

درآمدی بر تدوین نقشه راه نیروگاه خورشیدی در ایران

■ علی فرقانی*+

تهران، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی،
گروه پژوهشی مهندسی صنایع،
صندوق پستی: ۱۶۶۸-۱۳۴۴۵

■ علیرضا آخوندی^۱

تهران، پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاد دانشگاهی،
گروه پژوهشی مهندسی صنایع،
صندوق پستی: ۱۶۶۸-۱۳۴۴۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۷

چکیده

انرژی خورشیدی فراوان‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر دنیاست اما روند توسعه فن‌آوری‌های تولید الکتریسیته از این منبع گسترده به نسبت کند بوده است. ویژگی‌هایی مانند امکان بهره‌برداری در گستره وسیعی از نقاط کره زمین، سازگاری با محیط زیست، قابلیت تولید در محل مصرف، امکان تامین در نقاط دور افتاده و همچنین طول عمر و قابلیت اعتماد بالا، سهولت در نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری تجهیزات مرتبط با آن منجر به هدف‌گذاری چشمگیر کشورها در این زمینه شده و احتمال جهشی قابل توجه در آینده صنایع و فناوری‌های برق خورشیدی را افزایش داده است.

با توجه به چشم‌انداز برق خورشیدی سایر کشورها و رشد سرمایه‌گذاری جهانی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، تعیین برنامه‌ها و اولویت‌های ملی و تدوین اسناد مربوطه مانند سند نقشه راه برق خورشیدی برای کشور اجتناب‌ناپذیر است. لذا در این مقاله با توجه به ضرورت موجود، ابتدا مبانی نظری نقشه راه فناوری، انواع فناوری‌ها و نیروگاه‌های تولید برق از انرژی خورشید معرفی شده است. سپس وضع موجود این صنعت و اسناد بالادستی حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر تشریح می‌شود. در ادامه پیش‌ران‌ها، سناریوهای جهانی و آینده‌های بدیل صنعت برق خورشیدی بیان شده و در انتها نیز یک چارچوب مناسب جهت تدوین سند نقشه راه نیروگاه خورشیدی در ایران همراه با موضوعات کلیدی مرتبط با آن پیشنهاد می‌گردد.

واژگان کلیدی: نقشه راه فناوری، انرژی تجدیدپذیر، نیروگاه خورشیدی، فناوری فتوولتائیک، فناوری گرمایش خورشیدی، پیش‌ران‌های فناوری، ایران.

* عهده دار مکاتبات

+ شماره نامبر: ۰۲۱-۶۶۰۷۵۶۳۵ و آدرس پست الکترونیکی: Forghaninik@yahoo.com

۱ شماره نامبر: ۰۲۱-۶۶۰۷۵۶۳۵ و آدرس پست الکترونیکی: Akhoundi@acecr.ac.ir

۱- مقدمه

مدیریت توسعه فناوری در سطوح ملی (کلان)، بخشی (میانی) و شرکت‌ها (خرد)، نیازمند به‌کارگیری سیستم‌ها، روش‌ها و ابزارهای اثربخشی است تا در حد قابل قبولی گویای تطابق مسیر سرمایه‌گذاری در R&D، تسهیلات و منابع انسانی با نیازهای فعلی و آتی بازار و صنایع باشد. در این راستا ره‌نگاری فناوری^۲ یا مسیریابی فناوری نوعی برنامه‌ریزی راهبردی فناوری است که پس از انجام آن، سند "نقشه راه فناوری"^۳ حاصل می‌شود.

گارسیا و بری، ره‌نگاری فناوری را یک فرایند نیاز-محور برنامه‌ریزی فناوری تعریف نمودند که به شناسایی، انتخاب و توسعه گزینه‌هایی از فناوری جهت برآورده ساختن مجموعه‌ای از نیازمندی‌های محصول کمک می‌نماید [۱].

رابرت گالوین (رئیس سابق هیات مدیره شرکت موتورولا)، بیان داشته است که نقشه راه فناوری از نگاهی جامع به آینده در یک حوزه منتخب و از دانش و خرد جمعی و پندار گروه‌ها و افرادی که پیش‌ران‌های تغییرات آینده آن حوزه را تشکیل می‌دهند، بدست می‌آید [۱]. در واقع نقشه راه شامل تبیین نظریه‌ها و روندها، مدل‌ها، روابط مابین و درون علوم مختلف، گسست‌ها (شکاف دانش) و تفسیر پژوهش و آزمون‌های مربوطه است. ریچارد آلبرایت، نقشه راه را توصیفی از یک محیط در آینده، اهدافی که باید در آن محیط محقق شود و برنامه‌هایی برای دستیابی به آن اهداف در طول زمان، تعریف می‌کند.

این ابزار یک چارچوب یا معماری است که برای فهم چگونگی قرار گرفتن اجزای یک سیستم فناوری در کنار یکدیگر و نحوه تعامل و تکامل آنها در طول زمان، طرح‌ریزی می‌شود. در ضمن کاربردها، چالش‌ها و راه‌حل‌های فنی را با هم پیوند داده و اولویت‌هایی را نیز برای حصول به اهداف مربوطه تعیین می‌نماید [۱].

متداول‌ترین چارچوب نقشه راه فناوری از چندین لایه نظیر فناوری، محصول و بازار تشکیل شده است. این نوع نقشه راه امکان پیگیری روند تکامل هر لایه را همراه با وابستگی‌های بین لایه‌ها فراهم می‌کند؛ به طوری که یکپارچگی و تلفیق فناوری در محصول، خدمات و سیستم‌های کسب‌وکار به راحتی مشخص می‌شود. برای مثال، نقشه راه شرکت فیلیپس (گرونولد ۱۹۹۷) نشان می‌دهد که چگونه فناوری‌های محصول و فرایند برای

توسعه کارکردهای جدید در محصولات آینده با یکدیگر ترکیب می‌شوند [۱].

کاهش منابع فسیلی، خطر نیروگاه‌های هسته‌ای، افزایش چشم‌گیر نیاز به انرژی فسیلی برای مصارف صنعتی (خصوصاً در کشورهایایی که به مرحله صنعتی نزدیک می‌شوند)، نیاز به سازگاری با محیط زیست و کنترل آلودگی هوا و اثر گازهای گلخانه‌ای و ... منجر به رشد سرمایه‌گذاری کشورهای مختلف دنیا در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر مانند برق خورشیدی شده است. در این راستا نقشه راه فناوری/نیروگاه خورشیدی به‌عنوان ابزاری مناسب جهت استفاده مسوولین و دست‌اندرکاران توسعه صنعت برق خورشیدی کشور، بسیار راهگشا و موثر خواهد بود. براین اساس، در مقاله حاضر تلاش شده است ضمن بیان مبانی نظری نقشه راه برق خورشیدی و ضرورت تدوین آن، فناوری‌ها، نیروگاه‌ها، پیش‌ران‌ها، سناریوهای جهانی آینده برق خورشیدی بررسی شود و در نهایت مبتنی بر مطالعات انجام شده و تصویر وضع موجود این فناوری در کشور، پیشنهادی جهت تدوین نقشه راه نیروگاه خورشیدی ارائه شود. شایان ذکر است هم‌اکنون نقشه راه انرژی‌های تجدیدپذیر در شورای عالی انقلاب فرهنگی در دست رسیدگی است که پس از تصویب آن، به‌عنوان سند بالادست این بخش، راهنمای مسوولین و دست‌اندرکاران خواهد بود.

۲- کاربردها، ابعاد و انواع نقشه راه (ره‌نگاشت)

نقشه راه در سطح مدیریتی و فنی می‌تواند توسط مدیران و محققان مورد استفاده قرار گیرد. ضرورت/دلایل کاربرد روزافزون این ابزار به‌صورت خلاصه در ذیل آمده است [۶]:

- ✓ کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در حوزه‌های خاص از فناوری؛
- ✓ تسهیل برقراری ارتباط میان عناصر کسب‌وکار و روندهای بازار؛
- ✓ برقراری ارتباط میان کارکردهای فناورانه و تجاری سازمان؛
- ✓ تسهیل تخصیص منابع؛
- ✓ افزایش اثربخشی سرمایه‌گذاری؛
- ✓ تصمیم‌گیری به‌هنگام در فضای رقابتی امروز؛
- ✓ ارائه معیارهایی برای پالایش و انتخاب فناوری‌های برنده؛
- ✓ توجه همزمان به رویکرد کشش بازار و فشار فناوری؛
- ✓ کمک به توسعه راهبرد کسب‌وکار، تنظیم سیاست‌ها، برنامه‌ریزی محصول و فناوری و ...؛
- ✓ اولویت‌بندی تحقیق و توسعه و پروژه‌های توسعه محصول؛
- ✓ شناسایی روندهای جهانی R&D و فناوری‌های نوظهور؛
- ✓ ایجاد درکی بهتر میان ذی‌نفعان.

2 Technology Roadmapping

3 Technology Roadmap

در یک سطح بالاتر، سه دلیل کلی برای کاربرد(استفاده) از نقشه راه می‌توان در نظر گرفت که عبارتند از:

الف) اجماع در مورد نیازها و فناوری‌های لازم برای برآوردن آنها؛

ب) مکانیزمی برای کمک به پیش‌بینی و آینده‌نگاری فناوری؛
ج) چارچوبی برای کمک به برنامه‌ریزی و هماهنگی توسعه فناوری.

فال و همکارانش (۲۰۰۱)، ۸ دسته بندی را پس از بررسی ساختار و محتوای تعداد قابل توجهی اسناد نقشه راه، ارائه نمودند [۵]:

۱) برنامه‌ریزی محصول؛

۲) برنامه‌ریزی خدمات؛

۳) آینده‌نگاری؛

۴) برنامه‌ریزی راهبردی؛

۵) برنامه‌ریزی دارایی‌های دانشی؛

۶) برنامه‌ریزی پروژه؛

۷) برنامه‌ریزی فرایند(برای پشتیبانی از مدیریت دانش)؛

۸) برنامه‌ریزی یکپارچه(چگونه فناوری‌های مختلف با محصولات و سیستم‌ها ترکیب شده یا فناوری‌های جدیدی را شکل می‌دهند).

جدول شماره ۱، انواع و ابعاد نقشه راه را به صورت تلفیقی نشان می‌دهد.

جدول ۱: انواع و ابعاد مختلف نقشه راه [۷]

بعد	نوع	تعریف/توضیح
کاربرد مدیریتی	پیش بینی	پیش بینی روند آینده فناوری
	برنامه ریزی	برنامه‌ریزی تحقیق و توسعه مبتنی بر تجزیه و تحلیل داخلی و خارجی
مدیریت	محصول	برنامه‌ریزی محصول مبتنی بر تجزیه و تحلیل داخلی و خارجی
	مدیریت	مدیریت پورتفولیو تحقیق و توسعه جاری و پورتفولیو محصول
هدف از تدوین نقشه راه	محصول	پشتیبانی از تصمیم‌گیری راهبردی مرتبط با محصول
	فناوری	پشتیبانی از تصمیم‌گیری راهبردی مرتبط با فناوری
سایر ویژگی‌ها	منبع اطلاعاتی	تعیین قلمرو جمع‌آوری اطلاعات یا تجزیه تحلیل داده
	چارچوب زمانی	تعیین حوزه زمانی نقشه راه به‌عنوان افق زمانی نقشه راه

نقشه راه ارائه نموده‌اند [۸]:

✓ نقشه راه‌های علوم- تحقیقات(مانند نگاشت علم)؛

✓ نقشه راه‌های میان صنعتی(مانند ابتکار صنعتی کانادا)؛

✓ نقشه راه‌های صنعت(نقشه راه بین‌المللی فناوری نیمه‌رسانا)؛

✓ نقشه راه‌های فناوری(هوافضا، آلومینیوم و غیره)؛

✓ نقشه راه‌های محصول(موتورولا، اینتل و دیگران)؛

✓ نقشه راه‌های فناوری- محصول(شرکت فناوری‌های لوسنت)؛

✓ نقشه راه‌های پروژه/مسأله (برای مدیریت پروژه).

کاپل نیز براساس موقعیت نقشه راه در فضای "کاربرد-اهداف"، چهار دسته بندی را برای انواع نقشه راه ارائه نموده است [۹]:

الف) نقشه راه علم و فناوری: هدف اصلی آن، فهم بهتر آینده از طریق شناسایی روندها و انجام پیش‌بینی است؛

ب) نقشه راه صنعت: کاربرد آن مستلزم برنامه‌ریزی درون سازمانی، پیچیدگی زنجیره تامین و سرمایه‌گذاری‌های کلان است؛

ج) نقشه راه محصول-فناوری: برنامه ریزی محصول و بازار را با روندهای فناوری ترکیب می‌کند و میان نسل‌های مختلف محصول و نسل‌های متوالی فناوری پیوند ایجاد می‌کند؛

د) نقشه راه محصول: جهت‌گیری و برنامه‌ریزی تکامل محصول را در طی زمان جهت ارتباط با مشتریان و مخاطبان داخلی، نشان می‌دهد.

در ادامه نیز جمع‌بندی مولفین براساس مطالعات انجام شده در ادبیات موضوع در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

۳- روش تی- پلن و لایه‌بندی نقشه راه

از معروف‌ترین روش‌های تدوین نقشه راه که عموماً در آغاز استفاده می‌شود، فرایند تی- پلن^۴ است. روش تی- پلن توسط دانشگاه کمبریج پیشنهاد داده شد. ترسیم نقشه‌راه با این روش مستلزم بذل توجه به دو عنصر "معماری" و "فرایند" است. روش T-Plan ضمن ترکیب دیدگاه‌های فنی و تجاری مورد نیاز، بر جریان‌ات دانشی جهت تسهیل توسعه و معرفی اثربخش یک محصول تمرکز دارد و برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی محصول توسعه یافته است. منظور از معماری، تهیه چارچوبی برای نقشه راه است تا ساختار مناسب و مفیدی جهت ترسیم آن بدست آید و منظور از فرایند، چگونگی رسیدن به اطلاعات مورد نیاز و گام-های ترسیم نقشه راه است [۱۱].

جدول ۲: دسته‌بندی انواع نقشه‌های راه براساس دیدگاه صاحب‌نظران

این حوزه [۱۰]

معیار	نوع نقشه راه	ماخذ
نوع و میزان تحولات فناوری	نقشه راه فناوری- محصول، نقشه راه فناوری‌های نوظهور/ در حال پیدایش	گارسیا و بری، ۱۹۹۷
	نقشه راه فناوری پایدار، نقشه راه فناوری بنیان افکن	رابرت گالوین، ۲۰۰۴
سطح حوزه کاربرد	نقشه راه ملی/ میان صنعتی، صنعت/بخش، بنگاه/ سازمان، محصول/ پروژه	آلبرایت و شلر، ۱۹۹۸
	بنگاه، صنعت و حوزه علمی	رابرت گالوین، ۲۰۰۴
	نقشه راه علم و فناوری، نقشه راه صنعت/با حمایت دولت، نقشه راه محصول- فناوری	ریچارد آلبرایت، ۲۰۰۵
رویکرد یا روش تحلیل	نقشه راه محصول، نقشه راه محصول- فناوری، نقشه راه صنعت، نقشه راه علم/ فناوری	توماس کاپل، ۲۰۰۱
	نقشه راه علوم/ تحقیقات، میان‌بخشی، صنعت، فناوری، محصول، محصول/ فناوری و پروژه/مسأله	کاستاو و شلر، ۲۰۰۱
	نقشه راه آینده‌نگر و گذشته‌نگر	مارتینین، ۲۰۰۴
	با استفاده از نظرات خبرگان و با کمک رایانه و رویکرد تلفیقی	کاستاو و شلر، ۲۰۰۱
شکل و نحوه نمایش	هنجاری و اکتشافی	کاپل، ۲۰۰۱
	تک سازمانی و چند سازمانی	بروس و فین، ۲۰۰۵
موارد استفاده	چندلایه، نوار، جداول، گراف، درختی، فلوجارت، تک‌لایه، متن	فال و همکاران، ۲۰۰۱
	برنامه‌ریزی محصول، برنامه‌ریزی خدمات/توانمندی، برنامه‌ریزی راهبردی، آینده‌نگاری، برنامه‌ریزی دارایی‌های دانشی، برنامه‌ریزی پروژه R&D، برنامه‌ریزی فرایند، برنامه‌ریزی یکپارچه	فال و همکاران، ۲۰۰۱

متفاوتی داشته باشند ولی عموماً و صرف‌نظر از نام حسب مفهوم و تعداد احتمالی لایه‌ها، از سه نوع لایه در هر نقشه راه می‌توان استفاده نمود.

لایه بالایی: این لایه مربوط به موضوعات و مفاهیمی است که تغییر در آنها ممکن است اهداف کلی را تحت تاثیر قرار دهد. مفاهیمی که نه تنها تغییر بلکه روند تغییر آن نیز به منزله پیش‌ران‌هایی است که اهداف کلان را متاثر می‌سازد. مانند: روندها و پیش‌ران‌های برون صنعتی/بازار و روندها و پیش‌ران‌های داخلی. دسته اول شامل پیش‌ران‌هایی از جنس اجتماعی، فناوریانه، محیطی، اقتصادی، سیاسی و زیرساختی است.

لایه پایینی: این لایه مربوط به منابعی است که برای پاسخگویی به روندها و پیش‌ران‌های تعیین شده در لایه بالایی، مورد نیاز است. بدین معنا که برای کسب موقعیت مطلوب در محیط رقابتی و افق زمانی چشم‌انداز، باید نیازمندی‌ها و علاقه-مندی‌های محیط کسب‌وکار/بازار را که در لایه بالایی مشخص شده تامین سازد. برای تحقق این هدف لازم است منابعی از جنس دانش، فناوری، مهارت‌ها و شایستگی‌ها^۵، منابع مالی، همکاری‌های برون سازمانی و امکانات و ... شناسایی و تامین شود. این منابع در لایه پایینی نشان داده می‌شوند.

لایه میانی: این لایه مرکز تلاقی منابع مشخص شده در لایه پایین و پیش‌ران‌های مشخص شده در لایه بالا است. لایه میانی دربرگیرنده سیستم‌هایی عینی و ملموسی است که ورودی آنها همان منابع در دسترس سازمان است و خروجی آنها محصولات یا خدماتی است که نیازمندی‌ها یا علایق بازار را پاسخ می‌دهد. حسب پردازشی که این سیستم‌ها بر ورودی خود اعمال می‌کنند؛ خروجی مطلوب حاصل می‌شود که گاه از جنس ترکیب و یکپارچه‌سازی فناوری‌های مختلف یا توسعه فناوری‌های جدید است و یا از جنس ایجاد تحولی در محصول (چه از لحاظ ظاهری و چه از نظر کارکرد) می‌باشد. در هر دو حالت، جهت‌گیری به سمت ایجاد ارزش از دیدگاه مشتری، بازار و ذی‌نفعان خواهد بود. لایه میانی معمولاً به منزله پل ارتباطی میان بعد تجاری صرف و بعد فنی صرف است.

فناوری معمولاً در نقشه‌راه، دوبار مورد توجه قرار می‌گیرد یکی در لایه بالایی که می‌تواند نشان‌دهنده فناوری‌های نوظهور باشد که پیدایش آنها در کنترل سازمان نیستند و دیگری در لایه پایینی که منابع تحت کنترل سازمان در حال و آینده را نشان می‌دهد.

هر نقشه راه عموماً دارای دو بعد است: بعد زمان و بعد لایه‌ها که به ترتیب در محور افقی و محور عمودی نشان داده می‌شود. نقش مهمی که محور (بعد) زمان در نقشه راه بازی می‌کند، ملموس کردن اهداف و فعالیت‌هاست. از سوی دیگر، محور زمان در نقشه راه، کنترل پیشرفت پروژه‌ها و فعالیت‌ها را با جدول زمانی تحقق اهداف ممکن می‌سازد.

محور عمودی نقشه، دربرگیرنده لایه‌ها و زیر لایه‌هایی است. این لایه‌ها معمولاً منعکس‌کننده اهداف ترسیم نقشه راه و زمینه کاربرد آن است. این لایه‌ها می‌توانند عناوین مختلف و تعداد

امروزه سلول‌های خورشیدی عموماً از ماده سیلیسیم تهیه می‌شود و چون سیلیسیم از شن و ماسه بدست می‌آید، از نظر تأمین ماده اولیه این سلول‌ها هیچگونه کمبودی در ایران وجود ندارد ولی تولید سلول خورشیدی نیازمند فرآیندهای تولیدی مبتنی بر فن‌آوری‌های پیشرفته است که سبب شده سطح قیمت‌های آنها بالا باشد. در تولید اغلب سلول‌های خورشیدی امروزی از پلی کریستال سیلیکون استفاده می‌شود. امروزه مواد غشای نازک جدید مانند تلورید کادمیوم امکان تولید سلول‌های خورشیدی ارزان‌تر و بیشتری فراهم نموده‌اند. سلول‌های خورشیدی می‌توانند به صورت صفحات تخت گیرنده نور و یا ساختارهای متمرکزکننده تابش که نور خورشید را از محدوده وسیعی گرفته و در یک سلول متمرکز می‌کنند، توسعه یابند [۲۸].

تولید سلول‌های خورشیدی از ابتدای قرن حاضر افزایش قابل توجهی داشته است. تولیدکنندگان پیشرو در این حوزه کشورهایی هستند که به فن‌آوری‌های پیشرفته دسترسی دارند. در ضمن نصب و استفاده از این فن‌آوری در کشورهای مختلف دنیا با مشوق‌های دولتی و روندی افزایشی همراه بوده است و پیش‌بینی می‌شود که این رشد چشم‌گیر ادامه یابد [۲۹].

یک سیستم تولید قدرت فتوولتائیک از اجزایی تشکیل می‌شود که برای تولید قدرت الکتریکی معینی مورد نیاز است. اجزای اصلی این سیستم عبارتند از:

- مدول‌ها (که از سلول‌های خورشیدی بوجود می‌آیند)؛
- آرایه‌ها؛

- اسکلت نگهدارنده آرایه‌ها: به منظور طراحی اقتصادی سیستم‌های تولید قدرت فتوولتائیک، انتخاب اسکلت مناسب نگهدارنده آرایه‌ها بسیار حائز اهمیت است؛

- رگولاتور ولتاژ؛
- کنترل کننده‌ها؛

- باتری ذخیره ساز انرژی الکتریکی.

سایر اجزاء سیستم تولید قدرت فتوولتائیک عبارتند از:

- ذخیره ساز انرژی الکتریکی در باتری‌ها؛
- تنظیم ولتاژ و کنترل سیستم؛
- اینورترها.

(ب) فن‌آوری گرمایش خورشیدی با متمرکز نمودن مؤلفه مستقیم پرتوهای خورشیدی و با کمک تجهیزات تبدیل کننده

در ابتدا هر سازمان باید با تصمیم‌گیری در خصوص افق زمانی مطلوب برای برنامه‌ریزی، تعیین ماهیت و تعداد لایه‌ها معماری نقشه‌راه خود را انجام دهد. شایان ذکر است لایه‌های تعیین شده در معماری نقشه‌راه باید با اطلاعات مرتبط و مناسبی پر شود. در این راستا طراحی گام‌هایی برای جمع‌آوری اطلاعات و فراهم آوردن بستری برای ایجاد وفاق میان کلیه ذی‌نفعان موضوع نقشه راه همان بعد فرایندی را تشکیل می‌دهد. به عبارتی برای گردآوری اطلاعات مورد نیاز نقشه‌راه باید تیم‌های کارشناسی و مشاوره تخصصی تشکیل و کارگاه (پانل)‌هایی نیز جهت هم‌اندیشی و ایجاد اتفاق نظر بین خبرگان و یا ذی‌نفعان بخش مربوطه طراحی و اجرا شود. در این فرایند ریزفصل‌های هر لایه و برنامه زمان‌بندی مربوطه نیز مشخص می‌شود.

۴- انواع فناوری‌های برق خورشیدی

به‌طور کلی فناوری‌های حرارتی خورشیدی به دو بخش نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی و کاربردهای غیر نیروگاهی سیستم‌های خورشیدی تقسیم‌بندی می‌شود. اصولاً برای تبدیل پرتوهای خورشیدی به الکتریسیته، دو نوع فناوری اصلی وجود دارد که هر دو این فن‌آوری‌ها با سرعت خوبی در حال پیشرفت هستند و بازده هر دو نزدیک به ۱۴ تا ۱۵ درصد است:

- ۱) استفاده از تجهیزات نیمه‌هادی فتوولتائیک برای تبدیل مستقیم پرتوهای خورشیدی به الکتریسیته است؛
- ۲) استفاده از سیستم‌های حرارتی خورشیدی است؛
- ۳) سایر فن‌آوری‌ها.

الف) فن‌آوری فتوولتائیک: به پدیده‌ای که در اثر تابش نور بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک، الکتریسیته تولید کند، پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند، سیستم فتوولتائیک و به یک مجموعه از سلول‌های سری و موازی شده (که از آن جریان و ولتاژ بدست می‌آید) پنل (Panel) فتوولتائیک گفته می‌شود. سیستم‌های فتوولتائیک به سه دسته تقسیم می‌شوند:

۱. پنل‌های خورشیدی

۲. تولید توان مطلوب یا پخش کنترل

۳. مصرف‌کننده یاربار الکتریکی

در روش فتوولتائیک از سلول خورشیدی جهت تولید برق استفاده می‌شود. سلول خورشیدی ساده‌ترین و پیشروترین شکل از وسائل تولید انرژی در دسترس است. این ابزار حالت جامد، هیچ قسمت متحرکی ندارد و به راحتی هم در تولید پراکنده و هم نیروگاهی به‌کار می‌رود.

تمامی این روش‌ها هنوز در حال توسعه ارزیابی می‌شوند و راه درازی در پیش دارند تا بتوانند مستقیماً با روش‌های اقتصادی‌تر تولید انرژی رقابت کنند.

با این حال امروزه فن‌آوری‌های اصلی تولید انرژی خورشیدی به واسطه تلاش‌های هماهنگی که دولت‌ها در بسیاری از کشورها جهت حمایت از روش‌های تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر انجام می‌دهند، توسعه یافته‌اند. فناوری سلول‌های خورشیدی تا نسل خود توسعه یافته و در ایران نیز کانون هماهنگی دانش و صنعت سلول‌های خورشیدی موفق به ساخت نسل سوم این سلول‌ها با راندمان ۵٪ در مقیاس آزمایشگاهی شده است [۳۰].

۵- انواع نیروگاه‌های خورشیدی

به‌کارگیری فناوری‌های فتوولتائیک جهت تولید برق خورشیدی، به‌طور کلی به دو روش نیروگاهی انجام می‌شود:

۱- نیروگاه‌های متصل به شبکه سراسری برق^{۱۱}: در این روش انرژی الکتریکی حاصل از سیستم فتوولتائیک با استفاده از تجهیزات الکتریکی مبدل جریان مستقیم به جریان متناوب (مانند اینورترهای متصل به شبکه و ...) ضمن تغییر شکل و تطبیق سطح ولتاژ و فرکانس انرژی الکتریکی حاصل از سیستم فتوولتائیک با مشخصات سطح ولتاژ، اختلاف فاز، فرکانس و ... به شبکه سراسری برق تزریق می‌گردد.

۲- نیروگاه‌های مستقل از شبکه سراسری برق^{۱۲}: تأمین انرژی الکتریکی ایستگاه‌های مخابراتی و تلویزیونی، خانه‌های مسکونی، چادرهای عشایری، کلبه‌های روستایی و به‌صورت کلی رفع نیاز انرژی الکتریکی مناطقی که فاقد شبکه سراسری برق می‌باشند و .. با استفاده از این روش انجام می‌شود. این روش سهم بالایی از سیستم‌های مستقل از شبکه را در جهان به خود اختصاص داده است.

به‌طور کلی و با استفاده از تقسیم‌بندی فناوری‌های برق خورشیدی می‌توان نیروگاه‌های مرتبط را به شکل زیر دسته‌بندی نمود:

الف) نیروگاه‌های فتوولتائیک:

- تولید برق توسط سیستم‌های سانترال؛
 - تولید برق از نوع اتصال به شبکه به‌صورت پراکنده؛
 - تولید برق از نوع ایزوله از شبکه (برای مناطق دور دست).
- اهم کاربردهای سیستم‌های فتوولتائیک:

گرما به الکتریسیته و فرایندهای ترمودینامیکی، توان الکتریکی تولید می‌کند.

در این روش از خورشید به‌عنوان منبع گرمایی حرکت توربین‌های تولید انرژی استفاده می‌شود. در نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، گیرنده نقش کلیدی در کارایی و بهره‌برداری نیروگاه دارد. فرایند متمرکز کردن پرتوهای خورشیدی و تبدیل آنها به انرژی مورد نظر، معمولاً با دما و شار تشعشعی بالا همراه است.

طراحی گیرنده‌های سازگار با شرایط و محل بهره‌برداری نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، به فناوری بالایی نیاز داشته و در حقیقت محور اصلی تحقیق و توسعه مراکز تحقیقاتی دنیا در زمینه استفاده صنعتی تولید برق از نیروگاه‌های خورشیدی بشمار می‌رود. در این زمینه سه نوع سیستم که از نظر گردآوری و متمرکزسازی پرتوهای خورشیدی دارای اهمیت بالا/بیشتری می‌باشد، عبارتند از:

- ✓ سیستم‌هایی با گردآورنده‌های سهموی خطی^۸؛
- ✓ گیرنده‌های سانترال^۹؛
- ✓ بشقاب‌های سهموی^{۱۰}.

ج) سایر فن‌آوری‌ها: درکنار فن‌آوری‌های گرمایش خورشیدی و فتوولتائیک، فن‌آوری‌های دیگری نیز برای تبدیل نور خورشید به الکتریسیته کشف شده‌اند که سه مورد از آنها عبارتند از:

۱) فن‌آوری حوضچه خورشیدی: این حوضچه، یک استخر پرشده با آب شور (Brine) است که به وسیله خورشید گرم می‌شود. این روش مشابه روشی است که در مزرعه‌های زمین‌گرمایی عیار پایین برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود.

۲) فن‌آوری کوره خورشیدی که از اثر کوره‌ای استفاده می‌کند. نور خورشید باعث گرم شدن هوای درون یک گلخانه بزرگ می‌شود که اطراف آن باز است. جریان هوای بالارونده ایجاد شده به وسیله این روش برای به حرکت درآوردن توربین‌های بادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳) فن‌آوری الکترولیز نوری که ویژگی‌های نیمه رساناهای نامتعارف را به کار گرفته و با استفاده از نور خورشید، آب را به هیدروژن و اکسیژن تجزیه می‌کند.

اگرچه فن‌آوری‌های تولید برق خورشیدی و بویژه فن‌آوری فتوولتائیک مدت زیادی است که در حال پیشرفت هستند ولی

11 Connected Grid
12 Stand alone

8 Parabolic-Trough
9 Central-Receiver
10 parabolic- Dishes

نیروگاهی کشور ناچیز است. بررسی آمار تولید ناویژه برق در سال‌های ۸۷ تا ۸۹، سهم هر یک از انواع نیروگاه‌های کشور در تولید برق را نشان می‌دهد که اطلاعات آن در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: تولید ناویژه برق به تفکیک نیروگاه - ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹

(واحد اعداد داخل جدول گیگاوات ساعت است) [۲۰]

نیروگاه سال	نیروی بخاری	گازی	تولید برق از سیکل ترکیبی	تولید برق از نیروگاه آبی	تولید برق از تجدیدپذیر
۱۳۸۷	۹۷۲۰۱	۵۴۹۱۱	۵۷۰۱۵	۲۰۴	۵۰۰۲
۱۳۸۸	۹۵۷۷۱	۵۳۸۴۶	۶۴۱۴۲	۱۲۴	۷۲۰۷
۱۳۸۹	۹۴۰۷۳	۵۸۴۰۰	۷۰۶۵۸	۱۲۸	۹۵۲۳
میانگین سهم	٪۴۳	٪۲۵	٪۲۸٫۶	٪۰٫۱	٪۳٫۲

در ادامه ظرفیت هر یک از انواع نیروگاه‌های فعال در کشور استخراج گردیده که در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. از مقایسه این دو جدول می‌توان به این نتیجه رسید که ۸۵/۲٪ از ظرفیت نصب شده و ۹۶/۶٪ از برق تولیدی از طریق نیروگاه‌هایی تأمین می‌شود که سوخت اصلی آنها گاز طبیعی است.

جدول ۴: ظرفیت نصب‌شده به تفکیک نیروگاه‌ها سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹

(واحد اعداد داخل جدول مگاوات است) [۲۱]

نیروگاه سال	نیروی بخاری	گازی	تولید برق از سیکل ترکیبی	تولید برق از نیروگاه آبی	تولید برق از تجدیدپذیر
۱۳۸۷	۵۹۸٫۱۵	۰۷۷٫۱۸	۱۱۷٫۱۱	۴۱۸	۶۷۲٫۷
۱۳۸۸	۷۰۴٫۱۵	۶۶۷٫۱۸	۶۶۴٫۱۳	۴۲۶	۷۱۴٫۷
۱۳۸۹	۷۰۴٫۱۵	۵۲۶٫۲۲	۹۸۴٫۱۳	۴۰۸	۴۸۶٫۸
میانگین سهم	٪۷٫۲۷	٪۷٫۳۴	٪۷٫۲۲	٪۷٫۰	٪۰٫۱۴

در سال ۱۳۸۹، احداث ۲۸۳۵۶ مگاوات ظرفیت جدید تا پایان سال ۱۳۹۳ در برنامه قرار گرفت و ظرفیت نصب‌شده کشور در پایان سال ۱۳۸۹ معادل ۶۱۲۰۳ مگاوات عنوان شد. اگر ۱۰۰٪ این برنامه محقق شود، در پایان برنامه پنجم توسعه، ۸۹۵۵۹ مگاوات ظرفیت نصب شده در کشور خواهیم داشت که جزئیات آن مطابق جدول شماره ۵ خواهد بود.

- ✓ سیستم‌های تأمین برق مستقل از شبکه؛
- ✓ پمپاژ خورشیدی؛
- ✓ روشنایی خورشیدی؛
- ✓ سیستم تغذیه کننده پرتابل؛
- ✓ حفاظت کاتدیک.

ب) نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی:

این نوع نیروگاه خورشیدی^{۱۳} انرژی خود را به‌طور مستقیم از خورشید جمع‌آوری نموده و با متمرکز کردن آن، درجه حرارت بالایی ایجاد می‌کند. انرژی جمع شده از طریق مبدل حرارتی، ژنراتور توربین‌ها یا موتورهای بخار به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی به ۶ دسته تقسیم می‌شود:

- نیروگاه‌های سهموی خطی^{۱۴}؛
- نیروگاه‌های دریافت کننده مرکزی^{۱۵}؛
- نیروگاه‌های بشقاب سهموی^{۱۶}؛
- نیروگاه‌های دودکش خورشیدی^{۱۷}؛
- نیروگاه کلکتورهای فرنل^{۱۸}؛
- نیروگاه‌های سهموی خطی^{۱۹}.

ج) کاربردهای غیرنیروگاهی از انرژی حرارتی خورشید عبارتند از:

از: آبگرمکن و حمام خورشیدی، سرمایش و گرمایش خورشیدی، آب شیرین کن خورشیدی، خشک کن خورشیدی، اجاق خورشیدی، کوره‌های خورشیدی، خانه‌های خورشیدی و ... [۳۱].

۶- سهم انواع نیروگاه‌ها در تولید برق کشور

در ایران برق مصرفی کشور از چهار طریق تأمین می‌شود که عبارتند از:

- نیروگاه‌های تحت نظر وزارت نیرو؛
- نیروگاه‌های اختصاصی صنایع بزرگ؛
- نیروگاه‌های بخش خصوصی؛

- واردات.

در ایران ۸۶٪ از ظرفیت نیروگاهی و ۸۸٪ برق تولیدی کشور در اختیار وزارت نیرو است و سهم بخش خصوصی در صنعت

- 13 Solar power
- 14 Parabolic Trough
- 15 CRS
- 16 Parabolic Dish
- 17 Solar Chimney
- 18 Fresnel Collector
- 19 Parabolic Trough

جدول ۵: چشم‌انداز ظرفیت تولید برق در پایان برنامه پنجم توسعه کشور

(یکای اعداد داخل جدول مگاوات است) [۲۲]

نوع نیروگاه	ظرفیت ۱۳۸۹	سهم از کل	ظرفیت سال ۱۳۹۳	سهم از کل
بخاری	۱۵,۷۰۴	٪۲۵/۷	۱۸۹۳۴	٪۲۱/۱
گازی	۲۲,۵۲۶	٪۳۶/۸	۲۲۶۷۶	٪۲۵/۳
سیکل ترکیبی	۱۳,۹۸۴	٪۲۲/۸	۳۲۰۵۷	٪۳۵/۸
دیزلی	۴۰۸	٪۰/۷	۴۰۸	٪۰/۵
همزمان برق/حرارت	۰	٪۰	۱۶۸۰	٪۱/۹
برق آبی	۸,۴۸۶	٪۱۳/۹	۱۲۰۰۴	٪۱۳/۴
اتمی	۰	٪۰	۱۰۰۰	٪۱/۱
تجدیدپذیر	۹۵	٪۰/۲	۸۰۰	٪۰/۹
مجموع	۶۱,۲۰۳	٪۱۰۰	۸۹۵۵۹	٪۱۰۰

نزدیک به ۶۰۰ میلیارد تومان زیان اثرات زیست‌محیطی نیروگاه‌های کشور است. روند آلودگی‌های زیست‌محیطی نیز ناامیدکننده است. در دوره ۵ ساله منتهی به سال ۱۳۸۸ این آلودگی‌ها رو به افزایش بوده است [۲۳].

کل ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های خورشیدی کشور در حال حاضر کمتر از ۱۰۰ کیلووات است که عملاً به آن نمی‌توان واژه نیروگاه را اطلاق نمود. همان‌طور که در گزارش اول (بررسی وضع موجود برق خورشیدی در دنیا) اشاره شد، برای سیستم‌های تولید برق با ظرفیت بیش از ۵۰۰ کیلووات، لفظ نیروگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد و ظرفیت‌های ۲۰ و ۳۰ کیلووات را نمی‌توان نیروگاه خواند. علاوه بر این، طبق گزارش عملکرد ارائه شده توسط سانا برای برق‌رسانی به ۲۹۰ خانوار روستایی نیز از سیستم‌های خورشیدی استفاده شده است که اگر میانگین ظرفیت سیستم برای هر خانوار روستایی را ۳ کیلووات در نظر بگیریم، کمتر از ۹۰۰ کیلووات سیستم فتوولتائیک نیز به این صورت در کشور نصب شده است؛ یعنی در مجموع کمتر از ۱ مگاوات ظرفیت برق خورشیدی در کشور نصب شده است که نزدیک ۹۰ درصد آن سیستم‌های خارج شبکه و حدود ۱۰ درصد آن سیستم‌های متصل به شبکه هستند. این موضوع نشان می‌دهد که اساساً توسعه سیستم‌های برق خورشیدی تاکنون در اولویت وزارت نیرو قرار نداشته است.

مطابق آمار اعلام شده حدود ۷۳٪ از سوخت مصرفی برای تولید برق، غیرمفید است و تنها ۲۷ درصد آن به مرحله مصرف نهایی توسط مشترکین می‌رسد. در ضمن به ازای هر کیلووات ساعت برق، ۲۶۵ ریال یارانه نیز پرداخت می‌شود.

سرمایه‌گذاری‌های دیگری نیز در این زمینه توسط وزارت نیرو و سازمان انرژی اتمی صورت گرفته است که در مراحل مختلفی از مطالعه یا انجام هستند که می‌توان به نیروگاه حرارتی

۷- وضعیت تولید برق خورشیدی در ایران

با توجه به استانداردهای بین‌المللی، اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳٫۵ کیلووات ساعت در مترمربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد، استفاده از مدل‌های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم‌های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمت‌های ایران، انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین‌المللی است و در برخی از نقاط حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلووات ساعت بر مترمربع اندازه‌گیری شده است. به‌طور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴٫۵ کیلووات ساعت بر مترمربع است.

آمار رسمی وزارت نیرو حاکی از آن است که بیش از ۹۶ درصد برق تولیدی کشور، در نیروگاه‌های فسیلی و کمتر از ۴ درصد آن از منابع تجدیدپذیر بوده است. به‌طور تقریبی، تمام این برق تجدیدپذیر نیز توسط نیروگاه‌های برق آبی بزرگ (که بنا به دلایلی نیروگاه‌های تجدیدپذیر به حساب نمی‌آیند) تولید شده است و سهم انرژی‌های بادی، خورشید، برق آبی کوچک و ... بسیار اندک بوده است. نتیجه آن که تنها ۲۰۰ مگاوات ساعت از برق تولیدی کشور (کمتر از یک هزارم) از منابع تجدیدپذیر - غیر از برق‌آبی‌های بزرگ- تولید شده است. لذا نیروگاه‌های تجدیدپذیر در تأمین برق مصرفی کشور تقریباً سهمی ندارند. در این میان انرژی خورشیدی بدترین شرایط را دارد. در میان ۳ نوع نیروگاه تجدیدپذیر نصب‌شده متصل به شبکه (بادی، بیوگازسوز و خورشیدی)، نیروگاه‌های خورشیدی کمترین ظرفیت را دارند. مجموع ظرفیت این ۳ نیروگاه خورشیدی به ۱۰۰ کیلووات نمی‌رسد.

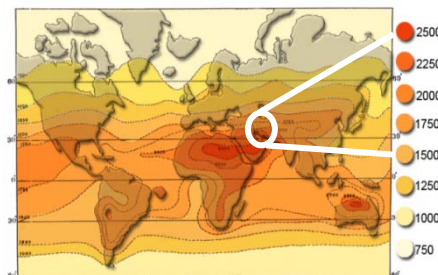
از پیامد این موضوع آلودگی‌های شدید زیست‌محیطی است. به نحوی که طبق برآوردهای وزارت نیرو در سال ۸۸ حداقل

خورشیدی از نوع خطی در شیراز با ظرفیت ۲۵۰ کیلووات اشاره کرد [۲۴].

از منظر فن‌آوری تولید برق، ایران به شدت وابسته به نیروگاه‌های فسیلی است. از بیش از ۲۲۰ هزار گیگاوات ساعت برق تولیدی، کمتر از ۲۳۰ گیگاوات آن از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود و کمی بیشتر از ۷۰۰۰ گیگاوات ساعت آن از نیروگاه‌های برق آبی تأمین می‌شود.

این نیروگاه‌ها از مجموع ۹/۱۹۵۶۳۶ گیگاوات ساعت تولید ناویژه برق در سال ۱۳۸۸ منشأ تولید ۲۲۸/۷ گیگاوات ساعت از برق تولیدی بوده‌اند. یعنی ۰/۱۱ درصد تولید برق کشور از طریق منابع تجدیدپذیر بوده است. سهم نیروگاه‌های بادی به بیش از ۰/۹۸٪ می‌رسد و سهم نیروگاه‌های خورشیدی و بیوگازسوز کمتر از دو درصد که نشان‌دهنده نقش بسیار پایین نیروگاه‌های تجدیدپذیر غیربادی است [۲۵].

در مجموع کمتر از ۱ مگاوات ظرفیت برق خورشیدی در کشور نصب شده است که نزدیک ۹۰ درصد آن سیستم‌های خارج شبکه و حدود ۱۰ درصد آن سیستم‌های متصل به شبکه است. این موضوع نشان می‌دهد که اساساً توسعه سیستم‌های برق خورشیدی تاکنون در اولویت وزارت نیرو قرار نداشته است [۲۶].



نمودار ۱: تابش متوسط سالیانه خورشید بر نقاط مختلف کره زمین

آبگرمکن‌ها اصلی‌ترین سیستم مورد استفاده در کاربردهای غیرنیروگاهی انرژی خورشیدی است. از آنجا که روزانه انرژی قابل توجهی صرف گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها می‌شود، طراحی و اجرای ساختمان‌هایی که بتوانند از انرژی خورشیدی حداکثر استفاده را ببرند، بسیار حایز اهمیت است. در ایران ابتدا طرح برق‌رسانی روستایی در سال ۱۳۸۵ از استان قزوین آغاز و سپس در استان‌های گیلان، زنجان، بوشهر، یزد و کردستان اجرا شد. در همین راستا، پروژه برق‌رسانی به ۶۳۴ خانوار روستایی نیز در سال ۱۳۸۷ تعریف شد که ظرفیت این نیروگاه‌ها حدود ۳۸۶ کیلووات است. پروژه‌های اصلی به بهره‌برداری رسیده در کشور عبارتند از:

✓ پروژه ۳۰ کیلووات در طالقان؛

✓ پروژه ۵ کیلووات شهرک قدس تهران؛

✓ حمام‌ها و آبگرمکن‌های خورشیدی توسط وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی با ۳۳۳۹ متر مربع مساحت گرد آورنده.

دو نیروگاه دارای فن‌آوری گرمایش خورشیدی (سهموی خطی) در مقیاس مگاوات نیز در استان‌های فارس و یزد در دست اجرا هستند. به‌طور خاص نیروگاه یزد یک نیروگاه ترکیبی است که در آن نیروگاه سیکل ترکیبی ۴۰۰ مگاواتی و نیروگاه خورشیدی ۱۸ مگاواتی در کنار هم قرار می‌گیرند.

در ضمن ۱۷ نیروگاه خورشیدی ۲۰ کیلوواتی در ۱۷ دانشگاه کشور با بودجه ۳ میلیارد و ۴۰۰ میلیون تومان راه‌اندازی شده است. در ضمن عملیات اجرایی فاز یک نیروگاه برق خورشیدی بقیه‌الله با ظرفیت یک مگاوات تولید برق جهت تأمین برق مورد نیاز دانشگاه آزاد بهاباد در حال احداث است. پتانسیل تابشی این شهرستان در طول سال ۳۴۳۶ ساعت است. در شهرستان چالوس نیز دومین نیروگاه خورشیدی گلدیران با ظرفیت ۲۲۰۰ وات به‌صورت متصل به شبکه با پنل‌های خورشیدی ۲۱۵ وات ال‌جی در دانشگاه آزاد چالوس راه‌اندازی شده است. نیروگاه خورشیدی سهموی خطی شیراز واقع در ۱۵ کیلومتری پل فسا و جنب نیروگاه سیکل ترکیبی فارس (با متوسط ۲۴۳ روز آفتابی و ظرفیت ۲۵۰ کیلووات)، بزرگترین نیروگاه خورشیدی خاورمیانه با حدود ۸۰ درصد فناوری بومی است [۲۷].

جدول ۶: وضعیت تولید برق خورشیدی در کشور (۸۳ الی ۸۹)

سال	۶ کیلووات هیبرید (باد و خورشید)	۳۰ کیلووات فتوولتائیک	نیروگاه دربید یزد	نیروگاه سرکوبر سمنان	خورشید ی تبریز	جمع
۱۳۸۳	-	۴۵۰۰	۸۹۰۰	۸۳۳۰	-	۱۴۰۲۰۰
۱۳۸۴	-	۱۰۰۰۰	۱۸۰۰۰	۲۵۰۰۰	-	۵۳۰۰۰
۱۳۸۵	-	۴۲۰۰۰	۱۷۰۰۰	۲۰۰۰۰	-	۷۹۰۰۰
۱۳۸۶	-	۳۲۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۴۰۰۰	-	۷۱۰۰۰
۱۳۸۷	-	۳۵۰۰۰	۱۹۰۰۰	۲۱۰۰۰	-	۷۵۰۰۰
۱۳۸۸	-	۳۱۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۱۰۰۰	۵۰۰۰	۷۲۰۰۰
۱۳۸۹	-	۳۲۰۰۰	۱۷۰۰۰	۱۸۰۰	۲۷۶۵۶	۹۴۶۵۶

چنانچه عملکرد برق‌رسانی روستایی و نصب سیستم‌های فتوولتائیک در مناطق روستایی جزء ظرفیت برق خورشیدی محسوب شود، ظرفیت برق خورشیدی کشور فراتر از یک مگاوات نخواهد شد. مهم‌ترین دلیل این امر را شاید بتوان در عدم توجه کافی به توسعه برق تجدیدپذیر در کشور دانست که این امر نیز ریشه در دسترسی به منابع فسیلی ارزان‌قیمت و گران بودن

این منطقه با میانگین تابش روزانه بیش از ۸٫۸ ساعت، پوشش ابری محدود، بارش کم باران و فراوانی فضا و زمین آزاد بهینه‌ترین شرایط فیزیکی را برای ساخت نیروگاه‌های برق خورشیدی در مقیاس بزرگ داراست.

در حالی که کشورهای حاشیه خلیج فارس مانند عمان، عربستان و امارات به تازگی نیاز خود به انرژی‌های جایگزین را دریافته‌اند، کشور اردن از لحاظ اجرای پروژه‌های خورشیدی وضعیت بهتری دارد. این کشور برنامه دارد تا سال ۲۰۲۰ حدود ۱۰ مگاوات ظرفیت انرژی خورشیدی در کشور خود ایجاد کند. در کشور امارات متحده عربی، شهر مصدر واقع در ۱۷ کیلومتری جنوب شرقی ابوظبی محل اجرای بزرگترین پروژه این کشور است. این منطقه قرار است به منطقه‌ای تبدیل شود که ۱۰۰ درصد انرژی آن از منابع تجدیدپذیر و خورشیدی تامین شود.

از نظر بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در حال حاضر کشور مراکش بیشترین ظرفیت خورشیدی فتوولتائیک نصب و راه‌اندازی شده را در اختیار دارد. این کشور بدون ذخایر نفتی در پایان سال ۲۰۰۸ در حدود ۵۶ درصد از کل ظرفیت فتوولتائیک نصب شده در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا را به خود اختصاص داده است.

کشور مصر به‌طور فعال در حال استفاده از پتانسیل خورشیدی خود است. عمان، عربستان سعودی، اردن و امارات متحده عربی چهار کشور دیگری هستند که شرایط ایده‌آلی برای توسعه این فن‌آوری در اختیار دارند.

با توجه به شرایط آب و هوایی و موقعیت جغرافیایی به نظر می‌رسد که مصر با فاصله زیادی نسبت به سایر کشورها بهترین منابع فیزیکی را برای توسعه و گسترش فن‌آوری‌های خورشیدی در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا در اختیار داشته باشد. این نتیجه‌گیری با در نظر گرفتن چهار شاخص تابش نرمال مستقیم، تابش افقی کلی، میزان زمین غیر زراعی و تعداد ساعت تابش خورشیدی در روز حاصل شده است.

فتوولتائیک فرصت قابل توجهی را برای تولید برق در ترکیه عرضه می‌کند. برآورد فعلی برای کل زمین مناسب عملی برای نصب PV در مقیاس بزرگ در ترکیه بیش از ۱۱۰۰۰ کیلومتر مربع است. در این سایت‌ها حدود ۳۰۰ GWP تاسیسات امکان‌پذیر است.

ترکیه در مارس ۲۰۱۰ برنامه راهبردی انرژی ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۴ را منتشر کرد که یکی از اولویت‌های دولت افزایش سهم منابع انرژی تجدیدپذیر به ۳۰٪ از کل تولید انرژی سال ۲۰۲۳ است [۳۴].

فن‌آوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر دارد.

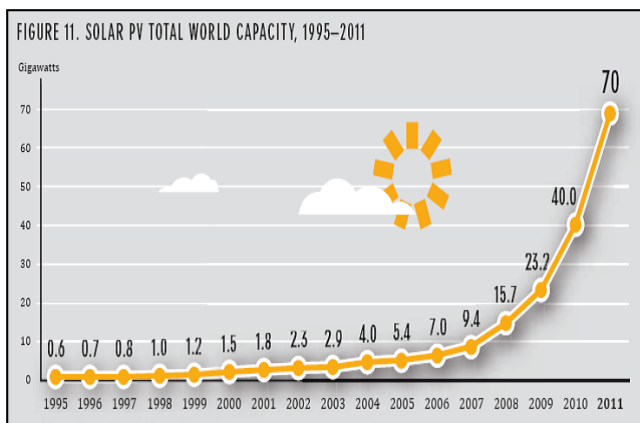
با این حال حجم قابل ملاحظه (نزدیک به ۱۲ گیگاوات) نیروگاه تجدیدپذیر در کشور توسط بخش خصوصی در دست مطالعه است که تقریباً تمام آن را نیروگاه‌های بادی و خورشیدی تشکیل می‌دهند؛ هر چند که سهم نیروگاه‌های بادی بسیار بیشتر و نزدیک به ۷۵ درصد این مقدار است. برآوردها نشان می‌دهد که تقریباً تمامی ظرفیت برق تجدیدپذیری که با روند کنونی در آینده نزدیک (۱ تا ۳ ساله) به بهره‌برداری خواهد رسید، از نوع بادی خواهد بود. با این وجود بیش از ۱۵۰۰ مگاوات از ظرفیت در دست مطالعه را نیز نیروگاه‌های خورشیدی تشکیل می‌دهند که عدد قابل ملاحظه‌ای است. به نظر می‌رسد سرمایه‌گذاران امید دارند که در آینده در تعرفه‌های خرید برق تحولاتی صورت گیرد که تولید برق خورشیدی را به مقرون به صرفه سازد.

۸- وضعیت برق خورشیدی در کشورهای خاورمیانه

خاورمیانه ظرفیت تبدیل شدن به مرکز توسعه و شکوفایی انرژی خورشید در ده سال آینده را دارد و می‌تواند تا سال ۲۰۲۰ بالغ بر ۹ هزار مگاوات برق خورشیدی تولید کند و این رقم را تا سال ۲۰۳۰ به ۴۰ هزار مگاوات برساند. تقویت رویکرد موجود نسبت به انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک از یک سو و موقعیت جغرافیایی بسیار مناسب خاورمیانه از سوی دیگر از جمله عواملی است که بستر لازم را برای تبدیل شدن این منطقه به قطب تولید و توسعه برق خورشیدی در آینده را مهیا نماید.

منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا در طول سال حدود ۳۱۰ روز آفتابی را سپری می‌کند. با توجه به سایر ویژگی‌های این مناطق نظیر میزان درخشندگی خورشید و متوسط میزان تابش سالانه و ...، این منطقه از این حیث دارای ظرفیتی بیش از دو برابر اروپای مرکزی و سایر نقاط جهان است و مستعد تبدیل شدن به قطب تولید برق خورشیدی جهان در دهه آینده است. در واقع هر کیلومتر مربع از زمین منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا معادل ۱٫۵ میلیون بشکه نفت خام در هر سال انرژی خورشیدی دریافت می‌کند. محاسبات نشان می‌دهد با به‌کارگیری انرژی خورشیدی در کمتر از ۰٫۳ درصد از کل مناطق بیابانی خاورمیانه و شمال آفریقا، می‌توان کل برق لازم برای تقاضای فعلی اروپا، شمال آفریقا و خاورمیانه را تامین کرد.

با توجه به وضعیت جغرافیایی این منطقه، شرایط آب و هوایی خاورمیانه و شمال آفریقا محرک خوبی برای انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی و بادی به حساب می‌آید.



شکل ۲: روند رشد جهانی ظرفیت عملیاتی سیستم‌های فتوولتائیک [۳۵]

اتحادیه اروپا با وجود کشورهای آلمان و ایتالیا، قسمت اعظم بازار سیستم‌های فتوولتائیک را در اختیار دارد (۵۷٪ از ظرفیت عملیاتی جدید سال ۲۰۱۱). مجموع ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک اتحادیه اروپا تا پایان سال ۲۰۱۱، ۵۱ گیگاوات بوده (به‌طور تقریبی معادل سه چهارم کل ظرفیت نصب شده جهانی یا تقاضای برق بیش از ۱۵ میلیون خانوار اروپایی). سه بازار بزرگ فتوولتائیک اروپا در سال ۲۰۱۲ شامل آلمان با ۷٫۶ گیگاوات، ایتالیا با ۳٫۳ گیگاوات و فرانسه با ۱٫۲ گیگاوات بوده و سه بازار بزرگ غیر اروپایی نیز شامل چین با حداقل ۳٫۵ گیگاوات، آمریکا با ۳٫۲ گیگاوات و ژاپن با ۲٫۵ گیگاوات بوده است. در این سال ظرفیت جهانی آن از مرز ۱۰۰ گیگاوات عبور نمود.

هر ساله هم‌افزایی بین سیاست‌های تشویقی انرژی‌های تجدیدپذیر و سیاست‌هایی که باعث بهبود کارایی این انرژی می‌شود، افزایش می‌یابد. یکی از عوامل مهم تاثیرگذار بر بازار انرژی تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۰ عدم قطعیت در سیاست‌های بلندمدت و بی‌ثباتی در بسیاری از نقاط جهان بوده است. در پاسخ به کاهش قیمت برخی از فن‌آوری‌ها (به خصوص فتوولتائیک خورشیدی) و همچنین بحران مالی جهانی در اواخر سال ۲۰۰۸، بسیاری از کشورها برای انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش مشوق‌های مالی و کاهش مالیات را در نظر گرفته‌اند و سایر کشورها نیز در حال بازبینی خط‌مشی‌ها و سیاست‌های خود در این حوزه هستند.

در سال‌های اخیر تعداد کشورهایی که در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر، هدف‌گذاری کرده‌اند، رشد یافته است. در حال حاضر ۹۶ کشور دنیا در این حوزه هدف‌گذاری نموده که بیش از نیمی از آن‌ها، کشورهای در حال توسعه هستند. در ضمن طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱، تعداد کشورهایی که در حوزه انرژی‌های

۹- وضعیت جهانی تولید برق خورشیدی

از تاریخ شوک نفتی ۱۹۷۳، کشورهای توسعه یافته هزینه بسیار زیادی را صرف تحقیق و توسعه بر روی فناوری‌های انرژی خورشیدی نموده‌اند. قسمت اعظم سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی خورشیدی به سمت فناوری‌های نسبتاً پیشرفته جهت‌گیری داشته است.

در این مسیر تحقیق در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ میلادی تقریباً متوقف شد؛ چراکه نفت و گاز در این دوران فراوان و ارزان بود. اما در دهه اخیر به دلیل بالا بودن قیمت نفت و گاز و همچنین خطر جدی گرمایش زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی بار دیگر فن‌آوری‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی در کانون توجه قرار گرفته است.

در حالی که انرژی خورشیدی هیچ سهمی در تولید برق کشور ایران ندارد، در جهان سهم این انرژی بیش از ۳۰ درصد است. تا پایان سال ۲۰۱۴ ظرفیت فتوولتائیک در جهان به ۴۰ هزار مگاوات خواهد رسید. در حال حاضر بیش از ۴۵٪ انرژی خورشیدی دنیا در کشور ژاپن تولید می‌شود؛ اروپا با ۲۵٪ رتبه دوم و ایالت متحده آمریکا با ۱۹٪ رتبه سوم را به خود اختصاص داده است. در خصوص بازار عرضه سلول‌های خورشیدی از نوع سیلیکونی کریستالی می‌توان گفت که این سلول‌ها ۸۸٪ از بازار را به خود اختصاص داده‌اند. با وجود آنکه جذب‌کننده نسبتاً ضعیفی بوده و برای کارایی مناسب نیازمند ضخامت زیادی در حد چند میکرون است ولی این نوع سلول‌ها از گذشته تاکنون در اغلب سیستم‌های جذب‌کننده نور خورشید بکار گرفته شده است و با کارایی ۱۱ الی ۱۶ درصد، کاربرد وسیع و گسترده‌ای در فناوری میکروالکترونیک دارد. همچنین دوره عمر سیستم‌های فتوولتائیک در دنیا با توجه به کیفیت تعمیرات و نگهداری سالیانه، از ۱۵ تا ۳۰ سال متغیر بوده که امروزه با در نظر گرفتن دوره عمر متوسط ۲۰ سال، هزینه تولید برق سیستم‌های فتوولتائیک در دنیا بستگی به محل کار و هزینه‌های تجهیزات جانبی متغیر می‌باشد.

ظرفیت عملیاتی سیستم‌های فتوولتائیک در پایان سال ۲۰۱۱ در حدود ۱۰ برابر میزان کل نصب شده جهانی در ۵ سال قبل از آن بوده و بدینوسیله به‌طور متوسط نرخ رشد سالانه ۵۸ درصدی را در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ به ارمغان آورده که شکل شماره ۲ این روند را نشان می‌دهد. کشورهای پیشرو در ظرفیت نصب شده سیستم‌های فتوولتائیک در انتهای سال ۲۰۱۱، آلمان، ایتالیا، ژاپن، اسپانیا و آمریکا بوده‌اند.

خورشیدی پیش‌بینی شده است. برآورد شده که در سال‌های قبل از ۲۰۲۰ این دسته از نیروگاه‌ها برای تأمین بار میانی و پیک استفاده شوند و در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ با کاهش هزینه سرمایه‌گذاری و افزایش بازدهی این نیروگاه‌ها وارد تأمین بار پایه خواهند شد و سهم آنها رو به افزایش خواهد بود؛ به گونه‌ای که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ نزدیک به ۱۱٪ از تولید برق جهان را در اختیار داشته باشند.

جدول ۸: آینده‌ی برق خورشیدی حرارتی، آژانس بین‌المللی انرژی [۳۸]

سال	حداقل تولید برق در سال	حداکثر تولید برق در سال	نقشه‌ی راه (EIA)
۲۰۲۰	۲۰۰	۵۰۰	۵۰۰
۲۰۳۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۱۱۰۰
۲۰۴۰	۲۰۰۰	۴۵۰۰	۲۸۰۰
۲۰۵۰	۲۰۰۰	۸۰۰۰	۴۹۰۰

در نقشه راه آژانس بین‌المللی انرژی نکته مهمی مورد اشاره قرار گرفته است و آن نقش حیاتی موضوع انتقال برق است. آژانس بین‌المللی انرژی امکان انتقال برق در مسافت‌های بسیار طولانی را در توسعه‌ی برق خورشیدی حرارتی پر اهمیت می‌داند. خطوط انتقال ولتاژ بالای فرامرزی می‌تواند بازارهای جدیدی در زمینه صادرات برق ایجاد نماید. در صورت ایجاد چنین شبکه‌های انتقالی و بر مبنای این نقشه راه، نیروگاه‌های CSP مستقر در استرالیا، اندونزی را تغذیه می‌کند و به همین ترتیب نیروگاه‌های CSP مستقر در آسیای مرکزی: روسیه، شمال آفریقا و ترکیه، اتحادیه اروپا، آفریقای شمالی و جنوبی و استوایی، مکزیک و آمریکا را تغذیه خواهند کرد. بر این اساس انرژی الکتروسیته در سال ۲۰۵۰ به میزان حداقل ۲۰۰۰ تراوات ساعت تا حداکثر ۸۰۰۰ تراوات ساعت در سال، از طریق فن‌آوری حرارتی خورشیدی تأمین خواهد شد.

چهارمین سناریو، مرتبط با بنیاد DESERTEC است. انتقال مقادیر زیاد برق خورشیدی از مناطق بیابانی به مناطق پرجمعیت موضوعی است که توسط بنیاد DESERTEC دنبال می‌شود و بر این مبنای یک چارچوب سرمایه‌گذاری تعریف می‌شود که در آن بخشی از برق خاورمیانه، شمال آفریقا و اروپا از طریق نیروگاه‌های خورشیدی و بادی تأمین خواهد شد. هدف بلندمدت این برنامه تأمین بخش عمده‌ای از برق مصرفی خاورمیانه و شمال آفریقا و اروپا (۱۵ درصد) است. ظرفیت مربوط به این نوع انرژی تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۰ در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا افزایش پیدا کرده و ثابت می‌کند که فن‌آوری فتوولتائیک

تجدیدپذیر از سیاست‌های تشویقی و حمایتی استفاده کرده‌اند نیز بیش از دو برابر شده و از ۵۵ کشور به ۱۱۸ کشور افزایش یافته است [۴۰].

۱۰- سناریوهای جهانی آینده برق خورشیدی

در خصوص آینده برق خورشیدی پیش‌بینی‌های متفاوتی وجود دارد. نکته‌ای که در خصوص سناریوهای آینده برق خورشیدی باید خاطر نشان نمود این است که این سناریوها بیشتر نشان‌دهنده آنچه باید بشود، هستند؛ یعنی در هر کدام برای رسیدن به هدفی مشخص سهمی به انرژی خورشیدی تخصیص داده شده است.

اولین سناریو مربوط به پیش‌بینی شرکت Yole است. شرکت فرانسوی مشاوره مدیریت Yole، پیش‌بینی کرده که در سال ۲۰۳۰ حدود ۲۰٪ از مصرف انرژی دنیا به وسیله انرژی خورشیدی تأمین خواهد شد. در جدول شماره ۷ پیش‌بینی این شرکت در مقاطع ۱۰ ساله ارایه شده که شامل هر دو فن‌آوری فتوولتائیک و حرارتی خورشیدی است.

جدول ۷: آینده برق خورشیدی از دیدگاه Yole (یکای اعداد داخل

جدول تراوات ساعت در سال است) [۳۶]

سال	تولید برق در سال	مقیاس
۲۰۲۰	۶۰۰	۲۰ برابر ۲۰۱۰
۲۰۳۰	۶۰۰۰	۱۰ برابر ۲۰۲۰
۲۰۴۰	۳۰۰۰۰	۵ برابر ۲۰۳۰
۲۰۵۰	۷۵۰۰۰	۲/۵ برابر ۲۰۴۰

آژانس بین‌المللی انرژی مشابه برق خورشیدی گرمایی برای برق خورشیدی فتوولتائیک نیز نقشه راه تدوین کرده است و بر این اساس سهم برق خورشیدی فتوولتائیک از مصرف برق سال ۲۰۵۰ مشابه سهم نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی خواهد بود و به ۱۱ درصد خواهد رسید.

دومین سناریو، سناریوی بلندپروازانه سازمان WWF (یک نهاد مستقل زیست محیطی)، است که در آن امکان‌پذیری و توجیه‌پذیری تأمین تمام انرژی کره زمین از طریق منابع تجدیدپذیر تا سال ۲۰۵۰ بررسی شده است. بر اساس این سناریو روند مصرف انرژی با صرفه‌جویی شدید کنترل خواهد شد و بعد از سال ۲۰۲۰ استفاده از منابع انرژی پایان‌پذیر، روندی نزولی و همزمان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، جایگزین منابع پایان‌پذیر (شامل فسیلی و اتمی) خواهد شد [۳۷].

سومین سناریو، مرتبط با آژانس بین‌المللی انرژی است. در نقشه راه آژانس بین‌المللی انرژی، چهار آینده برای برق

می تواند از طریق منابع خورشیدی تامین شود. برای دستیابی به این هدف باید شبکه‌ای از تاسیسات ذخیره انرژی در سراسر آمریکا احداث شود که بتوانند انرژی مورد نیاز در شب را تامین کنند. این کار باید از طریق سیستم انتقال قدرت hvdc انجام شود و انرژی ذخیره شده در جنوب غربی آمریکا را که پتانسیل بیشتری برای جذب انرژی خورشید دارد، به سایر نقاط آمریکا منتقل کند [۴۲].

جدول ۹: آینده برق خورشیدی فتوولتائیک، آژانس بین‌المللی انرژی (یکای اعداد داخل جدول تراوات ساعت در سال است) [۴۱]

سال	حد اقل تولید در سال	حداکثر تولید در سال	نقشه‌ی راه (EIA)	سهم نیروگاهی	ظرفیت نقشه‌ی راه
۲۰۲۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۹۸	۲۷/۲٪	۲۱۰ گیگاوات
۲۰۳۰	۵۰۰	۲۰۰۰	۱۲۴۷	۲۹/۵٪	۸۷۲ گیگاوات
۲۰۴۰	۱۷۰۰	۳۰۰۰	۲۹۰۷	۳۱/۳٪	۲۰۱۹ گیگاوات
۲۰۵۰	۲۷۰۰	۴۸۰۰	۴۵۷۲	۳۲/۸٪	۳۱۵۵ گیگاوات

۱۱- پیش‌ران‌های برق خورشیدی

دلایل مختلفی در دنیا برای روی آوردن کشورها به استفاده از انرژی خورشید در تأمین برق مورد نیاز خود وجود دارد که غالباً در قالب "پیش‌ران‌ها"^{۲۰} مورد بررسی قرار می‌گیرند. الگویی که در این مطالعه در شناسایی پیش‌ران‌های برق خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته، الگوی عمومی PEST^{۲۱} است که به دلیل اهمیت موضوعات زیست‌محیطی در صنعت برق، عوامل زیست‌محیطی^{۲۲} نیز به آن اضافه شده است و به صورت PEST+E درآمده است. بر این اساس پیش‌ران‌های برق خورشیدی را می‌توان به موارد زیر تقسیم بندی نمود:

- پیش‌ران‌های اقتصادی؛
- پیش‌ران‌های سیاسی، امنیتی، حقوقی و حاکمیتی؛
- پیش‌ران‌های علمی و فناورانه؛
- پیش‌ران‌های زیست‌محیطی؛
- پیش‌ران‌های اجتماعی و فرهنگی.

از لحاظ سیاسی، امنیتی، حقوقی و حاکمیتی روی آوردن به برق خورشیدی در دو سطح بین‌المللی و داخلی دارای اهمیت

بیشترین سرعت پیشرفت را در بین فن‌آوری‌های تجدید پذیر خواهد داشت. در سال ۲۰۱۰ در حدود ۱۷ گیگاوات ظرفیت فتوولتائیک در سراسر دنیا اضافه شده است (کمی اندک‌تر از ۷,۳ گیگاوات در سال ۲۰۰۹) و در مجموع ظرفیت دنیا در این انرژی به ۴۰ گیگاوات رسانده است که بیش از هفت برابر ظرفیت تولید پنج سال قبل است. ظرفیت فعلی فتوولتائیک ۷۲ درصد نسبت به سال ۲۰۰۹ رشد داشته است و رشد متوسط سالیانه آن از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ بیش از ۴۹ درصد بوده است.

در این مسیر برای اولین بار از سال ۲۰۰۵ تاکنون سهم فن‌آوری غشای نازک در بازار کاهش یافته و از ۱۷ درصد در سال ۲۰۰۹ به ۱۳ درصد در سال ۲۰۱۰ رسیده است؛ در حالی که میزان فروش آن همچنان افزایش داشته است. عوامل موثر بر تحریک این بازار کاهش قیمت‌ها، کاربردهای جدید، توجه زیاد سرمایه‌گذاران و ادامه سیاست‌های حمایتی بوده است.

در کل اتحادیه اروپا بر بازار جهانی فتوولتائیک خورشیدی تسلط دارد و سهم ۸۰ درصدی را با ۱۳,۲ گیگاوات ظرفیت تازه نصب شده به خود اختصاص داده است که این میزان انرژی برای حدوداً ۱۰ میلیون خانوار اروپایی کفایت می‌کند. برای نخستین بار اروپا در سال ۲۰۱۰ بیش از ظرفیت بادی خود ظرفیت خورشیدی ایجاد نمود که توسط آلمان و ایتالیا صورت گرفته است. اتحادیه اروپا از تمامی اهداف تعیین شده خود در سال ۲۰۱۰ پیشی گرفته است و با این رشد قابل توجه انتظار می‌رود که این منطقه از اهداف سال ۲۰۲۰ خود که تولید ۲۰ درصد انرژی از منابع تجدیدپذیر است نیز پیشی بگیرد. کشور آلمان نیز به راحتی به هدف خود در سال ۲۰۱۰ که راه‌اندازی ۳,۵ گیگاوات برای ظرفیت جدید فتوولتائیک خورشیدی بود دست یافت [۳۹].

خارج از اروپا بزرگترین بازار فتوولتائیک خورشید ژاپن با ۱ گیگاوات، آمریکا با ۰,۹ گیگاوات و چین با ۰,۶ گیگاوات بوده‌اند. بازار فتوولتائیک ژاپن و آمریکا نسبت به سال ۲۰۰۹، دو برابر شده و ظرفیت کل ژاپن به ۳,۶ گیگاوات و ظرفیت کل آمریکا به بیش از ۲,۵ گیگاوات رسیده است.

سایر هدف‌گذاری‌ها به صورت سهم انرژی تجدیدپذیر از کل انرژی اولیه یا نهایی، سهم از عرضه انرژی گرمایی، ظرفیت نصب و راه‌اندازی شده از یک فن‌آوری مشخص و سهم سوخت‌های زیستی از سوخت مورد نیاز در بخش حمل و نقل بوده‌اند. این اهداف عموماً برای سال مشخصی تعیین شده و یک دوره زمانی برای دستیابی به اهداف در نظر گرفته شده است.

تا سال ۲۰۵۰ نزدیک به ۶۹ درصد از الکتریسیته آمریکا

20 Drivers

21 Political – Economic – Social – Technological

22 Environmental

مبتنی بر آن - به دلیل ویژگی مژولار آن - است. این ویژگی سبب افزایش سرعت بهره برداری از منابع و سرمایه‌گذار می‌شود. از منظر اجتماعی و فرهنگی، مسأله اشتغال‌زایی در این صنعت حایز اهمیت است.

در ضمن ظرفیت‌های تولید برق از منابع تجدیدپذیری مانند انرژی خورشیدی در کنار شبکه ذخیره انرژی می‌تواند سپر دفاعی مناسبی برای نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی باشد. در طولانی‌مدت نیز این واقعیت یکی از عوامل کلیدی محرک ساخت واحدهای تولید انرژی خورشیدی خواهد بود (در کوتاه‌مدت واحدهای تولید برق خورشیدی باید به صورت مستقل انرژی لازم برای ارائه خدمت ۲۴ ساعته را ذخیره کنند).

کشور ایران که در منطقه خاورمیانه واقع است، از تابش بالا و ضریب ظرفیت مناسبی در اکثر نقاط کشور برخوردار است. در مجموع اگرچه تحلیل مالی/اقتصادی نیروگاه‌های خورشیدی نشان‌دهنده بازده مالی پایین این فن‌آوری نسبت به دیگر گزینه‌های تولید برق است ولی وجود دیگر پیشران‌های قوی در این خصوص، می‌تواند زمینه‌ساز تبدیل آن به یک صنعت کلیدی در کشور شود؛ به عبارتی دیگر، اگرچه امروزه هزینه‌های به‌کارگیری این فن‌آوری‌ها بالاست ولی بیشتر مطالعات نشان می‌دهند که این فن‌آوری‌ها تا پایان دهه حاضر میلادی (۲۰۲۰) رقابت‌پذیر خواهند شد. هم‌اکنون نیز تولید الکتریسیته به روش گرمایش خورشیدی برای استفاده در ساعات پیک شبکه در بخش‌هایی از غرب آمریکا به مرز رقابت‌پذیری رسیده است [۳۲].

۱۲- آینده‌های بدیل برق خورشیدی

جایگزین برق خورشیدی که بتواند اولاً در مقیاسی مشابه انرژی خورشید به تولید برق بپردازد، ثانیاً امکان ایجاد و بهره‌برداری از آن در گستره وسیعی از نقاط زمین وجود داشته باشد و ثالثاً به دغدغه‌های زیست‌محیطی بشر در زمینه کنترل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پاسخ دهد؛ برق هسته‌ای است. با توجه به این موضوع و در نظر گرفتن راهبرد کشور در کسب و توسعه فن‌آوری هسته‌ای، در اینجا به تحلیل دو فن‌آوری شکافت و هم‌جوشی هسته‌ای می‌پردازیم.

مواجهه با سناریوهای افزایش جمعیت جهان، افزایش انتظارات در خصوص کیفیت زندگی و سیاست‌های جهانی در زمینه کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی باعث می‌شود که بسیاری از کشورها برق هسته‌ای را به‌عنوان راهی برای جبران کمبود برق خود در نظر بگیرند؛ ولی به نظر می‌رسد برنامه‌های توسعه نیروگاه‌های شکافت هسته‌ای جزء اولویت‌های توسعه برق

است. دسترسی به فن‌آوری خورشیدی در شرایط خاص کشور ما که در تحریم به سر می‌بریم و دسترسی به فناوری و افزایش ظرفیت در بخش نفت و گاز دشوار است، یک راه‌حل جایگزین برای توسعه ظرفیت‌هاست. در ضمن معاهده‌های زیست‌محیطی بین‌المللی و وضعیت نامناسب انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر دنیا، حکایت از سخت‌گیرانه‌تر شدن الزامات زیست‌محیطی و کنترل و کاهش گازهای گلخانه‌ای است.

یک موضوع مهم در تحلیل‌های اقتصادی، برخورداری کشور از منابع سرشار انرژی فسیلی است که منجر به ارزان‌تر شدن بهای تمام‌شده سوخت می‌شود. در مقابل توسعه ظرفیت‌های برق از منابع تجدیدپذیر، به ظرفیت‌های استخراج و پالایش گاز و دیگر سوخت‌های فسیلی نیاز ندارد. در ضمن قابلیت برق خورشیدی در تولید برق در نزدیک‌ترین فاصله به مصرف‌کننده، بهای تمام‌شده آن را کاهش می‌دهد. همچنین حرکت اقتصاد کشور به سمت آزادسازی و هدفمندسازی یارانه‌ها سبب می‌شود که قواعد بازارهای بین‌المللی انرژی در ایران حاکم شود.

تولید برق از منابع تجدیدپذیر، آلودگی محیط زیست را کاهش داده و موجب می‌شود جامعه هزینه کمتری بابت بیماری‌های خود بپردازد. در ضمن قابلیت بازیافت آسان و عدم مصرف آب در فرآیند تولید برق خورشیدی نیز از جمله مزیت‌های آن محسوب می‌شود.

در ایران تولید برق وابستگی حدوداً ۹۰٪ به گاز طبیعی دارد. تلاش کشورها بر این است که بیش از ۵۰ درصد برق آنها وابسته به یک منبع انرژی نباشد تا در صورت بروز اختلال در آن منبع، تولید برق دچار مشکل نشود. موضوع قابل توجه دیگر در زمینه وابستگی به منبع گاز طبیعی، تمرکز منابع گاز کشور در جنوب ایران است. اصل پدافند غیرعامل بر پراکنده بودن در مقابل متمرکز بودن تأکید دارد و از این طریق میزان آسیب‌پذیری کشور کاهش می‌یابد.

در زمینه مدیریت فناوری نیز باید خاطر نشان نمود که فن‌آوری‌های فسیلی به مرحله بلوغ خود رسیده است و انتظار تحول زیادی در آنها نیست. در ضمن به دلیل آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از کاربرد آنها، استانداردهای زیست‌محیطی مربوطه نیز باید رعایت شود. هزینه‌های کنترل این آلودگی‌ها به قیمت تمام شده برق می‌افزاید و از رقابت‌پذیری آنها می‌کاهد. در مقابل فن‌آوری‌های تجدیدپذیر که در منحنی عمر خود در مراحل ابتدایی هستند، احتمال کاهش قیمت و بهبود بیشتری برای آنها وجود دارد. ویژگی مهم دیگر فن‌آوری برق خورشیدی به‌ویژه فن‌آوری فتوولتائیک، سرعت بالای احداث نیروگاه‌های

ضمن آن‌که این روش مسائل مربوط به امنیت عرضه انرژی را نیز در بلندمدت برطرف می‌سازد [۳۳].

۱۳- تحلیل اسناد بالادستی برق خورشیدی در ایران

در سیاست‌های کلی نظام تلاش برای کسب فن‌آوری و دانش فنی انرژی‌های نو و ایجاد نیروگاه‌ها از قبیل بادی و خورشیدی و پیل‌های سوختی و زمین گرمایی در کشور مورد تأکید قرار گرفته است [۱۴].

اهداف تصریح شده در اسناد فرادست بخش انرژی کشور در خصوص برق تجدیدپذیر، محدود به دو افق برنامه ۵ ساله پنجم توسعه (۱۳۹۴) و سند چشم‌انداز کشور (۱۴۰۴) است. طبق قانون برنامه پنجم توسعه در پایان برنامه، ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر باید به ۵۰۰۰ مگاوات برسد و در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از تولید برق کشور به ۱۰٪ خواهد رسید [۱۵].

وزارت نیرو مجاز است در طول برنامه پنجم نسبت به افزایش توان تولیدی برق تا بیست و پنج هزار (۲۵,۰۰۰) مگاوات از طریق سرمایه‌گذاری بخش‌های عمومی، تعاونی و خصوصی اعم از داخلی و خارجی و یا منابع داخلی شرکت‌های تابعه و یا به صورت روش‌های متداول سرمایه‌گذاری مانند (BOO) و (BOT) اقدام نماید.

به‌منظور ایجاد زیرساخت‌های تولید تجهیزات نیروگاه‌های بادی و خورشیدی و توسعه کاربرد انرژی‌های پاک و افزایش سهم تولید این نوع انرژی‌ها در سبد تولید انرژی کشور، دولت مجاز است با حمایت از بخش‌های خصوصی و تعاونی از طریق وجوه اداره‌شده و یارانه سود تسهیلات، زمینه تولید تا پنج هزار مگاوات انرژی بادی و خورشیدی در طول برنامه متناسب با تحقق تولید را فراهم سازد.

وزارت نیرو موظف است به‌منظور حمایت از گسترش استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی، شامل انرژی‌های بادی، خورشیدی، زمین گرمایی، آبی کوچک (تا ده مگاوات)، دریایی و زیست‌توده (مشمول بر ضایعات و زائدات کشاورزی، جنگلی، زباله‌ها و فاضلاب شهری، صنعتی، دامی، بیوگاز و بیومس) و با هدف تسهیل و تجمیع این امور، از طریق سازمان ذی‌ربط نسبت به عقد قرارداد بلند مدت خرید تضمینی از تولیدکنندگان غیردولتی برق از منابع تجدیدپذیر اقدام نماید.

منابع مالی موردنیاز برای خرید تضمینی برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر از محل ارزش سوخت صرفه‌جویی شده براساس سوخت‌های وارداتی مایع و قیمت‌های صادراتی گاز و منافع حاصل از عدم تولید آلاینده‌ها و حفاظت از محیط‌زیست به ازای

کشورهای ثروتمند عضو سازمان توسعه همکاری‌های اقتصادی OECD نیست.

بسیاری از اقتصادهای نوظهور به گزینه اتمی متوسل شده‌اند. نتیجه روشنی که می‌توان از این موضوع گرفت این است که اگر همه این کشورها بخواهند به‌طور همزمان تصمیم به پیگیری و عملیاتی کردن برنامه‌های ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای خود بگیرند، به سرعت کمبودهای شدید و جدی در زنجیره عرضه و میزان مهارت‌های مورد نیاز در این حوزه بروز خواهد کرد.

در حال حاضر ۴۳۹ رآکتور هسته‌ای شهری در ۳۰ کشور دنیا در حال فعالیت هستند که ۳۷۰ گیگاوات برق تولید می‌کنند. ایالات متحده آمریکا با ۱۰۴ رآکتور هسته‌ای بیشترین تعداد نیروگاه‌های اتمی دنیا را در اختیار دارد. پس از این کشور فرانسه با ۵۹، ژاپن با ۵۳، روسیه با ۳۱، کره جنوبی با ۲۰، بریتانیا با ۱۹، هندوستان با ۱۸، کانادا با ۱۸، آلمان با ۱۷ و اکران با ۱۵ رآکتور قرار دارند. همچنین تعداد ۵۶ نیروگاه جدید در ۱۵ کشور دنیا در حال ساخت هستند که ۵۱ گیگاوات برق هسته‌ای به ظرفیت کل این انرژی اضافه خواهند کرد.

هم‌جوشی هسته‌ای برای چندین دهه به‌طور فریبنده‌ای، امید به تولید انرژی عاری از کربن به روشی امن را به وجود آورده است. مزیت اصلی این روش نسبت به روش شکافت هسته‌ای این است که این روش حداقل زباله هسته‌ای را تولید می‌کند و برخلاف روش شکافت هسته‌ای کاملاً کنترل‌پذیر است. گزارش شورای پژوهش‌های بریتانیا^{۲۲}، که نهادی است که بر هزینه‌های دولت انگلستان در علم و فن‌آوری نظارت می‌کند، نشان می‌دهد که امکان یک جهش عظیم در این زمینه وجود دارد (البته نه در آینده خیلی نزدیک). در گزارش فوق اشاره شده است که یک برنامه ۲۰ ساله تحقیق و توسعه با هزینه دولت بریتانیا، می‌تواند منجر به راه‌اندازی یک نیروگاه اتمی با فن‌آوری هم‌جوشی هسته‌ای تا سال ۲۰۳۰ گردد.

هم‌جوشی هسته‌ای میزان وابستگی به استخراج منابع اورانیوم و نگرانی‌های زیست‌محیطی مربوط به زباله‌های هسته‌ای را کاهش می‌دهد. همچنین میزان کمتری از کربن به وسیله این روش تولید می‌شود و این روش امکان تولید برق درون‌زا را برای کشورها فراهم می‌کند. بنابراین این روش می‌تواند راه‌حلی بلندمدت برای تولید بار مینا در مقیاس بزرگ باشد که سایر روش‌های تولید انرژی بدون کربن از انجام آن ناتوان هستند

جدول ۱۰: مقایسه ظرفیت برق بادی و خورشیدی مورد نیاز کشور براساس دو سند بالادستی این بخش

افق زمانی نوع نیروگاه	افق ۱۳۹۴ پایان برنامه پنجم	افق ۱۴۰۴ سند چشم‌انداز
تولید تجدیدپذیر	-	۱۰٪ تولید
تولید خورشیدی	-	-
تولید بادی	-	-
ظرفیت تجدیدپذیر	MW ۵۰۰۰	-
ظرفیت خورشیدی	MW ۲۰۰۰	-
ظرفیت بادی	MW ۳۰۰۰	MW ۱۲۰۰۰

نکته قابل تذکر در خصوص جدول شماره ۱۰ عدد ظرفیت ۱۲۰۰۰ مگاوات برق بادی در سال ۱۴۰۴ است. با توجه به ارقام اعلام شده، برآورد می‌شود که کشور قابلیت نصب ۱۰ هزار مگاوات تا حداکثر ۱۵ هزار مگاوات نیروگاه بادی را دارد. با توجه به صرفه اقتصادی بیشتر نیروگاه‌های بادی در قیاس با نیروگاه‌های خورشیدی، فرض شده است که در چشم‌انداز ۱۴۰۴ تمام ظرفیت برق بادی کشور بالفعل می‌شود و ظرفیت برق خورشیدی کسری ظرفیت برای رسیدن به اهداف تعیین‌شده برق تجدیدپذیر را پوشش می‌دهد.

دولت در تحقق اهداف کمی تعیین شده در مورد برق تجدیدپذیر موفق عمل می‌کند و در پایان برنامه پنجم ۵۰۰۰ مگاوات ظرفیت نصب شده خواهیم داشت و ۱۰٪ برق تولیدی در افق ۱۴۰۴ از طریق تجدیدپذیرها تأمین خواهد شد. در ادامه نهادهای حاکمیتی و دولتی اثرگذار بر صنعت برق خورشیدی معرفی شده اند [۱۹]:

- ✓ نهاد رهبری (مجمع تشخیص مصلحت نظام)؛
- ✓ مجلس شورای اسلامی؛
- ✓ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور؛
- ✓ ستاد توسعه فناوری انرژی‌های نو؛
- ✓ وزارت نیرو؛
- ✓ شرکت توانیر؛
- ✓ سازمان انرژی نو ایران (سانا)؛
- ✓ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور؛
- ✓ شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت؛
- ✓ سازمان حفاظت محیط زیست؛
- ✓ سازمان منابع طبیعی؛
- ✓ شورای عالی انقلاب فرهنگی؛

برق تولیدی این قبیل نیروگاه‌ها تأمین و به وزارت نیرو پرداخت می‌شود.

در سیاست‌های کلی نظام در بخش انرژی غیرفسیلی، انرژی هسته‌ای و برق‌آبی نقشی به مراتب پررنگ‌تر از انرژی‌های تجدیدپذیر دارند. مهم‌ترین قانون مرتبط در این بخش مربوط به ماده ۱۳۹ قانون برنامه پنجم توسعه است که در آن دولت مجاز (و نه مکلف) است که زمینه را برای افزایش ظرفیت نیروگاه‌های بادی و خورشیدی تا سقف ۵۰۰۰ مگاوات فراهم کند. از فحوای ماده ۱۳۳ قانون برنامه پنجم توسعه و ماده ۶۲ اصلاح الگوی مصرف انرژی نیز برمی‌آید که توسعه نیروگاه‌ها توسط بخش خصوصی و در مقیاس‌های کوچک مورد توجه هستند و قراردادهای خرید تضمینی و تعرفه‌های بالاتر خرید برق تجدیدپذیر در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی برای تشویق سرمایه‌گذاران بخش خصوصی در نظر گرفته شده‌اند [۱۶].

سیاست‌گذاری کلان در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر برعهده شورای عالی انرژی گذارده شده است. ضمن آن که مطابق قانون مصوب شورای عالی اداری در سال ۱۳۸۳ سازمان انرژی‌های نو ایجاد شده است تا تلاش‌ها در حوزه انرژی‌های نو را متمرکز نماید [۱۷].

جهت تسهیل دسترسی سرمایه‌گذاران به منابع مالی، علاوه بر قوانین کلی استخراج شده مرتبط‌ترین قانون در بند ب ماده ۸ قانون هدفمندسازی یارانه‌ها ذکر شده است که مطابق آن دولت مکلف است ۳۰ درصد از خالص وجوه حاصل از اجرای این قانون را به‌صورت وجوه اداره شده، یارانه نرخ سود و کمک بلاعوض جهت تحقق اهداف پیش بینی شده در ماده فوق از جمله، اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی در جهت افزایش بهره‌وری انرژی آب و توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر هزینه نماید.

آخرین موضوعی که در بخش قوانین و مقررات مورد توجه قرار گرفته است، میزان تعرفه خرید تضمینی برق از تولیدکنندگان برق تجدیدپذیر است. هم‌اکنون بنابر اطلاعات دریافتی در این تعرفه ۹۰ تومان در ساعات کم‌باری و ۱۳۰ تومان در ساعات میان‌باری و پرباری تعیین شده است.

نکته قابل توجه این است که این تعرفه برای انواع انرژی‌های تجدیدپذیر یکسان است و با چنین تعرفه‌ای احداث نیروگاه‌های خورشیدی به صرفه نیست. گفته شده است که افزایش تعرفه‌ها در بخش خورشیدی تا ۲ برابر این مقدار پیشنهاد شده است که هنوز به تصویب نرسیده است [۱۸].

- ارسال گزارش‌ها برای خبرگان هر موضوع (لایه) و همزمان تعامل و توجیه آنها توسط متولی هر لایه؛
- برگزاری جلسات هم‌اندیشی (پنل‌های تخصصی) با کارشناسان و متخصصان هر لایه (مشارکت ذی‌نفعان)؛
- تهیه گزارش نهایی لایه‌ها؛
- تجمیع و تدوین گزارش نهایی نقشه راه (تدوین سند نهایی).

- ✓ شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری (عتف)؛
- ✓ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری؛
- ✓ دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری؛
- ✓ وزارت صنایع؛
- ✓ وزارت امور اقتصادی و دارایی؛
- ✓ وزارت بازرگانی؛
- ✓ سازمان توسعه برق.

۱۵- جمع‌بندی

با توجه به وضع موجود صنعت برق کشور و رویکرد شتابان سایر کشورها در به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان منبع تولید انرژی الکتریسیته می‌توان اظهار نمود در آینده (افق چشم انداز کشور ۱۴۰۴) ضمن اینکه برق بادی نمی‌تواند به تنهایی ۱۰ درصد نیاز برق مصرفی کشور را تامین نماید، تولید برق خورشیدی در کشور و ظرفیت‌سازی پیرامون فناوری‌های برق خورشیدی و صنایع مرتبط با آن، امری اجتناب ناپذیر خواهد بود. در پایان برنامه پنجم توسعه کشور (سال ۱۳۹۴) جمعاً ۵۰۰۰ مگاوات ظرفیت نیروگاهی بادی و خورشیدی برای کشور پیش‌بینی شده که براساس نظر برخی از مسوولین، سهم برق خورشیدی باید ۲۰۰۰ مگاوات باشد.

۱۴- چارچوب پیشنهادی تدوین نقشه راه نیروگاه خورشیدی در ایران

بر اساس مطالعات انجام شده، لایه‌های موردنیاز جهت تدوین نقشه‌راه نیروگاه خورشیدی در جدول شماره ۱۱ پیشنهاد می‌شود.

- مراحل نهایی سازی نقشه راه خورشیدی نیز به شرح زیر پیشنهاد می‌شود [۴۴]:
- تعیین چهارچوب اولیه نقشه راه و فرایند نهایی سازی آن؛
- تعیین متولیان هر لایه؛
- تهیه گزارش مرتبط با هر لایه و پیش نویس نقشه راه توسط متولیان هر لایه؛
- شناسایی خبرگان و متخصصان مرتبط با هر لایه؛

جدول ۱۱: لایه های نقشه راه نیروگاه خورشیدی [۴۳]

لایه اصلی	زیر لایه‌ها عناصر اطلاعاتی هر لایه	مثال برای نیروگاه خورشیدی
بازار	<ul style="list-style-type: none"> - بخش بندی بازار - حجم هر کدام از بخش‌ها - پیش بینی آینده بخش‌ها - اولویت بندی ورود - هدف‌گذاری در بخش‌ها 	<p>تولید پراکنده: مشترکان بزرگ مشترکان مجتمع</p> <p>تولید متمرکز: هیبرید باد هیبرید فسیلی خورشیدی خالص</p>
فناوری	<ul style="list-style-type: none"> - فناوری مناسب در هر بخش - پیش بینی روند بازدهی نیروگاه هر بخش - پیش‌بینی روند قیمتی نیروگاه هر بخش - ترکیب توانمندی/استراتژی جهت کسب فناوری - تحقیق و توسعه 	<p>- فتوولتائیک - حرارتی</p> <p>برآورد بازدهی فن آوری در مقاطع مختلف زمانی اجرای نقشه راه مشخص می‌شود.</p>
سیستم	<ul style="list-style-type: none"> - ویژگی‌های نیروگاه‌های مورد نیاز برای هر یک از بخش‌های بازار - قیمت تمام شده نصب یک کیلووات ظرفیت - قیمت تمام شده برق تولیدی 	اطلاعات این لایه در سه لایه دیگر می‌تواند ادغام شود.
منابع پشتیبان	برآورد منابع موردنیاز برای تحقق اهداف در نظر گرفته شده در لایه بازار	<ul style="list-style-type: none"> - نیازمندی دانشی (R & D) - قوانین و مقررات - سرمایه‌گذاری - صنایع پشتیبان و برنامه اجرا

برق خورشیدی وجود ندارد. با توجه به سطح بلوغ فن‌آوری‌های تولید برق فسیلی نیاز است افزایش تولید برق از منابع مختلف

اهداف ملی و قوانین مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر در اسناد بالادستی ملاحظه می‌شود ولی قانون منسجم یا مصوب خاص

خواهد نمود. اکنون هدف‌گذاری ملی برای برق خورشیدی و تصویب قوانین و مقررات حمایتی مرتبط با آن، از جمله الزامات توسعه این فناوری در کشور محسوب می‌شود و در این راستا، "نقشه راه برق خورشیدی" به‌عنوان یک سند بالادست، مرجع و ابزاری تصمیم‌ساز مورد استفاده مدیران و دست‌اندرکاران این صنعت قرار گیرد تا به آنها این اطمینان نسبی را دهد که سرمایه‌گذاری‌ها، برنامه‌ها و سایر اقدامات توسعه‌ای و زیرساختی آنها در این بخش با نیازهای جامعه و تحولات آتی بازار و روندهای جهانی آن هماهنگ/همراستا است.

تجدیدپذیر توسط دولت به‌صورت جداگانه مورد حمایت قرار گیرد و قوانین خاص آن وضع شود.

اگرچه تحلیل مالی-اقتصادی صنعت برق خورشیدی نشان‌دهنده بازده مالی-اقتصادی کم‌تر این فن‌آوری در مقایسه با دیگر گزینه‌های تولید برق است ولی باید خاطر نشان نمود که کشور ایران با داشتن متوسط ۳۰۰ روز آفتابی در سال که تقریباً ۶ برابر کشورهای اروپایی است، جزء بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل تولید برق خورشیدی است. در ضمن وجود پیشران‌های نسبتاً قوی در زمینه گرایش پرشتاب کشورها به برق خورشیدی، این صنعت را به یک صنعت کلیدی در دنیا مبدل

فهرست منابع

- [1] Garcia, M.L.; Bray, O.H.; "Fundamentals of Technology Roadmapping", Strategic Business Development Department Sandia National Laboratories, 1997.
- [2] Galvin, R.; "Roadmapping - a practitioner's update", Technological Forecasting and Social Change, 71, pp. 101-103, 2004.
- [3] Richard E. Albright; *Roadmapping Convergence*, Principal, Albright Strategy Group, LLC, 2003.
- [4] EIRMA; "Technology roadmapping - delivering business vision", Working group report, European Industrial Research Management Association, Paris, No. 52, 1997.
- [5] Phaal, R.; Farrukh, C.J.P.; Probert, D.R.; "Characterisation of technology roadmaps: purpose and format", Proceedings of the Portland International Conference on management of Engineering and Technology (PICMET '01), Portland, 29th July - 2nd August, pp. 367-374, 2001.
- [6] Groenveld, P.; "Roadmapping integrates business and technology", Research-Technology Management, Vol. 50, No. 6, pp. 48-55, 1997.
- [7] Bruce, E.J.; Fine, C.H.; "Technology roadmapping: mapping a future for integrated photonics", Invited Tutorial, 2005.
www.hbs.edu/units/tom/seminars04-05/fine-5-Tech_Rdmap.pdf
- [8] Kostoff, R. N.; R. R. Schaller; "Science and technology roadmaps", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 48, Issue 2, p.p.132-143, 2001.
- [9] Kappel, Thomas A.; "Perspectives on roadmaps: how organizations talk about the future", The Journal of Product Innovation Management, Vol. 18, p.p. 39-50, 2001.
- [10] فرقانی، علی؛ حق‌بین، اشکان؛ "گونه شناسی رهنگاشت فناوری"، رشد فناوری، دوره ۵، شماره ۱۸، بهار ۸۸.
- [11] Albright, R.E.; Kappel, T.A.; "Roadmapping in the corporation", Engineering management review, Vol 31, Issue 3, pp. 31-40, 2003.
- [12] Rinne, M.; "Technology roadmaps: infrastructure for innovation", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 71, Issue 1-2, pp. 67-80, 2004.
- [13] سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در حوزه انرژی، مصوب ۱۳۷۷/۱۰/۲۳ مجمع تشخیص مصلحت (www.parliran.ir)
- [14] قانون برنامه پنجم توسعه جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۴ - ۱۳۹۰) (www.msrt.ir/sites/Productivity/.../)
- [15] قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی (www.nioc.ir/)
- [16] قانون مصوب شورای عالی اداری، سال ۱۳۸۳ (http://rc.majlis.ir/fa/law/show/)
- [17] قانون تعرفه های جدید خرید تضمینی برق از منابع انرژی تجدیدپذیر (www.sun.org.ir/fa/)
- [18] رادپو، سعیدرضا؛ ایران خواه، عبدالله؛ "جایگاه انرژی های نو و تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور در افق چشم انداز ۱۴۰۴"، کنفرانس بهینه سازی مصرف انرژی، ۲۰۱۲/۰۷/۰۷.
- [19] مسیر پیش روی صنعت برق جهان، شرکت مشاوره مدیریت آریانا، مهر ۱۳۸۹.
- [20] وزارت نیرو، معاونت برق و انرژی. ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۸، تهران: وزارت نیرو، ۱۳۸۹.
- [21] مروری بر ۲۲ سال آمار انرژی کشور، تهران، وزارت نیرو، ۱۳۹۰.

- [۲۲] پروژه ارزیابی توجیه پذیری و شناخت محیط بخش انرژی خورشیدی کشور، سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۳۹۰
- [۲۳] آمار تفصیلی صنعت برق ایران در سال ۸۹.
- [۲۴] توسعه کاربردهای انرژی‌های تجدید پذیر در ایران، وزارت نیرو، دفتر ارزیابی فنی و اقتصادی طرح‌ها، ۱۳۹۰
- [۲۵] ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، معاونت امور برق و انرژی، وزارت نیرو.
- [۲۶] شریفی علیمراد؛ کیانی، غلامحسین؛ "ارزیابی جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی در ایران"، رهیافت کنترل بهینه؛ سال سوم، شماره ۱۱، بهار ۱۳۹۲.
- [27] <http://www.moe.gov.ir/Inner-Pages/MainNav>
- [28] <http://fa.wikipedia.org/wiki>
- [29] <http://www.suna.org.ir>
- [30] European Roadmap for PV R&D, European Commission, 2004.
- [31] <http://www.suna.org.ir/fa/sun/powerapplications>.
- [32] Solar Generation, EPIA, 2011..
Strategic Issues in Global Energy Security, Global Energy Strategy to 2050, Business Insight, 2010.
- [33] *Environment & Energy Technology Roadmap and Diffusion Scenario*, 2005, Japan Trade and Industry Department,
- [34] www.wikipower.ir (بررسی استفاده از انرژی خورشید و نیروگاه خورشیدی)
- [35] <http://cdn.akairan.com/>
- [36] PV Technology Roadmap, 2010, Yole Development
- [37] The Energy Report, 100% Renewable Energy by 2050, WWF, 2011.
- [38] Technology Roadmap, Concentrating Solar Power, 2010, IEA
- [39] European Roadmap for PV R&D, European Commission, 2004
- [40] Technology Roadmap, Solar photovoltaic energy, 2010, IEA
- [41] *Solar Vision 2025 Canadian Solar Industries Association*, Solar Vision 2025: Beyond Market Competitiveness; 2010 .
- [42] [42]U.S Solar Vision Studies, U.S DOE, 2010,
- [۴۳] پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی؛ گزارش شناخت وضع موجود کشور در زمینه برق خورشیدی/بررسی فن‌آوری‌های برق خورشیدی؛ پروژه نقشه‌ی راه احداث ۲۰۰۰ مگاوات برق خورشیدی و صنایع پشتیبان، ۱۳۹۱.
- [۴۴] پژوهشکده توسعه تکنولوژی جهاددانشگاهی؛ گزارش روش شناسی تدوین نقشه راه نیروگاه خورشیدی؛ پروژه نقشه راه احداث ۲۰۰۰ مگاوات برق خورشیدی و صنایع پشتیبان"، ۱۳۹۱.

