سیستم‌های PV برحسب کیلووات پیک محاسبه می‌شوند که عبارت از میزان نیروی الکتریکی آزاد شده با یک سیستم PV در یک روز روشن و آفتابی است که خورشید مستقیماً در بالای سر مشاهده می‌شود [۵۴]. برای افزایش بازده دستگاه‌های PV، از سال‌ها قبل تحقیقات متعددی انجام گرفته است و لازم به ذکر است که امروزه این صنعت به‌سرعت در حال رشد است و هر دو سال یک‌بار تولیدات خود را دو برابر می‌کند و از سال ۲۰۰۲ تا به حال رشد متوسط ۴۸ درصدی داشته است [۵۵].

علاوه بر فناوری PV، نیروی حرارتی خورشیدی متمرکز (CSP) و فنّاوری فتوولتائیک متمرکز (CVT) نیز برای تبدیل انرژی خورشیدی به الکتریسیته بکار می‌روند [۵۶]. نمایش نمونه CSP در شکل ۱۷ ارائه‌شده است. اما، برای بازده بهتر، جریان تولید شده با فناوری فتوولتائیک وارد سیستم‌های شبکه‌ای می‌شوند. تقریباً ۹۰ ٪ ظرفیت تولید جریان از فناوری فتوولتائیک حاوی سیستم‌های الکتریکی حوزه شبکه‌ای است. برای افزایش بازده ظرفیت نور با سیستمPV، عایق‌بندی حوزه شبکه‌ای به‌صورت نصب بر روی زمین و یا در پشت‌بام ساختمان صورت می‌گیرد. برای نشان دادن دقیق ظرفیت و پایایی یا دوام سیستم PV، این سیستم باید به‌طور صحیح برچسب‌گذاری شود. معمولاً، حدود ظرفیت این سیستم‌ها ۶۰-۱۰ مگاوات می‌باشد [۵۷]. پایایی این سیستم‌ها نیز برحسب شرایط نگهداری و بارگذاری متغیر است. یک پانل PV که بخوبی ساخته شده، می‌تواند تا ۱۰ سال با ظرفیت ۹۰ ٪ و ۲۵ سال با ظرفیت ۸۰ ٪ بخوبی کار کند [۵۸]. البته میزان کارایی آن ثابت نیست زیرا تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شدت نور خورشید می‌باشد. بنابراین، در بسیاری از تحقیقات برای دستیابی به انرژی پایدار بدون گسیختگی تلاش گردیده است.



شکل ۱۷ تبدیل توان حرارتی خورشیدی متمرکز [۵۹]

۶- موانع پیش روی صنعت خورشیدی

علیرغم سرعت پیشرفت بالای انرژی خورشیدی، موانعی نیز برسر راه توسعه این تکنولوژی قرار دارند. در ادامه بطور خلاصه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

تکنولوژی خورشیدی یک تکنولوژی پیچیده و گران قیمت است که نیازمند تکنولوژی پیشرفته برای راه اندازی و ساخت می‌باشد [۶۰]. عملکرد پنل‌های خورشیدی تا حد زیادی تحت تاثیر پارامترهای مختلف محیطی از جمله شدت تابش نور خورشید، ابری بودن هوا و سرعت باد می‌باشد [۶۱]. آگاهی و اطلاعات مردم جهان نسبت به این تکنولوژی، مزایا و نحوه استفاده از آن در حال حاضر در سطح پایینی قرار دارد. رقابت و تاثیر بازارهای جهانی دیگر، بشدت برروی پیشرفت و توسعه این تکنولوژی تاثیرگذار است. از آنجاکه امکان استفاده از انرژی خورشید با بازده مناسب در تمام روزهای یک سال ممکن نیست، بنابرین باید از منابع دیگر انرژی بطور یکپارچه در کنار انرژی خورشیدی استفاده نمود. انرژی الکتریکی تولید شده از سلول خورشیدی بصورت جریان مستقیم است درحالیکه منازل از جریان متناوب بهره می برند. بنابراین هزینه ای برای تبدیل جریان مستقیم به متناوب نیز مدنظر است.

هرچند که استفاده از انرژی خورشیدی با چنین چالش‌هایی همراه است، اما دانشمندان بسیاری در نقاط مختلف دنیا در حال تحقیق برروی حذف این موانع هستند. زیرا کاربرد انرژی پاک و دردسترس خورشید با حذف موانع، آرزوی بشر است که با تلاش‌هایی که در حال انجام است در آینده نزدیک به طور ایده آل به آن دست می یابد.

نتیجه گیری:

توسعه پایدار نیازمند ابزارهایی بمنظور بررسی، اندازه گیری و مقایسه تأثیرات زیست محیطی فعالیت‌های بشر برای محصولات مختلف است. در حال حاضر، در راستای ارتقاء کیفیت زندگی، صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه و افزایش جمعیت جهان، مصرف سوخت‌های فسیلی افزایش بسیاری یافته است. افزایش بی رویه مصرف سوخت‌های فسیلی تأثیر جدی و مضری بر روی محیط زیست دارد و باعث افزایش خطرات سلامتی و تغییر مخاطره آمیز شرایط جوی کره زمین می‌شود. جامعه بطور آهسته به سمت جستجوی روش تولید پایدار، کمینه سازی اتلاف، کاهش آلودگی ایجاد شده توسط وسایل، حفاظت جنگل‌های محلی و کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای سوق می یابد. برای مقابله با هشدار اخیر تقاضای انرژی در خصوص بحران انرژی، جایگزینی منابع تجدیدپذیر جهت تامین نیاز انرژی در حال رشد جهانی مطرح شده است.

در این مقاله فرصت‌های همراه با انرژی تجدیدپذیر مانند امنیت انرژی، دسترسی انرژی، توسعه اجتماعی و اقتصادی، تغییرات شرایط اقلیمی و آب و هوایی و درنهایت کاهش خطرات سلامت و مشکلات اجتماعی بیان گردید.

چالش‌هایی در مسیر استفاده از انرژی تجدیدپذیر و توسعه پایدار و همچنین توانایی برطرف کردن آنها وجود دارد.

با بررسی‌های انجام شده، مشخص گردید که استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بطور چشم‌گیری در کاهش اثر گلخانه‌ای و حفظ امنیت و سلامت کره زمین و بشریت تاثیرگذار است.

مراجع

[1] UNDP. World energy assessment, energy and the challenge of sustainability. New York: UNDP; 2000 (ISBN 9211261260), 2000.

[2] I. Dincer, "Potential solutions. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects", *Environmental issues. II,* vol. 23(1), pp.83–92, 2001.

[3] S .Bilgen, K .Kaygusuz and A. Sari, "Renewable energy for a clean and sustainable future", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects,* vol. 26(12), pp. 1119–29, 2004.

[4] IB. Fridleifsson, "Geothermal energy for the benefit of the people", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* vol. 5, pp. 299–312, 2001.

[5] I. Dincer, "Environmental Issues I", *Energy Utilization. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects,*vol. 23(1), pp. 69–81, 2001.

[6] S. Farhad and M.Saffar-Avval, "Efficient design of feedwater heaters network in steam power plants using pinch technology and exergy analysis", *International Journal of Energy Research*, vol. 32, pp. 1–11, 2008.

[7] R. Sims, "Bioenergy to mitigate for climate change and meet the needs of society", *the economy and the environment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 8, pp. 349–70, 2003.

[8] I.Youm, J. Sarr, M. Sall and MM. Kane, "Renewable energy activities in Senegal: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews,*vol. 4(1), pp. 75–89, 2000

[9] G.H. Horst and A.J.Hovorka, "Fuelwood: the "other" renewable energy source for Africa? ", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, pp.1605–16, 2009.

[10] DO. Hall, HE. Mynick and RH. Williams, "Cooling the greenhouse with bioenergy", *Nature,* vol. 353, pp. 11–2, 1991.

[11] JBH. Nielsen, TA. Seadi and PO. Popiel, "The future of anaerobic digestion and biogas utilization",. *Bioresource Technology, vol*. 100, pp. 5478–84, 2009.

[12] Current world population. Availablefrom; 2014. ⟨http://www.worldometers.info/world-population/⟩.

[13] REN21, P.S., "Renewables 2014: Global Status Report", *Secretariat Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21)*, Paris, 2014.

[14] International Energy Agency, International Energy Statistics. 2014, Available from: ⟨http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm⟩.

[15] LD. Roper, "Future world energy", Available from: ⟨http://www.roperld. com/science/energyfuture.htm⟩, 2012.

[16] RA. Zakhidov, "Central Asian countries energy system and role of renewable energy sources", *Applied Solar Energy,* vol. 44(3), pp. 218–23, 2004.

[17] A. Bergmann, S. Colombo and N. Hanley, "Rural versus urban preferences for renewable energy developments". *Ecological Economics*, vol. 65, pp. 616–25, 2008.

[18] AKN. Reddy and DK. Subramanian, "The design of rural energy centers", *Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Bangalore*, Vol. 2 (3), pp. 395–416, 1979.

[19] NH. Ravindranath and DO. Hall, "Biomass, energy, and environment: a developing country perspective from India", *Oxford, United Kingdom: Oxford University Press*; 1995.

[20]. S. Asumadu-Sarkodie and P. A. Owusu, "A review of Ghana's energy sector national energy statistics and policy framework.", *Cogent Engineering,* vol. 3 (1), pp. 1-27, 2016.

[21]. S. Asumadu-Sarkodie and P. A. Owusu, "Carbon dioxide emissions, GDP, energy use and population growth: A multivariate and causality analysis for Ghana 1971–2013", *Environmental Science and Pollution Research International*, 2016.

[22]. B. Kruyt, D. P. van Vuuren, H. de Vries and H. Groenenberg, "Indicators for energy security", *Energy Policy*, vol. 37, pp. 2166–2181, 2009.

[23]. O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner and C. von Stechow, "Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge", *Cambridge University Press*, 2011.

[24]. H.H. Larsen, N.B. Kristensen, L. Sønderberg Petersen, H.O. H. Kristensen, A.S. Pedersen, T.C. Jensen and J. Schramm, "How do we convert the transport sector to renewable energy and improve the sector's interplay with the energy system? " Background paper for the workshop on transport-renewable energy *in the transport sector and planning, Technical University of Denmark. Technical University of Denmark*, March 17-18, 2009.

[24]. A. Brew-Hammond, "Energy access in Africa: Challenges ahead", *Energy Policy*, vol. 38, pp. 2291–2301, 2010.

[26] M. Tingem and M. Rivington, "Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 14, pp. 153–68. 2009

[27] A. Haines, RS. Kovats, D. Campbell-Lendrum and C. Corvalan, "Climate change and human health: impacts, vulnerability and public health", *Public Health*, vol. 120, pp. 585–96, 2006

[28] I. Dincer, "Energy and environmental impacts: present and future perspectives", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 20(4), pp. 427–53, 1998.

[29] R. Sims, "Renewable energy: a response to climate change", *Solar Energy*, vol. 76, pp. 9–17, 2004.

[30] E. Worrell, L. Bernstein, J. Roy, L. Price and J. Harnisch, "Industrial energy efficiency and climate change mitigation", *Energy Efficiency*, vol. 2, pp. 109–23, 2009.

[31] G. Lafforgue, B. Magné and M. Moreaux, "Energy substitutions, climate change and carbon sinks", *Ecological Economics*, Vol. 67, pp. 589–97, 2008.

[32]. Verbruggen, A., Fischedick, M., Moomaw, W., Weir, T., Nadaï, A., Nilsson and L. J. Sathaye, "Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues", *Energy Policy*, vol. 38, pp. 850–861, 2010.

[33] M. Raisul Islam, K. Sumathy and S. Khan, "Solar water heating systems and their market trends", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 17, pp. 1–25, 2013.

[34] REN21, P.S., "Renewables 2011: Global Status Report", *Secretariat Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21)*, Paris, 2011.

[35] Price of crystalline silicon photovoltaic cells, Available from: ⟨http:// www.economist.com/blogs/graphicdetail/2012/12/daily-chart-19⟩, 2012.

[36] I. Purohit and P. Purohit, "Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India, *Energy Policy*, vol. 38(6), pp. 3015–29, 2010.

[37] E. Martinot, "Renewable energy markets in developing countries", *Annual Rev Energy Environ*, vol. 27(1), pp. 309–48, 2002.

[38] M. Thirugnanasambandam, S. Iniyan and R.Goic, "A review of solar thermal technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp. 312–22, 2010.

[39] SS. Nandwani, "Solar cookers cheap technology with high ecological benefits", *Ecological Economics*, vol. 17, pp. 73–81, 1996.

[40] S. Kalogirou, "Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters", *Solar Energy*, vol. 83, pp. 39–48, 2009.

[41] A. Kumar and TC. Kandpal, "CO2 emissions mitigation potential of some renewable energy technologies in India", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 29 (13), pp. 1203–14, 2007.

[42] M. Jyotirmay, NK. Kumar and HJ. Wagner, "Energy and environmental correlation for renewable energy systems in India", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 24(1), pp. 19–26, 2002.

[43] A. Sharma, CR. Chen and NV. Lan, "Solar-energy drying systems: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13 (6–7), pp. 1185–1210, 2009.

[44] RD. Piacentini and AS. Mujumdar, "Climate change and drying of agricultural products", *Drying Technology*, vol. 27(5), pp. 629–35, 2009.

[45] A. Kumar, TC. Kandpal, "Solar drying and CO2 emissions mitigation: potential for selected cash crops in India", *Solar Energy*, vol. 78, pp. 321–9, 2005.
[46] MF. Demirbas, "Electricity production using solar energy". *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 29(6), pp. 563–9, 2007.
[47] C. Xiao, H. Luo, R. Tang and H. Zhong, "Solar thermal utilization in China", *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 1549–56, 2004.
[48] D. Mills, "Advances in solar thermal electricity technology", *Solar Energy*, vol. 76, pp. 19–31, 2004.
[49] AS. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 30, pp. 231–95, 2004.
[50] DY. Goswami, S. Vijayaraghavan, S. Lu and G. Tamm, "New and emerging developments in solar energy", *Solar Energy*, vol. 76, pp. 33–43, 2004
[51] PP. Barke and JM. Bing, "Advances in solar photovoltaic technology: an applica- tions perspective", *In: Proceedings of power engineering society general meeting*, 2005.
[52] MA. Green, "Photovoltaic principles", *Phys E: Low-dimens Syst Nanostructures*, vol. 14(1), pp. 7–11, 2002
[53] T. Razykov, "Solar photovoltaic electricity: current status and future prospects", *Sol Energy*, vol. 85(8), pp. 1580–608, 2011
[54] B. Parida, S. Iniyan and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies", *Renew Sustain EnergyRev*, vol. 15 (3), pp. 1625–1636, 2011
[55] R. Kropp, "Solar expected to maintain its status as the world's fastest-growing energy technology", *U.S.A: Sustainability Investment News*, 2009.
[56] Solar up draft tower; 2014. Available from: (http://www.renewable-energy-info.com/solar-energy/solar-updraft-tower).
[57] MZ. Jacobson, "Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security", *Energy Environ Sci*, vol. 2 (2), pp. 148–73, 2009.
[58] V. Devabhaktuni, "Solar energy: trends and enabling technologies", *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 19, pp. 555–64, 2013.
[59] US Department of Energy, linear concentrator solar power plant illustration; 1996.
[60] A. Ciarreta, MP. Espinosa and C.Pizarro-Irizar, "Is green energy expensive? Empirical evidence from the Spanish electricity market", *Energy Policy*, vol. 69, pp. 205–215, 2014
[61] R. Hernandez, "Environmental impacts of utility-scale solar energy", *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 29, pp. 766–79, 2014