شیمی سبز و فناوری های پایدار

پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران

سلول‌های خورشیدی گامی بزرگ در جهت بهره گیری از انرژی‌های تجدید پذیر

فاطمه حسن‌نژاد[1]، لیلا ناجی [2*]

1- دانشجوی دکتری، شیمی کاربردی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
2- دانشیار، شیمی تجزیه (الکتروشیمی)، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
* تهران، ۱۵۸۷۵-۴۴۱۳، leilanaji@aut.ac.ir

چکیده

مصرف بالای انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر از دغدغه‌های اساسی بشر محسوب می‌گردد. تولید انرژی از طریق منبع نامتناهی خورشید و با استفاده از فناوری فتوولتایی در سلول‌های خورشیدی می‌تواند از میزان وابستگی به سوخت‌های فسیلی در تولید انرژی الکتریکی بکاهد. از جمله نکات بسیار مهم در زمینه تجاری سازی سلول‌های خورشیدی بحث هزینه سرمایه‌گذاری است. هزینه تمام شده یک نیروگاه خورشیدی شامل هزینه ساخت ماژول‌های فتوولتاییک و هزینه‌های تعادل سیستم‌های خورشیدی (BoS) است. کسب اطلاعات در زمینه میزان هزینه‌ها و بررسی نمودارهای جهانی در رابطه با سرمایه‌گذاری کشورهای مختلف در رابطه با انواع مختلف سلول‌های خورشیدی و کاهش هزینه‌های تمام شده، چشم‌انداز قابل توجهی برای پژوهشگران و سرمایه‌گذاران در این زمینه فراهم می‌آورد. با توجه به ظرفیت بالای تولید برق از طریق سلول‌های خورشیدی در کشورهای مختلف، لزوم مطالعه گسترده‌تر در بحث تجاری سازی سلول‌های خورشیدی آشکار می‌گردد.

کلیدواژگان: انرژی خورشیدی، ماژول‌های فوتوولتائیک، BoS، ظرفیت تولید برق

1- مقدمه

به طور عمده انرژی از دو منبع در دسترس با نام‌های انرژی تجدیدناپذیر[1] و انرژی تجدیدپذیر[2] تأمین می‌گردد. منابع تجدیدپذیر انرژی مانند انرژی خورشید، باد، جزر و مد و انرژی زمین گرمایی بی‌انتها بوده و محدودیت کاربری ندارند. درمقابل، به کارگیری منابع انرژی تجدید ناپذیر با کاهش و اتمام آنها همراه است. میزان مصرف انواع مختلف انرژی درجهان در شکل 1 نمایش داده شده است.

شکل 1 میزان مصرف منابع انرژی موجود در جهان[3]

همان‌گونه که در شکل 1 نشان داده شده، 88٪ مصرف انرژی جهان بر پایه منابع تجدید ناپذیر استوار است. این امر می‌تواند در آینده‌ای نه چندان دور جهان را با بحران انرژی مواجه سازد. علاوه بر مسئله کمبود منابع سوخت‌های فسیلی و تجدید ناپذیر، آلاینده‌های منتشر شده در اثر مصرف این گروه از منابع انرژی مانند گازهای گلخانه‌ای منجر به اثر گرمای جهانی[4] (گرم شدن تدریجی کره زمین) می‌گردد. در مقابل، منابع انرژی تجدیدپذیر هیچ نوع از گازهای گلخانه‌ای را به اتمسفر منتشر نمی‌کنند. پیش‌بینی می‌شود که میزان تقاضای جمعیت جهانی به انرژی در سال 2050 به حدود 13 تراوات برسد [1]. دستاوردهای جدید بایستی توانایی پاسخگویی به این تقاضا را داشته باشند.

از میان منابع انرژی تجدیدپذیر، خورشید با یک ساعت تابش $3/8\times10^{23}$ کیلووات انرژی تولید می‌نماید که می‌تواند تقاضای انرژی مورد مصرف جهان به ازای هر سال (در سال 2005: $1/6\times10^{10}$ کیلووات) را تأمین کند [2]. میزان انرژی دریافتی زمین از خورشید مقدار قابل ملاحظه ای می‌باشد (سالانه معادل 3×10^{24} ژول). این مقدار 10000 برابر بیشتر از مقدار انرژی مصرفی توسط جمعیت جهان است. اگر تنها یک دهم درصد از سطح زمین با استفاده از سلول‌های خورشیدی با بازدهی 10٪ پوشیده شود انرژی مورد نیاز جهان تأمین می‌شود [3]. بنابراین می‌توان با سرمایه‌گذاری و تجارت سالم در زمینه انرژی خورشیدی میزان سرمایه هزینه شده در این صنعت را با بالاترین سرعت بازگرداند.

امروزه انسان با پیشرفت‌هایی که در زمینه‌های مختلف کرده است، نیازی روزافزون به انرژی پیدا کرده و لذا در پی تأمین انرژی مورد نیاز از منابع مختلف تجدید پذیر است. یکی از این منابع که طی ۲۰ سال اخیر، از آن استفاده می‌شود، انرژی خورشیدی است. خورشید در هر ثانیه حدود ۱۰۰۰ ژول انرژی به هر متر مربع از سطح زمین منتقل می‌کند که با جمع‌آوری کردن آن می‌توان انرژی مورد نیاز برای کارهای مختلف را تأمین کرد [4].

انرژی نور خورشید توسط سلول‌های خورشیدی مستقیماً از طریق اثر فوتوولتاییک به الکتریسیته تبدیل می‌شود. در حال حاضر دو فناوری در ساخت سلول‌های خورشیدی غالب است: فناوری نسل اول و نسل دوم. فناوری نسل اول بر پایه ویفرهای سیلیکونی با ضخامت ۴۰۰–۳۰۰ میکرومتر است که ساختاری بلوری یا چند بلوری دارند که یا از بریدن شمش بدست می‌آیند یا از یا از روش EFG[5] و با کمک خاصیت مویینگی رشد داده می‌شوند [5].

فناوری نسل دوم یا تکنولوژی لایه نازک، بر اساس لایه نشانی نیمه هادی روی بسترهای شیشه‌ای، فلزی یا پلیمری، در ضخامت‌های ۵–۳ میکرومتر است. هزینه مواد اولیه در تکنولوژی نسل دوم، پایین‌تر است و از آن گذشته، اندازه سلول تا ۱۰۰ برابر بزرگتر از اندازه سلول ساخته شده با تکنولوژی نسل اول است که مزیتی برای تولید انبوه آن محسوب می‌شود. در عوض بازدهی سلول‌های نسل اول، که اغلب سلول‌های بازار را تشکیل می‌دهند، به دلیل کیفیت بالاتر مواد، از بازدهی سلول‌های نسل دوم بیشتر است. انتظار می‌رود اختلاف بازدهی میان سلول‌های دو نسل با گذشت زمان کمتر شده و تکنولوژی نسل دوم جایگزین نسل اول شود [6].

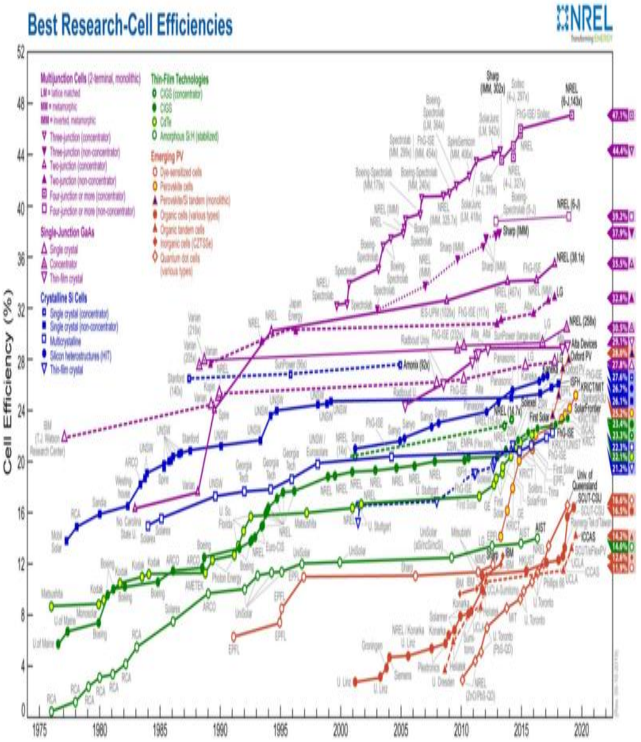
جدول شماره 1 تاریخچه سلول خورشیدی از آغاز تحقیقات تا راه یابی به صنعت و تجاری شدن را نمایش می‌دهد [7].

1. Non-Renewable Energy
2. Renewable Energy
3. Energy, MONTANA department of commerce: US Department of Energy, Energy Infrastructure Promotion & Development Division
4. Global Warming
5. Edge-defined film-fed growth

جدول 1 تاریخچه سلول خورشیدی از ابتدا تا تجاری سازی [7]

سال	تحقیقات و نتایج
1916	اثر فتوالکتریک توسط نتایج تجربی Millikan به اثبات رسید.
1918	دانشمند لهستانی Czochralski راهی برای رشد سیلیکون تک کریستالی ارائه نمود.
1923	Einstein به خاطر تئوری توضیح اثر فتوالکتریک جایزه نوبل را کسب کرد.
1951	یک سلول تک کریستالی از ژرمانیوم به صورت یک پیوند p-n رشد داده شد.
1954	اثر فتوولتائیک در کادمیوم گزارش شد. کار اولیه توسط Rappaport، Loferski و Jenny انجام گرفت. Daryl Chapin، Gerald Pearson و Calvin Fuller محققان آزمایشگاه بل سلول خورشیدی سیلیکونی با 4/5٪ بازده را گزارش کردند که به فاصله چند ماه با کار یک تیم تحقیقاتی به 6٪ رسید.
1958	Hoffman Electronics به سلول‌های با بازده 9٪ رسید. اولین ماهواره با انرژی خورشیدی به نام Vanguard I پیاده شد به طوری که سیستم توان ماهواره به مدت 8 سال کار کرد.
1960	Hoffman Electronics به سلول‌های با بازده 14٪ رسید.
1961	اولین کنفرانس متخصصین سلول‌های فتوولتاییک در واشنگتن برگزار شد.
1964	فضاپیمای Nimbus با یک آرایه سلول خورشیدی W-470 راه اندازی شد.
1968	ماهواره OVI-13 با دو پنل CdS راه اندازی شد.
1984	جایزه IEEE Morris N. Liebmann در هفدهمین کنفرانس متخصصین فتوولتائیک به خاطر تلاش برای استفاده از سیلیکون آمورف در سلول‌های خورشیدی کم هزینه با قابلیت بالا به David Carlson و Christopher Wronski اعطا شد.
2000	یک خانواده در کلرادو یک سیستم الکتریکی خورشیدی 12 کیلوواتی روی خانه خود راه اندازی کردند.

سیر تحول و پیشرفت انواع سلول‌های خورشیدی که شامل سلول‌های خورشیدی معدنی و سلول‌های خورشیدی آلی است در شکل 2 نمایش داده شده است. سیر تحول انواع مختلف سلول-های خورشیدی و میزان افزایش کارایی این سلول‌ها در مدت بهره‌وری آنها ملاحظه می‌گردد. طبق نمودار، سلول‌های خورشیدی کریستالی با اتصالات چندگانه بالاترین میزان بازدهی را تاکنون داشته‌اند و از این حیث سلول‌های خورشیدی آلی و پروسکایتی درمرتبه آخر می‌باشند.



شکل 2 بازده سلول‌های خورشیدی به عنوان تابعی از زمان با استفاده از تکنولوژی‌های مختلف فتوولتائی در طول فرآیند پیشرفت (منبع: آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر ایالات متحده)

در عین حال تلاش‌ها برای افزایش میزان بازدهی سلول‌های خورشیدی آلی و پلیمری ادامه دارد. این نکته از آنجا حائز اهمیت است که یکی از مهم‌ترین اهداف استفاده از سلول‌های خورشیدی مباحث مرتبط با محیط زیست می‌باشد. و از آنجایی‌که سلول‌های خورشیدی عمر مفید داشته و پس از دوره مصرف نیاز به تخریب و بازیابی دارند، سلول‌های خورشیدی آلی و پلیمری از این دیدگاه بسیار مناسب هستند زیرا مواد اولیه تشکیل دهنده آنها به محیط زیست آسیب کمتری وارد می‌نماید [8]. در حالی که از این منظر سلول‌های خورشیدی سیلیکونی حاوی مواد اولیه آسیب رسان می‌باشند و ضمناً به دماهای بالا برای تولید نیاز دارند [9].

این مقاله به بررسی روند پیشرفت و صنعتی شدن سلول‌های خورشیدی پرداخته و وضعیت کشورهای فعال در این زمینه را نشان می‌دهد. کاهش قیمت تولید و ساخت را بررسی کرده و در نهایت جایگاه ایران را در مقایسه با سایر کشورهای جهان مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

در سال 1973، دانشمندان متوجه این نکته شدند که ادامه استفاده از گازهای تخریب کننده مانند CFC ها یک تهدید زیست محیطی برای لایه اوزون در مقابل پرتوهای فرابنفش خورشید است. در نهایت پروتکل مونترال که در سال 1987 به امضای بیست و چهار کشور صنعتی دنیا و اروپا رسید، کشورها را

موظف نمود تا سال 1999 مصرف حدود پنج نوع CFC را تا حدود 50 درصد کاهش دهند و علاوه بر این مصرف سه نوع از هالوژن‌ها را کاملاً متوقف نمایند. پروسه انجام شده مثال کاملاً موفقی از همکاری کشورهای جهان برای پیشگیری موفقیت آمیز از یک فاجعه بزرگ محیط زیستی است.

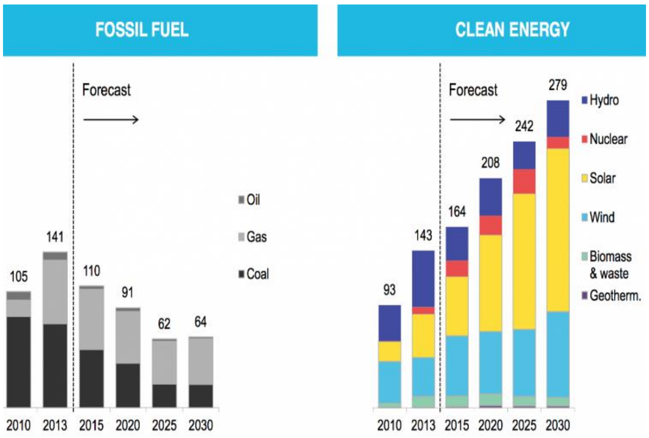
در سال 2015 تقریباً تمام کشورهای جهان در سازمان ملل متحد توافق آب و هوایی پاریس را به امضا رساندند، باید به این موضوع توجه داشت که آیا این توافق می‌تواند به کاهش استفاده ازسوخت‌های هیدروکربنی در جهان منجر شود؟ زمان لازم برای رسیدن به این هدف مهم چه مقدار خواهد بود؟ و چه مقدار هزینه پیش بینی می شود؟ بسیاری از صاحب نظران معتقدند هزینه به تعویق انداختن و یا اقدام نکردن می‌تواند چندین برابر بیشتر از هزینه‌های پیش بینی شده برای جلوگیری از تغییرات اقلیمی باشد. در حال حاضر نشانه‌های بسیار امیدوار کننده‌ای در سراسر دنیا در رابطه با عبور از مصرف سوخت‌های فسیلی دیده می‌شود. در آوریل 2016 بلومبرگ و سایر خبرگزاری‌ها اعلام نمودند که عربستان، بزرگترین صادرکننده نفت جهان، 2 تریلیون دلار برای کاهش وابستگی اقتصادی این کشور به نفت تا سال 2030 سرمایه گذاری نموده است. عربستان تنها کشوری نیست که به دست یابی به منابع انرژی غیر نفتی می‌اندیشد. در آوریل 2016، شرکت نفت فرانسوی توتال اعلام کرد که تصمیم دارد تا 20 سال آینده یکی از سه شرکت حائز اهمیت در زمینه تولید انرژی از پنل‌های خورشیدی در جهان باشد. مسیرهای پیش روی شرکت‌های بزرگ نفت و گاز در دنیا در بلند مدت:

1- کاهش تدریجی وابستگی به سوخت‌های فسیلی به وسیله سرمایه‌گذاری بر روی انرژی‌های تجدید پذیر

2- از دست دادن بازار و کاهش درآمد حاصل از سوخت‌های فسیلی در پی ظهور انرژی‌های تجدید پذیر

امروزه تعداد کشورهایی که به دنبال محدود کردن و یا ممنوعیت استفاده از سوخت‌های فسیلی در طول زمان هستند رو به افزایش است. برای مثال، چین در حال سرمایه‌گذاری بسیاری روی تولید برق از انرژی خورشیدی است. نروژ به دنبال برقی نمودن سیستم حمل و نقل است. دانمارک به دنبال حذف کامل سوخت‌های فسیلی از اقتصاد خود تا سال 2050 است. علاوه بر این، کشور استرالیا در آوریل 2016 اعلام کرد تا پایان سال2020 شماره‌گذاری خودروهای بنزینی را ممنوع خواهد کرد.

شکل 3 بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تأمین انرژی در مقایسه با انرژی‌های فسیلی را نشان می‌دهد، همان طور که قابل ملاحظه است در مقایسه با سایر انرژی‌های تجدیدپذیر انرژی خورشیدی بیشترین سهم را در تولید انرژی تا سال 2030 خواهد داشت. این در حالیست که سهم منابع تجدیدناپذیر در تولید انرژی جهانی کاهش می‌یابد. [10].



شکل 3 رقابت انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با زغال سنگ، گاز طبیعی و نفت[10]

توسعه و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر به تحقق هدف توسعه اقتصادی و زیست محیطی کشور کمک شایان توجهی می‌نماید و از عوامل اساسی در رسیدن به توسعه پایدار در هر کشوری است. استفاده از انرژی‌های نو می‌تواند باعث کاهش وابستگی به منابع فسیلی، کاهش انتشار گازهای آلاینده از بخش-های تولید و مصرف منابع انرژی و همچنین موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن، حفظ امنیت و سلامت انسان‌ها و محیط زیست شود [11].

انرژی‌های تجدیدپذیر ساختار متفاوتی نسبت به تکنولوژی-های تولید انرژی متعارف دارند. زیرا فرآیند توسعه در انرژی‌های تجدیدپذیر دارای هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه بالا و در مقابل هزینه تعمیر و نگهداری پایین است. در روش‌های تولید انرژی از منابع پر کاربرد متعارف، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه به نسبت پایین است. مزایای متفاوتی برای توسعه کاربرد انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور می‌توان تصور کرد که عموماً وابسته به شرایط محلی، ویژگی منابع جایگزین و نگرانی‌های اجتماعی است [12].

در یک نگاه کلی مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر را به چهار دسته می‌توان تقسیم کرد.

دسته اول شامل مزیت زیست محیطی و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی شامل گازهای گلخانه ای و... می باشد.

دسته دوم شامل استقلال در تأمین انرژی و تقویت امنیت ملی است.

دسته سوم به نفع اقتصادی در کاهش هزینه ها به طور عمومی مربوط می شود .

و در نهایت مزایای مربوط به دسته چهارم شامل منافع اقتصادی در معنای خاص است.

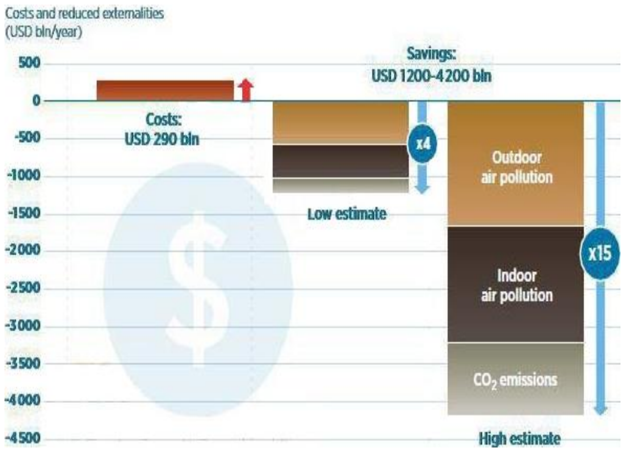
همچنین در یک دسته بندی گسترده‌تر می‌توان از مزایای کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر به موارد ذیل اشاره کرد:

- افزایش امنیت عرضه انرژی
- کاهش میزان گرمایش زمین
- رشد اقتصادی
- ایجاد فرصت های شغلی
- افزایش میزان درآمد سرانه
- افزایش عدالت اجتماعی
- حفاظت از محیط زیست

بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر همچنین باعث افزایش دسترسی به منابع انرژی پایدار و مطمئن برای مناطق کمتر توسعه یافته و روستایی می‌شود. بنابراین در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر لازم است بیشتر به دیدگاه توسعه‌ای این انرژی‌ها توجه کرد تا صرفاً بعد اقتصادی آن. انرژی‌های تجدیدپذیر، پاک، فراوان و قابل اعتمادند و در صورتی که به درستی از آنها بهره برداری شود به عنوان منابع انرژی پایدار نقش مهمی در رسیدن به اهداف توسعه پایدار کشورها بازی می‌کنند.

2- صرفه جویی مالی با توسعه انرژی‌های تجدید پذیر

همان‌گونه که در شکل 4 مشاهده می‌شود، بر اساس گزارش آژانس بین المللی انرژی‌های تجدید پذیر (IRENA) چنانچه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال 2030 دو برابر شود، سالانه تا 4/2 تریلیون دلار صرفه جویی اقتصادی به همراه می‌آورد. این افزایش سهم فناوری‌های تجدید پذیر، نیازمند سالانه 290 میلیارد دلار سرمایه‌گذاری است. اما محاسبات و تحلیل‌ها نشان می‌دهد این مقدار هزینه در حدود 4 تا 15 برابر کمتر از هزینه-های خارجی استفاده از سوخت‌های فسیلی است. به عبارت دیگر، کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و آلاینده‌ها می‌تواند از 1200 تا 4200 میلیارد دلار صرفه‌جویی برای کشورهای جهان به همراه داشته باشد [13].



شکل 4 بررسی میزان صرفه جویی اقتصادی در صورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر [15]

2-1- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم‌های فتوولتائیک

تکنولوژی توسعه یافته فتوولتائیک، ثابت نموده‌است که در برخی از بازارهای جهان ، به رقابت با شبکه سراسری برق رسیده است. با کاهش هزینه‌های سلول‌های خورشیدی، برابری با شبکه سراسری برق به زودی حاصل می‌شود. برابری با شبکه به این معناست که هزینه یکسان شده سلول خورشیدی بدون یارانه، یکسان و یا پایین‌تر از قیمت برق مسکونی باشد.[14]. برق حاصل از پنل‌های خورشیدی یکی از منابع تجدید پذیری است که منبع انرژی با قابلیت اطمینان بالایی را در اختیار دارد که با نوسانات قیمت سوخت در معرض خطر قرار نگرفته است [15].

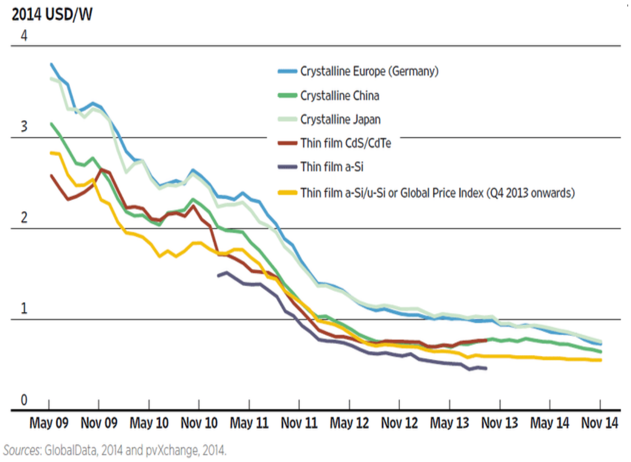
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه سیستم‌های فتوولتائیک شامل هزینه ماژول‌های فتوولتائیک و هزینه‌های BoS [6] می‌باشد. هزینه ماژول فتوولتائیک با هزینه مواد خام، به ویژه سیلیکون، پردازش/ ساخت سلول و هزینه‌های مونتاژ آن مشخص می‌گردد. هزینه‌های BoS هزینه شامل هزینه‌های ساخت از جمله نصب و راه‌اندازی سازه، آماده سازی سایت و سایر اجزای وابسته است[15و16].

2-2- قیمت ماژول‌های فتوولتائیک

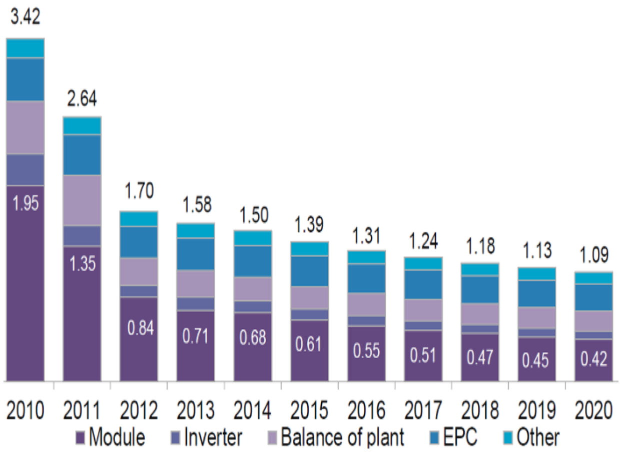
ظرفیت تجمعی نصب سیستم‌های فتوولتائیک تقریبا 70٪ در سال 2011 رشد داشته که این رشد در کاهش قیمت‌ها در سال‌های اخیر نقش مهمی ایفا کرده است. دسترسی به اطلاعات دقیق متوسط جهانی قیمت ماژول‌های فتوولتائیک بسیار دشوار می‌باشد به این دلیل که طیف گسترده‌ای از قیمت‌ها در بازار

6 . balance of system

موجود می‌باشد که بسته به ساختار، هزینه تولید کننده، ویژگی-های بازار، فشارهای بازار و راندمان ماژول‌ها متفاوت می‌باشد. شکل 5 روند قیمت ماژول‌های فتوولتائیک را بر اساس نوع فناوری و منبع آن در سال 2014 نشان می‌دهد.همان طور که مشاهده می شود روند کاهش قیمت به سرعت رو به افزایش است. در شکل 6 نیز نمودار کاهش قیمت تجهیزات ساخت شبکه های خورشیدی در طول یک دهه اخیر مشاهده می‌شود.

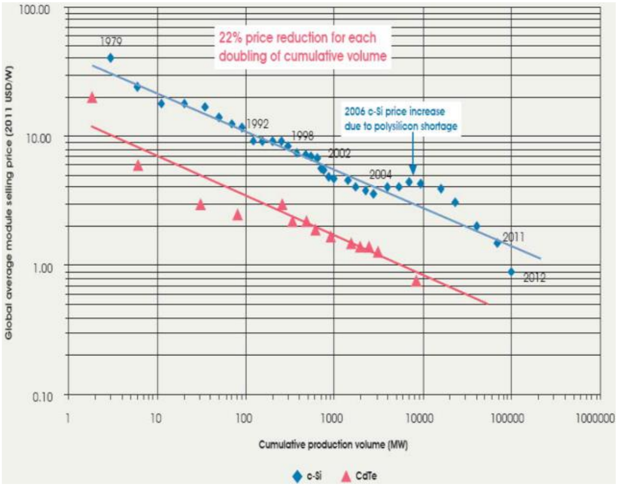


شکل 5 روند قیمت ماژول‌های فتوولتائیک در اروپا بر اساس نوع فناوری و منبع آن [15]



شکل 6 نمودار کاهش قیمت تجهیزات مورد نیاز برای برپایی تأسیسات خورشیدی بین سال های 2010 تا 2020 [10]

قیمت ماژول‌های فتوولتائیک بسته به نوع تکنولوژی و منبع تأمین آن برای خریداران اروپایی بین 30 تا 41٪ در سال، تا سپتامبر 2012 و بین 51 تا 64٪ برای دو سال تا سپتامبر 2012 کاهش یافته است. قیمت ماژول‌های فتوولتائیک کریستال سیلیکونی تولید کنندگان چینی به میانگین 0/75دلار آمریکا برای هر وات در بین ماه‌های سپتامبر و دسامبر 2012 سقوط کرده است در حالی که این میانگین در تولید کنندگان غربی بسیار گرانتر و در حدود 1/1 دلار آمریکا برای هر وات در این بازه زمانی بوده است.کاهش قیمت ماژول‌های فتوولتائیک کند است، ولی از آنجایی که روند تولید ظرفیت ادامه دارد، فشار بر روی کاهش شدید قیمت برای آینده قابل پیش بینی خواهد بود. قیمت‌های ماژول فتوولتائیک، بعد از یک افزایش در سال 2006 (مطابق شکل 7)، به طور قابل توجهی در سال 2012 کاهش یافت [13]. طبق نمودار شکل 6 هزینه های تمام شده تاسیسات خورشیدی تا سال 2020 کاهش قابل ملاحظه ای خواهد داشت. همانطور که مشاهده می شود هزینه راه اندازی پنل های خورشیدی در طی فاصله زمانی یک دهه مابین سالهای 2010 و 2020 تقریبا به یک – سوم کاهش یافته است.



شکل 7 هزینه ماژول خورشیدی فوتوولتائیک برای سیلیکون کریستالی و فیلم لایه نازک [15]

در حالت عادی، کاهش هزینه ماژول‌های فتوولتائیک با نرخ بالای 22٪ نیز اندکی غیر ممکن به نظر می‌آید. کاهش هزینه های سلول های فتوولتائیک بسیار سریع صورت می پذیرد به طوریکه پیش بینی کاهش هزینه‌ها به سرعت قدیمی و بی‌اعتبار می‌شوند. کاهش سریع در قیمت ماژول‌های C-Si به خاطر ظرفیت اضافه، فشار شدیدی بر بازار ماژول‌های فیلم نازک وارد نموده است. تولیدکنندگان فیلم نازک در حال مبارزه برای رقابت در برابر ماژول های چینی C-Si که خیلی گرانتر از ماژول‌های فیلم نازک نیستند و راندمان بالاتر و هزینه‌های BoS پایین‌تر برای هر مگاوات دارند، می‌باشند. اما ماژول های C-Si مزایای خاصی مانند عملکرد بهتر در شرایط نور کم و یا آب و هوای گرم دارند و این مزایا برای باقی ماندن آن ها درصحنه رقابت کافی خواهد بود.

3-2- هزینه‌های BoS

هزینه‌های BoS و هزینه‌های نصب و راه‌اندازی، هزینه های مازاد بر ماژول های فتوولتائیک در سرمایه گذاری اولیه تاسیسات خورشیدی می باشند [17]. هزینه‌های BoS تا حد زیادی به نوع نصب و راه اندازی تاسیسات خورشیدی مربوط می‌باشد، به طوری که برای پروژه‌های نیروگاهی بزرگ معمولا ارزانتر از سیستم‌های تجاری بزرگ نصب شده روی زمین و یا سیستم‌های خانگی خواهد بود، و این‌ها نیز به نوبه خود ارزانتر از سیستم‌های پشت بامی کوچک برای مصارف مسکونی خواهند بود. با این حال در برخی موارد استثناء نیز وجود دارد، زمانی که سیستم-های ردیاب برای پروژه‌های نیروگاهی به منظور بالا بردن ضریب ظرفیت آنها نصب گردد، و یا زمانی که بازارهای رقابتی برای مصارف مسکونی باعث گردد تا هزینه‌های پروژه‌های نیروگاهی در بازارهای کشورهای مختلف، افزایش یابد.

هزینه‌های BoS و نصب، شامل موارد زیر می باشد:

- اینورتر، که جریان خروجی DC ساختار خورشیدی را به جریان AC تبدیل می‌نماید.
- قطعات مورد نیاز برای نصب و استقرار سیستم خورشیدی.
- قطعات الکتریکی.
- آماده سازی مکان و نصب و راه‌اندازی (به عنوان مثال آماده-سازی پشت بام برای سیستم‌های مسکونی، یا آماده‌سازی سایت برای پروژه‌های نیروگاهی)، نیروی کار، هزینه‌های نصب و راه‌اندازی و اتصال به شبکه باتری برای ذخیره‌سازی سیستم-های مستقل از شبکه.
- طراحی سیستم، مدیریت، هزینه مجوزها، سیم کشی‌های هوایی، هزینه‌های توسعه پروژه، هزینه‌های مالکیت مشتری، و هرگونه هزینه‌های تامین منابع مالی.

هزینه‌های BoS برای سیستم‌های تجاری کوچک و خانگی معمولاً بالاتر از سیستم‌های نیروگاهی می‌باشد. [16و17] .

3- سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی (CSP)[7]

درتکنولوژی سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی (CSP) برای تولید انرژی از آینه‌ها و یا لنزها برای متمرکز نمودن نورخورشید استفاده می‌نمایند. در بیشتر سیستم‌های CSP امروزی، بخار توربین یک ژنراتور را به گردش در آورده و تولید برق می‌کند که عملکرد آن همانند نیروگاه‌های متعارف امروزی است. با این حال تحقیقات در حال بررسی نشان می دهد که نیروگاه‌های CSP در آینده لزوماً از چرخه بخار استفاده نخواهند نمود [18].

نیروگاه‌های متمرکز کننده را بر اساس این که متمرکز کننده هایشان نورخورشید را در امتداد یک خط کانونی یا در نقطه کانونی متمرکز نمایند می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: سیستم-های متمرکز کننده سهموی خطی و سیستم‌های متمرکز کننده خطی فرنل. سیستم‌های متمرکز کننده سهموی خطی (PTC)[8] شامل سیستم‌های متمرکز کننده خورشیدی از جنس آینه، گیرنده‌های حرارتی و ساختارهای پشتیبانی هستند [18و19]. متمرکز کننده خطی فرنل (LFCs)[9] شبیه متمرکز کننده سهموی خطی می‌باشند با این تفاوت که در آنها از یک سری آینه‌های بلند و تخت استفاده شده و از آینه‌های سهموی در بالای گیرنده ثابت که چندین متر بالاتر از آینه‌های تخت هستند برای تمرکز بهتر اشعه خورشید بهره گرفته می‌شود[20].

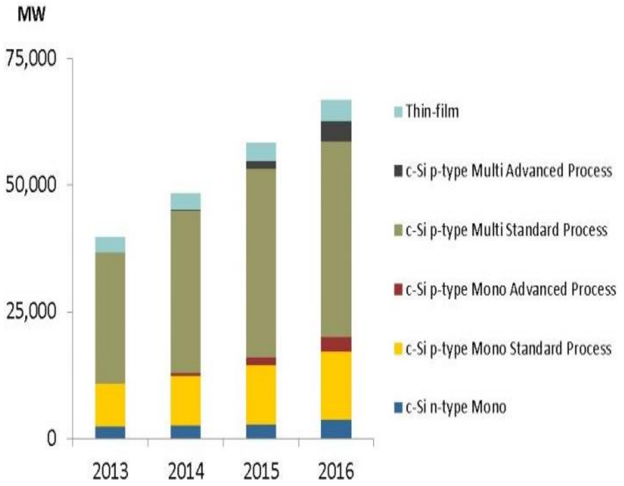
در متمرکز کننده های فرنل هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه پایین‌تر از سیستم‌های سهموی خطی می‌باشد ولی راندمان آنها نیز به مراتب پایین‌تر است. فناوری دریافت کننده مرکزی از یک میدان آینه که سیستم ردیاب خورشیدی دو محوره دارند و یک برج دریافت کننده مرکزی که بازتابش تمامی آینه‌ها بر بالای برج انجام می‌گیرد، تشکیل شده است [18و20]. حرارت ایجاد شده یک چرخه ترمودینامیک را فعال نموده که دربیش تر موارد یک چرخه بخار آب است تا در نهایت تولید برق انجام پذیرد. برج دریافت کننده خورشیدی به دماهایی بالاتر از سیستم‌های سهموی خطی و فرنل می‌رسند به دلیل این که نور خورشید بیشتری بر روی یک گیرنده واحد متمرکز می‌شود و تلفات حرارتی در آن نقطه به حداقل می‌رسد. در این سیستم از نمک مذاب به عنوان سیال عملگر استفاده می‌شود که درجه حرارت آن بین 550 و 650 درجه سانتی گراد خواهد شد تا بدین وسیله راندمان سیکل بخار آن بالاتر برود و هزینه ذخیره سازی انرژی حرارتی آن کاهش یابد. با این حال این مزیت با هزینه‌های بالاتر سرمایه‌گذاری برای توربین‌های بخار فوق‌العاده حساس تقریباً به توازن می رسد. [20].

مزیت قابل توجه برج‌های دریافت کننده مرکزی، تولید درجه حرارت بالاتر است که منجر می‌شود از هزینه ذخیره‌سازی انرژی کاسته شود و به ضریب ظرفیت افزوده شود و راندمان بالاتری حاصل شود.[21]. با توجه به این نکته و مزایای ذکر شده اگر هزینه‌ها با همین روند کاهش یابند و تجربه وکسب

7 . concentrated solar power
8 . pacific test conditions
9 . Linux foundation certified

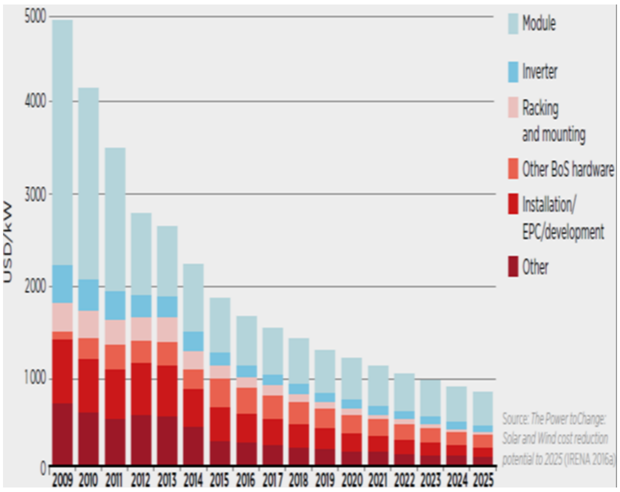
مهارت کافی در این زمینه حصول یابد، دریافت کننده‌های مرکزی سهم قابل توجهی از سهم بازار را در آینده به خود اختصاص خواهند داد، با وجود اینکه در حال حاضر سیستم‌های سهموی خطی بازار را در دست خود دارند.

شکل 8 سهم تولید برق مدل‌های مختلف ساختارهای سلول خورشیدی تا سال 2016 را نشان می‌دهد. که از این بین بیشترین سهم مربوط به اتصالات C-Si پیشرفته است. همان طور که پیش تر به آن اشاره شد این ماژول ها به دلیل ویژگی های مطلوبی مانند عملکرد خوب در نور کم و... در حال حاضر پیشتاز می باشند. [20و21] .



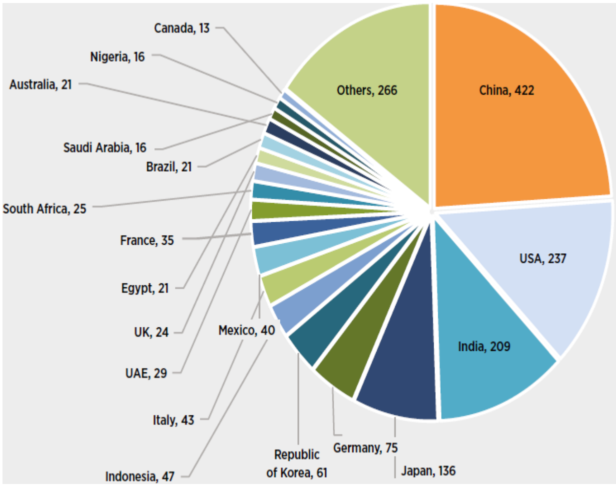
شکل 8 سهم تولید برق از ساختارهای مختلف سلول خورشیدی تا سال 2016 [13]

کاهش قیمت هزینه های نصب سایت های خورشیدی به ازای هر کیلووات برق تولیدی در شکل 9 نشان داده شده است. بیشترین کاهش قیمت‌ها مربوط به ساخت و طراحی ماژول‌ها می‌باشد. این کاهش قیمت بیانگر تحقیقات گسترده در زمینه ساخت ماژول های ارزان قیمت در سراسر جهان است. در عین حال تا سال 2025 بالاترین هزینه مصرفی برای اجرای یک سایت خورشیدی مربوط به هزینه های ساخت ماژول های فتوولتائیک می باشد. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که در سال 2025 قیمت تجهیزات نصب سلول‌های خورشیدی به کمتر از 1000دلار بر حسب کیلووات برق می‌رسد [13و20].



شکل 9 نمودارکاهش هزینه های نصب سایت های خورشیدی تا سال 2025 [13]

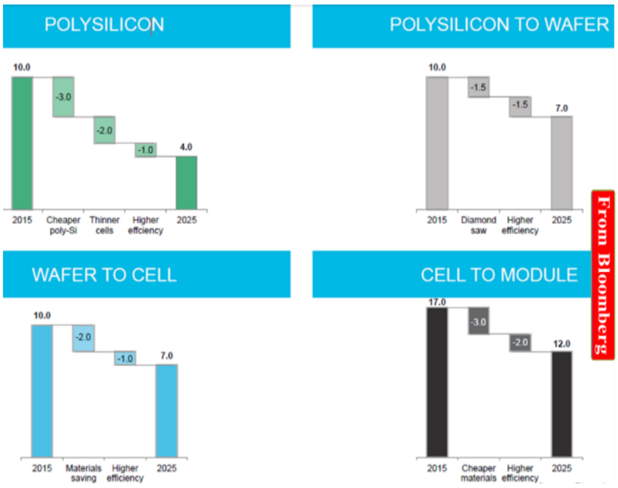
شکل10 وضعیت تولید برق با استفاده از سلول‌های خورشیدی در کشورهای جهان در سال 2030 را بر حسب گیگاوات برق نشان می‌دهد. همان‌طور که پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال 2030 کشور چین پرچم‌دار تولید برق از طریق سلول‌های خورشیدی در جهان است که معادل 422 گیگاوات برق تولید می‌نماید. در این بین، ایالات متحده آمریکا با تولید معادل 237 گیگاوات برق سهم قابل توجهی از برق خورشیدی جهان را داراست. تحقیقات نشان می‌دهد بخش قابل ملاحظه ای از تولید برق در جهان تا سال 2030 توسط سلول‌های خورشیدی تأمین می‌شود [10].



شکل 10 وضعیت تولید برق با استفاده از سلول‌های خورشیدی در کشورهای مختلف در سال 2030 [10]

با توجه به این نکته که تولید ماژول بیشترین هزینه سایت های خورشیدی را شامل می شود، پیش‌بینی میزان کاهش قیمتها بسیار حائز اهمیت است. با توجه به این نکته تحقیقات گسترده

ای در مراکز تحقیقاتی جهان به منظور ساخت ماژول های جدید با هزینه های تمام شده کم ترانجام می پذیرد. از آنجایی که ماژول‌های C-Si پر کاربردترین ماژول می باشند، پیش بینی میزان کاهش هزینه های تمام شده ساخت ماژول‌های پر کاربرد C-Si پر اهمیت می باشد. در شکل 11 پیش بینی این کاهش قیمت تا سال 2025 مشاهده می‌شود.



شکل11 پیش بینی میزان کاهش قیمت ساخت ماژول‌های پر کاربرد C-Si تا سال 2025، [10]

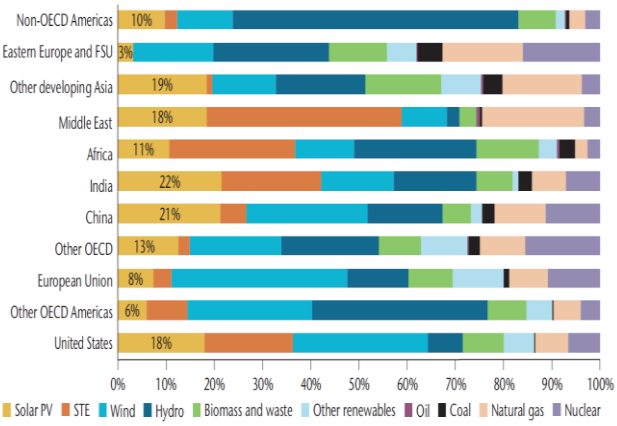
همان‌گونه که در شکل 11 مشاهده می‌شود، کاهش قیمت برای فرآیند تولید پلی سیلیکون، تبدیل پلی سیلیکون به ویفرهای سیلیکونی، تبدیل ویفر به سلول و تبدیل سلول به ماژول مشاهده می‌شود، بیشترین کاهش قیمت مربوط به تولید پلی سیلیکونی می‌باشد. با این وجود با توجه به کاربرد وسیع ماژول‌ها در صنعت، مشاهده می‌شود که کاهش چشمگیری در هزینه های تبدیل سلول اولیه به ماژول نیز وجود دارد که می-توان گفت کاهش هزینه های تولید ماژول‌ها به کارگیری بیشتر آن ها را در صنعت مقدور می سازد [13و20-21].

با توجه به کاهش قیمت ماژول ها و هزینه های تمام شده تجهیزات خورشیدی جدول شماره 2، ظرفیت سلول‌های خورشیدی در جهان بر حسب گیگاوات در سال‌های 2030 و 2050 نشان می‌دهد. طبق اطلاعات موجود در جدول، در سال 2050 ظرفیت سلول‌های خورشیدی در سراسر جهان 4674 گیگاوات است که از این میزان بیشترین سهم را کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا و هند دارند.

جدول 2 ظرفیت سلول‌های خورشیدی در جهان بر حسب گیگاوات در سال‌های 2030 و 2050 از [22]

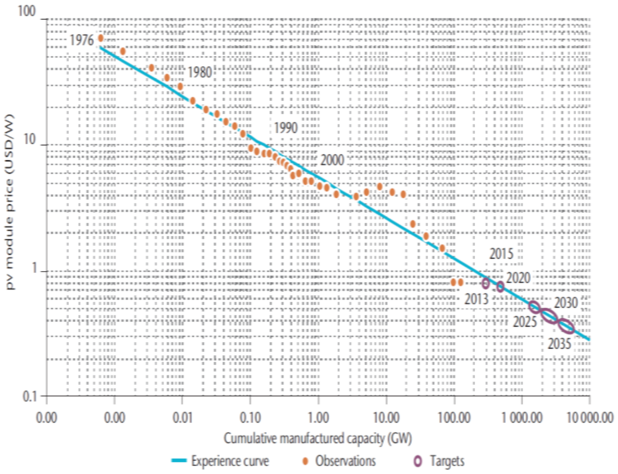
سال	2013	2030	2050
ایالات متحده	12.5	246	599
کشورهای عضو OECD امریکا	1.3	29	62
اتحادیه اروپا	78	192	229
سایر کشورهای عضو OECD	18	157	292
چین	18	634	1738
هند	2.3	142	575
آفریقا	0.3	185	169
خاورمیانه	0.1	94	268
سایر کشورهای درحال توسعه آسیایی	1.4	93	526
اروپای شرقی و اتحادیه شوروی سابق	3	12	67
کشورهای غیر عضو OECD قاره امریکا	0.2	38	149
کل جهان	135	1721	4674

همان‌گونه که در شکل 12 مشاهده می‌شود، سهم تولید برق از طریق سلول‌های فتوولتائیک در کشورهای خاورمیانه در سال 2050 حدود 18درصد کل برق تولیدی است. اما نکته جالب توجه این موضوع است که سهم تولید برق از طریق انرژی آب در کشورهای خاورمیانه تا سال 2050 کاهش چشمگیری می‌یابد، زیرا این کشورها کم آب بوده و به سمت خشکسالی پیش می‌روند. بنابراین نکته حائز اهمیت این است که وابستگی تولید برق از طریق آب در کشورهای خاورمیانه در آینده امکان پذیر نمی باشد. در عین حال مناطقی که از ذخایر آب مطلوب برخوردار می باشند، بخش زیادی از سهم تولید برق آن ها از طریق آب امکان پذیر است. تولید برق وابسته به سوخت‌های فسیلی تا سال 2050 بسیار ناچیز می‌باشد. همان طور که پیش تر به آن اشاره شد، بالاترین سهم تولید برق از طریق سلول‌های خورشیدی در سال 2050 متعلق به کشورهای هند و چین می‌باشد [10و23].



شکل 12 به کارگیری انرژی‌های مختلف در جهان در سال 2050 و سهم سلول‌های خورشیدی [22]

با توجه به افزایش چشمگیر استفاده از سلول‌های خورشیدی در کشورهای مختلف، صنایع مرتبط با آنها نیز به شدت رشد نموده‌اند که این رشد صنایع منجر به کاهش چشمگیر قیمت این سلول‌ها می‌گردد. شکل 13میزان کاهش قیمت تولید ماژول‌های فتوولتائیک تا سال 2035 طبق پیش بینی آژانس بین المللی انرژی را نشان می‌دهد. طبق پیش‌بینی‌ها تا سال 2035 هزینه تولید ماژول فتوولتاییک به کمتر از یک دلار آمریکا بر حسب یک وات برق می‌رسد. این کاهش قیمت بسیار قابل توجه است.



شکل 13 کاهش قیمت تولید ماژول‌های فتوولتائیک تا سال 2035 [22]

4- وضعیت پیشرفت کاربرد انرژی خورشیدی در ایران

ایران کشوری است که با وجود 300 روز آفتابی در بیش از دو سوم مساحت آن و متوسط تابش 4/5-5/5 کیلو وات ساعت بر متر مربع در روز از جمله کشورهای با پتانسیل بالا در زمینه انرژی خورشیدی معرفی گردیده است. برخی از کارشناسان انرژی خورشیدی مدعی‌اند که ایران در صورت تجهیز مساحت بیابانی خود به سامانه‌های دریافت انرژی تابشی می‌تواند انرژی مورد نیاز بخش‌های گسترده ای از منطقه را تأمین نماید و در زمینه صادرات انرژی برق فعالتر شود [24].

4-1 وضعیت انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر در ایران و جهان

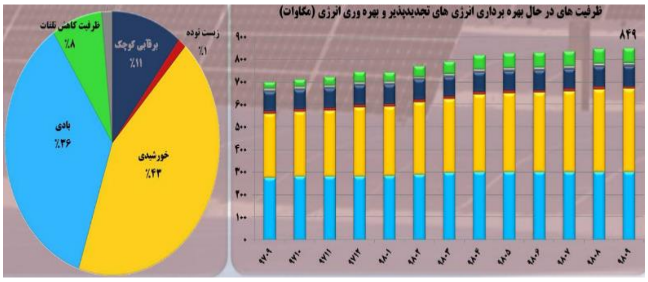
در سال 1950 بیش از ٪57 انرژی مورد نیاز کشورهای جهان، از زغال سنگ، ٪30 نفت، ٪7 گاز طبیعی و بقیه ٪6 نیز مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی هسته‌ای و به نسبت کمی نیز از منابع آبی حاصل می شد.طی 60 سال گذشته بیش از ٪80 انرژی مورد نیاز جهان از سوخت‌های فسیلی فراهم شده است. به عبارت دیگر بعد از گذشت سالیان و با وجود پیامدهای تخریب کننده جبران ناپذیر ناشی از مصرف سوخت های فسیلی، در مقایسه با دهه 1950 هنوز هم بیش از ٪80 انرژی مورد نیاز جهان از سوختن زغال سنگ، نفت و گاز تأمین می‌شود. البته این به معنای بی‌توجهی به توسعه انرژی‌های تجدید پذیر و پاک طی این سال ها نیست [11].

در طی سال های اخیر مسائل بسیاری از جمله صرفه‌جویی در بهره‌برداری از منابع فسیلی، مسائل زیست محیطی، رشد جمعیت وکم شدن منابع طبیعی سبب شده است تا کاربرد منابع جدید تأمین انرژی هم چون انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان مورد توجه قرار گیرد. بهره برداری از منابع انرژی های تجدیدپذیر به عنوان یکی از شاخص‌های مهم توسعه یافتگی کشورها محسوب می‌شود. انرژی‌های تجدیدپذیر به مرور زمان سهم بیشتری در تأمین انرژی کل جهان به ویژه در زمینه تولید برق به عهده می‌گیرند. به طوری که در سال 2008 بیش از 120 میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیت‌ها، ساخت نیروگاه‌ها و تحقیق و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش تولید برق جهان سرمایه‌گذاری شده است. امروزه اهمیت سرمایه گذاری در بخش تأمین انرژی از طریق منابع تجدیدپذیر بر کسی پوشیده نیست. در بیش از 66 کشور جهان اهداف بسیار مهم و راهبردی در جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تدوین و سیاست‌گذاری‌های لازم برای سال‌های 2010 تا 2020 انجام یافته است. این گزارش ها در قالب نقشه راه برای هر یک از منابع تجدیدپذیر موجود می باشد،که در هر کشوری با توجه به هدف گذاری ها و منابع موجود می تواند متفاوت باشد [20].

کشورهای پیشرو در اروپا نیز در کمیسیونی در سال 2007 اعلام نمودند تا سال 2020 تلاش خواهند کرد تا ٪20 از تقاضای انرژی خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین نمایند. با توجه به این نکته در کشور ما نیز سیاست گذاری‌های ویژه‌ای دراین زمینه تدوین شده است.

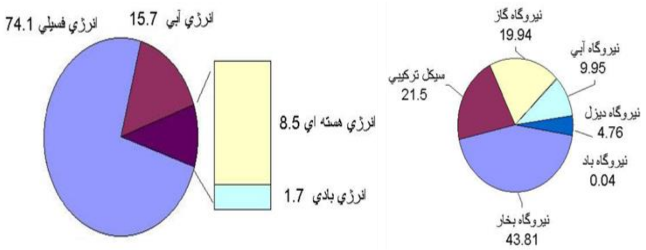
با توجه به برنامه پنجم توسعه کشور، دولت در قالب وزارت نیرو و سازمان انرژی‌های نو، موظف شده بود تا پایان برنامه، 500 مگاوات از برق مورد نیاز کشور را با استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین نماید. در لایحه برنامه پنج ساله ششم توسعه کشور تولید 26000 مگاوات برق از نیروگاه‌های جدید برنامه‌ریزی شده است که 16000 مگاوات آن با تبدیل نیروگاه‌های گازی موجود به سیکل ترکیب، 3000 مگاوات آن با ساخت نیروگاه‌های تولید پراکنده و تولید هم زمان برق و حرارت و 5000 مگاوات دیگر آن با ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر بادی

و فتوولتائیک تأمین خواهد شد. بر اساس آمارهای وزارت نیرو ظرفیت کنونی نصب شده نیروگاهی کشور در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر فقط 1درصد سبد انرژی کشور است و پیش بینی می-شود در افق سال 1400 ظرفیت تولید انرژی نیروگاه‌های تجدیدپذیر به 5000 مگاوات برسد. در سند چشم انداز ۱۴۰۴ از میزان کل عرضه انرژی درکشور، یک و هشت دهم درصد (حدود ۲۰ هزارمگاوات) برای انرژی‌های تجدیدپذیر تصویب شده است. آمارهای بین المللی نشان می‌دهد که ایران دارنده اول ذخایر نفت و گاز دنیا است و از نظر پتانسیل به کارگیری از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز جزو کشورهای کم نظیر است[24]. شکل14 ظرفیت در حال بهره برداری انرژی های تجدید پذیر در کشور را نمایش می دهد. همان طور که مشهود است ظرفیت در حال بهره برداری در حال حاضر 849 مگاوات می باشد که دراین بین سهم انرژی خورشیدی از دیگر منابع تجدید پذیر بیش تر است. سهم انرژی خورشیدی در تامین انرژی تجدید پذیر در سال های اخیر رو به افزایش است. در عین حال همانطور که پیش تر به آن اشاره شد هنوز سهم انرژی های تجدید پذیر در تولید برق کشور محدود است و همچنان نیروگاه های بخار بیشترین سهم را در تولید برق دارند.



شکل 14 نمودار ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در حال بهره‌برداری و بهره وری انرژی برق بر حسب مگاوات و سهم انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران [24]

شکل 15، نمودار دایره‌ای، سهم نیروگاه‌های مختلف در تولید برق در ایران را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، سهم نیروگاه بخار در تولید برق بیش تر از سایر منابع است. با توجه به نمودار در سال‌های آینده سهم انرژی‌های فسیلی در تولید برق کشور کاهش یافته و انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین آن می-شوند.



شکل 15 نمودار دایره‌ای سهم نیروگاه‌های مختلف در تولید برق در ایران، زمان حال (سمت چپ)، آینده (سمت راست) [25]

جدول شماره 3، به معرفی نیروگاه‌های انرژی خورشیدی که در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند می‌پردازد. همچنین ظرفیت تولید این نیروگاه‌ها نشان داده شده است. همانگونه که در جدول مشخص است، بالاترین میزان برق تولیدی با استفاده از انرژی خورشیدی در استان همدان با ظرفیت 14 مگاوات می باشد.

جدول3 معرفی نیروگاه‌های انرژی خورشیدی در ایران و ظرفیت آنها [11و25]

ردیف	نام نیروگاه	مکان	ظرفیت	نوع	سال احداث
1	جرقویه	اصفهان	10 مگاوات	خورشیدی	2017
2	امیرکبیر	همدان	7 مگاوات	خورشیدی	2017
3	خلیج فارس	همدان	7 مگاوات	خورشیدی	2017
4	اراک	اراک	1مگاوات	خورشیدی	2016
5	شیراز	شیراز	500کیلووات	GSP	2009
6	مشهد	مشهد	432کیلووات	خورشیدی	2010
7	بیرجند	بیرجند	24 کیلووات	خورشیدی	درحال احداث

علاوه بر سازمان‌های دولتی، از سال 1393شرکت خصوصی آترین پارسیان سبب 8/5 برابر شدن تولید برق فتوولتائیک شده است. این مسئله گواه بر اهمیت فوق العاده و پتانسیل بالای به کارگیری از انرژی خورشیدی در تولید برق در کشور را دارد [26].

نتیجه گیری

تولید انرژی از طریق منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند از میزان وابستگی به سوخت‌های فسیلی بکاهد. امروزه، انرژی‌های تجدیدپذیر 14٪ از انرژی لازم جهان را تأمین می‌کنند. در میان انواع مختلف منابع انرژی تجدیدپذیر، به انرژی خورشیدی به سبب دردسترس بودن، ظرفیت زیاد تولید انرژی و پایداری، بیش از سایر منابع توجه می‌شود. در حال حاضر، با توجه به استفاده از

انرژی خورشید در تولید برق، اهمیت تجاری‌سازی این صنعت بر همگان آشکار شده است.

با توجه به این نکته از منظر سرمایه‌گذاری و هزینه تمام شده اجرای طرح، تحقیقات گسترده‌ای در کشورهای مختلف انجام پذیرفته است، تحلیل این داده‌ها بیانگر این موضوع است که تا سال 2030 میلادی هزینه تولید پنل‌های خورشیدی و به موازات آن نیروگاه‌های خورشیدی کاهش چشمگیری می‌یابد. طبق گزارش بلومبرگ میزان هزینه تولید برق از انرژی خورشید در سال 2030 به کمتر از هزار دلار بر حسب کیلووات می‌رسد. در این راستا پرچم‌دار استفاده از انرژی خورشیدی در تولید برق کشورهای چین و ایالات متحده آمریکا می باشند. طبق گزارش بلومبرگ و ایرنا تا سال 2050 میلادی ارزان‌ترین روش تولید برق در جهان استفاده از منبع بی پایان خورشید است. با توجه به این نکته که کشور ایران از متوسط 300 روز آفتابی در سال برخوردار است، اهمیت استفاده از انرژی خورشید در تولید برق کشور بر کسی پوشیده نیست. در حال حاضر نیروگاه‌های خورشیدی زیادی در کشور احداث شده است که در این زمینه فعال می‌باشند.

مراجع

[1] Kamat P. V., Meeting the clean energy demand: nanostructure architectures for solar energy conversion, *The Journal of Physical Chemistry C*. **2007**, 111, 2834-2860.

[2] Li C., Liu M., Pschirer N. G., Baumgarten M., and Müllen K., Polyphenylene-based materials for organic photovoltaics, *Chemical Reviews*. **2010**, 110, 6817-6855.

[3] Li B., Wang L., Kang B., Wang P., and Qiu Y., Review of recent progress in solid-state dye-sensitized solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **2006**,3, 90549-573.

[4] Pandey Tyagi A., Jeyraj Selvaraj V. A., Rahim L. N., and Tyagi S., Recent Advances in Solar Photovoltaic Systems for Emerging Trends and Advanced Applications, *Renewable Sustainable Energy Rev*, **2016**, 53844-859.

[5] Van Sark W.G., Muizebelt P., Cace J., de Vries A., de Rijk P., Price development of photovoltaic modules, inverters, and systems in the Netherlands in 2012, *Renew. Energy*. **2014**, 7118-22.

[6] Bazilian M., Onyeji I., Liebreich M. I., MacGill J., Chase. J., Shah D., Gielen D., Arent D., Landfear S., Zhengrong L., Re-considering the economics of photovoltaic power, *Renew. Energy*. **2013**, 53, 329-338.

[7] Panwar N., Kaushik S., and Kothari S., Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review, *Renewable Sustainable Energy R*ev, **2011**, 15, 1513-1524.

[8] Liang Y., Feng D., Wu Tsai S.T., Li G., and Ray C., Highly Efficient Solar Cell Polymers Developed via Fine-tuning of Structural and Electronic Properties, *Am. Chem. Soc*, **2009**, 131, 7792-7799.

[9] Rauschenbach H.S., Solar Cell Array Design Handbook-The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion, Springer, **1980**.

[10] Wang X., PV Market outlook, *Bloomberg new energy finance*, 15 June, **2015**.

[11] چیت چیان، حمید. «توسعه انرژیهای تجدیدپذیر» چاپ دوم، انتشارات پژوهشکده تحقیقات راهبردی مجمع تشخیص مصلحت نظام، تهران،1389 .

[12] صدیقی، امیر عباس. عباسی، ابراهیم. و سجادیان فائزه سادات. توسعه انرژیهای تجدیدپذیر، چاپ اول، انتشارات پژوهشکده تحقیقات راهبردی مجمع تشخیص مصلحت نظام، تهران،1389.

[13] International Renewable Energy Agency, Photovoltaic power systems programme, Solar Photovoltaic panels, June, **2016**. http://www.irena.org

[14] Swift K.D., A comparison of the cost and financial returns for solar photovoltaic systems installed by businesses in different locations across the United States, *Renew. Energy*, **2013**, 57, 137-143.

[15] Esram T., and P.L., Chapman Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, IEEE Trans.*Energy. Convers*, **2007**, 22, 439-449.

[16] Zhou K., Bulk-heterojunction Hybrid Solar Cells Based on Colloidal CdSe Quantum Dots and Conjugated Polymers, *Freiburg Im Breisgau, Dr. Thesis*, **2011**.

[17] Renewable energy, Policy recommendations for renewable energies, International Conference for Renewable Energies,, June, Bonn- Germany, Refer, **2004** 1-4.

[18] Cai W., Gong X., Y.Cao, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **2010**, 94-114.

[19] Birgisson G., Petersen E., Renewable energy development in centives strengths, weaknesses and the interplay, *The article originally appeared in the Electricity Journal*, 19, **2006** Issue 3.

[20] Louwen A., Sark W., Schropp R., Faaij A., A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells, *Solar Energy Materials& Solar Cells*, 147, pp. **2017**, 295–314,.

[21] Krebs F., Polymer Photovoltaics a Practical Approach (Society of Photo Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, USA, **2007**.

[22] International Energy Agency, Technology Roadmap, Solar Photovoltaic Energy, 2014.

[23] Woodhouse M., Fu R., James T., Horowitz K., Gallagher B., Feldman D., Chung D., R., Margolis Current Results from NRELs Wafer-Based Mono- crystalline Silicon PV Module Manufacturing Cost Models Current Results from NRELs Wafer-Based Monocrystalline Silicon PV Module Manufacturing Cost Models, in: NREL crystalline silicon workshop, July, Breckenridge, Colorado, USA, **2014**.

[24] وزارت نیرو، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا).

[25] Iran Renewable Energy Association, 1, 2, June, **2016**.

[26] https://www.borna.news