

قدرت قابل تولید نرمال

توانی است که یک واحد در شرایط عادی و بدون هیچ‌گونه اشکال فنی و بدون اثرات سوء بر روی واحد می‌تواند تولید کند.

ذخیره

تفاضل توان قابل تولید و توان تولید شده در پیک است.

ذخیره تولید

نسبت مجموع ذخیره‌های گردان و غیرگردان به کل قدرت قابل تأمین در زمان پیک می‌باشد و نشان دهنده میزان ظرفیت تولید آماده‌ای است که جهت استفاده در مواقع اضطراری و تغییرات ناگهانی بار بکار می‌آید.

ذخیره غیرگردان

توان قابل تولید واحد یا واحدهای خارج از مدار که آماده بهره‌برداری می‌باشند.

ذخیره گردان

تفاضل توان قابل تولید و توان تولید شده واحدهای در مدار در زمان پیک است.

ارزش حرارتی

مقدار انرژی حرارتی که از سوختن یک واحد سوخت حاصل می‌شود و بر حسب کیلو کالری یا Btu سنجیده می‌گردد.

تولید ناویژه نیروگاه

جمع انرژی تولیدی مولدهای برق یک نیروگاه که در طی یک دوره زمانی معین (مثلاً یکسال) روی پایانه خروجی مولدها بر حسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت اندازه‌گیری می‌شود.

تولید ویژه نیروگاه

تولید انرژی ویژه، عبارت است از تولید انرژی برق ناویژه منهای مصرف داخلی نیروگاه‌ها در یک دوره معین و بر حسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت محاسبه می‌شود.

تولید ویژه واحد

تفاضل انرژی ناویژه واحد و مصرف داخلی واحد در یک دوره بر حسب کیلووات ساعت یا مگاوات ساعت است.



ضریب بهره برداری نیروگاه، منطقه، کشور

نسبت کل انرژی تولید شده در یک نیروگاه، منطقه یا کشور طی یک دوره مشخص (عموماً یک دوره یکساله) به حاصلضرب میانگین قدرت عملی نیروگاه، منطقه یا کشور و طول زمان دوره مربوط به ساعت.

حداکثر بار غیر همزمان

عبارت از مجموع بیشترین بارهای مصرف شده در مناطق مختلف کشور در یک دوره زمانی معین است. بیشترین بارهای مناطق، لزوماً همزمان نیستند.

حداکثر بار همزمان

در یک سیستم برق کاملاً بهم پیوسته، حداکثر بار همزمان روزانه، هفتگی، ماهانه، سالانه عبارتست از مجموع بار مناطق در لحظه حداکثر بار سیستم (بر حسب مگاوات). اگر سیستم بهم پیوسته کل کشور را پوشش ندهد حداکثر بار همزمان از مجموع بار حداکثر شبکه بهم پیوسته و بار مناطق مجزا، بطور همزمان بدست می‌آید. با توجه به اختلاف ساعت پیک در مناطق مختلف وابسته به یک سیستم بهم پیوسته، حداکثر بار همزمان کمتر از جمع بار حداکثر مناطق می‌باشد.

راندمان

راندمان در این نیروگاه به معنی نسبت انرژی خروجی (انرژی الکتریکی برحسب MWh) به انرژی ورودی (حاصلضرب ارزش حرارتی در مقدار سوخت مصرفی) می‌باشد. این تعریف در سایر نیروگاه‌های حرارتی فعال در بازار سرمایه نیز مشابه است.

وات

وات (W) معیاری برای بیان آهنگ مصرف یا تولید انرژی است. برای مثال لامپ‌های حبابی معمولی بین ۱۵ تا ۱۰۰ وات مصرف می‌کنند. کیلووات (KW) معادل با ۱۰۰۰ وات است، مگاوات (MW) برابر با ۱,۰۰۰,۰۰۰ وات یا ۱۰۰۰ کیلووات است و گیگاوات (GW) برابر با ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ وات است. این واحدها به ترتیب برای بیان مقادیر بزرگ‌تری از مصرف یا تولید انرژی به کار می‌روند.

کیلووات - ساعت (KWh)

واحد اندازه‌گیری انرژی الکتریکی که مقدار برق مصرف‌شده یا تولیدشده توسط یک دستگاه با توان یک کیلووات در مدت یک ساعت را نشان می‌دهد.



ارزش حرارتی

عبارت است از مقدار انرژی حرارتی که از سوختن یک واحد جرم سوخت مصرفی در شرایط استاندارد حاصل می‌شود و بر حسب کیلوکالری بر واحد جرم بیان می‌گردد.

قدرت عملی (قدرت در محل نصب)

بیشترین توان قابل تولید از یک مولد برق یا یک نیروگاه با احتساب شرایط محل نصب (دمای محیط، ارتفاع محل نصب از سطح دریا و دیگر شرایط محیطی).

تولید ناخالص (ناویژه)

مقدار انرژی برق تولید شده توسط یک مولد برق یا یک نیروگاه طی یک دوره زمانی معین توسط تجهیزات و ماشین‌آلات مستقر در داخل نیروگاه با احتساب مصرف داخلی (تلفات و روشنایی قسمت‌های مختلف نیروگاه).

تولید خالص (ویژه)

عبارت است از انرژی اندازه‌گیری شده در نقطه تحویل انرژی به شبکه انتقال یا توزیع نیرو در یک دوره زمانی معین. تولید خالص را می‌توان از تفاضل تولید ناخالص و مصرف داخلی برای همان دوره زمانی نیز به دست آورد.

تولید سرانه

از تقسیم مقدار کل انرژی برق تولید شده در یک منطقه یا کشور بر تعداد کل جمعیت آن در طول یک سال مشخص به دست می‌آید. در آمارهای جهانی برای محاسبه تولید سرانه هر کشور، جمع انرژی تولید شده در آن کشور، اعم از انرژی تولیدی در بخش‌های عمومی و خصوصی را در نظر می‌گیرند.

قدرت سرانه

این شاخص در هر زمان از تقسیم کل قدرت نامی نیروگاه‌های یک منطقه یا کشور بر تعداد جمعیت آن منطقه یا کشور به دست می‌آید.

آمادگی

نسبت زمانی که یک نیروگاه آماده تولید برق است به کل زمان یک سال. این شاخص نشان‌دهنده



ضریب بهره‌برداری نیروگاه، منطقه یا کشور

نسبت کل انرژی تولیدی یک نیروگاه در یک سال به حداکثر ظرفیت عملی آن. این شاخص نشان می‌دهد که نیروگاه تا چه حد از ظرفیت خود استفاده کرده است.

ضریب بار واحد

نسبت انرژی تولیدشده در یک واحد نیروگاهی به ظرفیت عملی آن در طول یک دوره مشخص. این شاخص میزان بهره‌برداری از هر واحد تولید را نشان می‌دهد.

ضریب بار

نسبت کل انرژی تولیدی در یک سال به حاصل ضرب اوج مصرف برق در کل ساعات سال (۸۷۶۰ ساعت). این شاخص نشان‌دهنده یکنواختی و کارایی توزیع بار در شبکه است.

شبکه سراسری

بیشتر نقاط تولید و مناطق مصرف برق کشور با شبکه‌ای از خطوط انتقال و ایستگاه‌های فشار قوی که مجموعاً شبکه سراسری خوانده می‌شود، به هم پیوسته‌اند. از طریق این شبکه امکان مبادله انرژی بین مناطق تحت پوشش وجود دارد. صادرات برق به خارج از کشور نیز از طریق همین شبکه است.

خروج اضطراری

عبارت است از خروج واحد تولیدی نیروگاه به دلیل وقوع خرابی یا شرایط دیگری که در برنامه سالیانه پیش‌بینی نشده باشد.

خروج با برنامه

عبارت است از خروج واحد تولیدی نیروگاه از مدار بر اساس برنامه سالیانه که قبل از شروع هر سال تعیین می‌گردد.

ترانزیت

یکی از روش‌های فروش انرژی برق توسط نیروگاه است. در این روش حداقل به مدت یکسال برق مورد نیاز مشترک صنعتی توسط عرضه‌کننده مطابق قرارداد فی‌مابین تأمین خواهد شد.



انواع نیروگاه‌های تولید برق:

نیروگاه حرارتی

این نیروگاه‌ها با سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، گاز طبیعی یا نفت خام، آب را به بخار تبدیل کرده و از آن برای چرخاندن توربین‌ها استفاده می‌کنند. این توربین‌ها ژنراتورها را به حرکت درآورده و برق تولید می‌کنند. بازدهی میانگین نیروگاه‌های حرارتی معمولاً بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما با استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند سیکل ترکیبی، این مقدار می‌تواند به ۵۰ درصد هم برسد.

. نیروگاه سیکل ترکیبی

این نوع نیروگاه از دو مرحله تولید برق استفاده می‌کند؛ ابتدا یک توربین گازی با سوخت گاز طبیعی برق تولید می‌کند، سپس گرمای خروجی آن برای تولید بخار و به حرکت درآوردن یک توربین بخار دیگر استفاده می‌شود. این روش باعث افزایش بهره‌وری می‌شود و بازدهی میانگین آن بین ۵۰ تا ۶۰ درصد است.

نیروگاه هسته‌ای

در این نیروگاه‌ها از شکافت هسته‌ای برای تولید گرما و تبدیل آب به بخار استفاده می‌شود. سوخت اصلی آن اورانیوم غنی‌شده یا پلوتونیوم است. نیروگاه‌های هسته‌ای از نظر بازدهی عملکردی در محدوده ۳۰ تا ۳۵ درصد قرار دارند، اما به دلیل هزینه پایین سوخت، مقرون به صرفه محسوب می‌شوند.

نیروگاه آبی

این نیروگاه‌ها از نیروی آب در حال حرکت، مانند رودخانه‌ها و سدها، برای چرخاندن توربین و تولید برق استفاده می‌کنند. این نوع تولید برق بدون مصرف سوخت فسیلی انجام می‌شود و بسیار پایدار است. بازدهی این نیروگاه‌ها معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است که از سایر نیروگاه‌ها بالاتر است.

نیروگاه بادی

توربین‌های بادی با استفاده از انرژی باد، ژنراتورها را به حرکت درآورده و برق تولید می‌کنند. این نیروگاه‌ها سوختی مصرف نمی‌کنند و کاملاً پاک هستند. با این حال، بازدهی میانگین آن‌ها به

دلیل تغییرات سرعت باد، حدود ۳۰ تا ۴۵ درصد است.



نیروگاه خورشیدی

در این نیروگاه‌ها از سلول‌های فتوولتائیک برای تبدیل مستقیم نور خورشید به برق استفاده می‌شود یا از متمرکزکننده‌های خورشیدی برای تولید گرما و بخار بهره می‌گیرند. بازدهی نیروگاه‌های فتوولتائیک حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد است، در حالی که نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی می‌توانند بازدهی حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد داشته باشند.

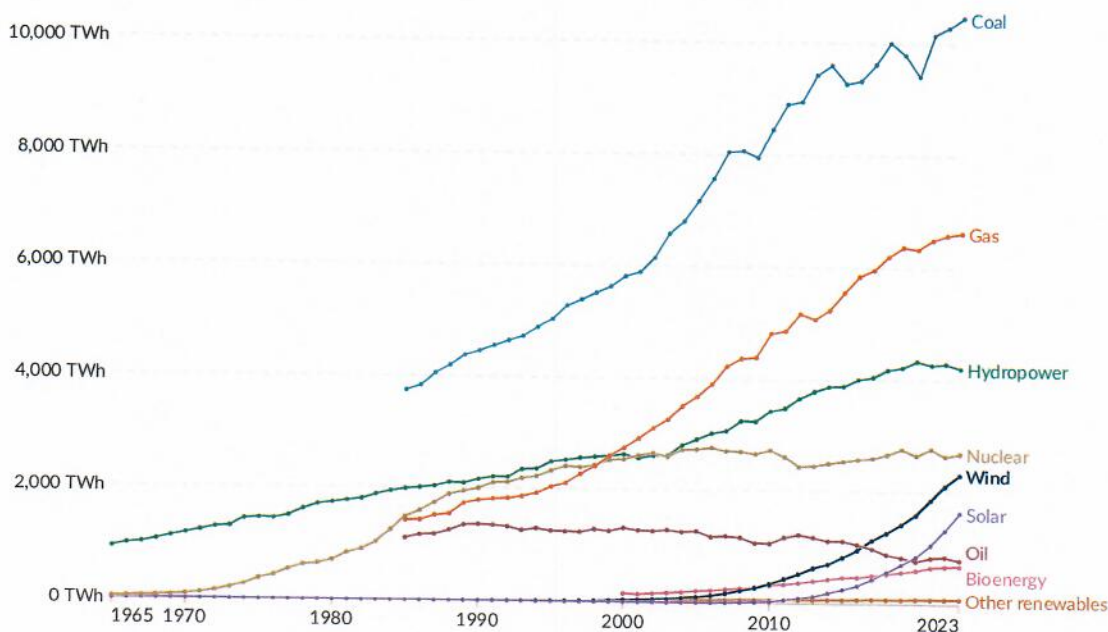
نیروگاه زمین‌گرمایی

این نیروگاه‌ها از انرژی گرمایی ذخیره‌شده در اعماق زمین برای تولید بخار و چرخاندن توربین‌ها استفاده می‌کنند. منبع اصلی انرژی آن‌ها بخار یا آب داغ زیرزمینی است. بازدهی نیروگاه‌های زمین‌گرمایی معمولاً در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد قرار دارد.

نمودار صفحه بعد وضعیت تولید برق با استفاده از منابع مختلف را نشان می‌دهد:

نمودار ۲. وضعیت تولید برق با استفاده از منابع مختلف

Measured in terawatt-hours¹.



Data source: Ember (2024); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

Note: Other renewables include waste, geothermal and wave and tidal energy.

1. Watt-hour: A watt-hour is the energy delivered by one watt of power for one hour. Since one watt is equivalent to one joule per second, a watt-hour is equivalent to 3600 joules of energy. Metric prefixes are used for multiples of the unit, usually: - kilowatt-hours (kWh), or a thousand watt-hours. - Megawatt-hours (MWh), or a million watt-hours. - Gigawatt-hours (GWh), or a billion watt-hours. - Terawatt-hours (TWh), or a trillion watt-hours.



۱۰-۱- صنعت برق؛ از آغاز تا جایگاه کنونی

صنعت برق شامل تولید، انتقال، توزیع و فروش انرژی الکتریکی به مصرف‌کنندگان مختلف از جمله مردم و صنایع است. استفاده تجاری از برق از سال ۱۸۸۲ میلادی با تأمین انرژی برای روشنایی آغاز شد. با افزایش اهمیت برق و نگرانی‌های اقتصادی و ایمنی در دهه‌های ۱۸۸۰ و ۱۸۹۰، قوانین و مقرراتی برای تنظیم این صنعت وضع شد.

در گذشته، برق یک فناوری گران‌قیمت و محدود به شهرهای بزرگ بود، اما با پیشرفت‌های صنعتی، امروزه یکی از اجزای اساسی زندگی در کشورهای توسعه‌یافته به شمار می‌آید. اولین گام‌های علمی در این مسیر را مایکل فارادی در سال ۱۸۳۱ برداشت، زمانی که توانست با استفاده از حرکت چرخشی، برق تولید کند. با این حال، حدود ۵۰ سال طول کشید تا این فناوری به مرحله تجاری برسد. اختراع ماشین گرام در سال ۱۸۷۱، امکان تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی را فراهم کرد و زمینه‌ساز توسعه نیروگاه‌های برق شد.

در سال ۱۸۸۲، توماس ادیسون اولین موسسه برق تجاری خود را در نیویورک برای تأمین روشنایی خیابان‌ها افتتاح کرد. این اقدام آغازگر صنعتی بود که امروزه تأثیرات گسترده‌ای بر جوامع بشری گذاشته است. برق اکنون نه تنها در منازل و ادارات، بلکه در صنایع، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های حیاتی نیز نقش اساسی ایفا می‌کند.

۱۱-۱- تولید برق در جهان

رشد ۲.۶ درصدی تولید برق جهانی در سال ۲۰۲۳؛ چین و ایالات متحده در صدر تولیدکنندگان

تولید جهانی برق در سال ۲۰۲۳ با رشد ۲.۶ درصدی همراه بود که با روند تاریخی آن طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ (میانگین ۲.۵ درصد در سال) تطابق دارد. این میزان رشد نشان‌دهنده بازگشت تولید برق به نرخ متوسط بلندمدت خود است.

سهم عمده اقتصادهای نوظهور در رشد تولید برق

بخش قابل‌توجهی از این افزایش در کشورهای عضو گروه بریکس (۶٪) به ثبت رسید، که در مجموع ۴۵ درصد از تولید برق جهانی را به خود اختصاص دادند. در این میان، چین و هند هر یک با رشد ۶/۹ درصدی پیش‌تاز بودند که این روند در راستای تقاضای نسبتاً پایدار برق در این کشورها قرار داشت. در برزیل، رشد تولید برق به ۴/۸ درصد رسید که دو برابر میانگین تاریخی این کشور محسوب می‌شود. در روسیه، تولید برق با نرخ ۰/۰۷ درصدی افزایش یافت که نزدیک به میانگین رشد سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ است، در حالی که در آفریقای جنوبی به دلیل مشکلات فنی و محدودیت در تأمین زغال‌سنگ، ۴/۴ درصد کاهش ثبت شد.

کاهش تولید برق در کشورهای عضو OECD

در اقتصادهای پیشرفته عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)، تولید برق در پی رشد اقتصادی ضعیف و تقاضای پایدار یا کاهشی، ۱.۶ درصد افت داشت. در آمریکای شمالی، تولید برق در ایالات متحده ۰.۴ درصد و در کانادا ۳.۶ درصد (به دلیل کاهش تولید برق آبی) کاهش یافت. این روند نزولی در ژاپن (۱/۸٪) و کره جنوبی (۱/۳٪) نیز مشاهده شد. در اروپا، تولید برق با کاهش ۳.۶ درصدی مواجه شد که از جمله شامل افت ۱۲ درصدی در آلمان و ۱۱ درصدی در بریتانیا بود. با این حال، در فرانسه، به دلیل افزایش تولید نیروگاه‌های هسته‌ای، رشد قابل‌توجه ۱۱ درصدی ثبت شد.

افزایش تولید برق در خاورمیانه و آمریکای لاتین

در منطقه خاورمیانه، تولید برق با رشد ۵ درصدی همراه بود که بیشترین افزایش در ایران و عربستان سعودی مشاهده شد (هر دو ۵٪). در آمریکای لاتین، تولید برق ۳.۸ درصد افزایش یافت و در



تأمین سرمایه‌گذاری (سهامی عام)
Omid Investment Bank

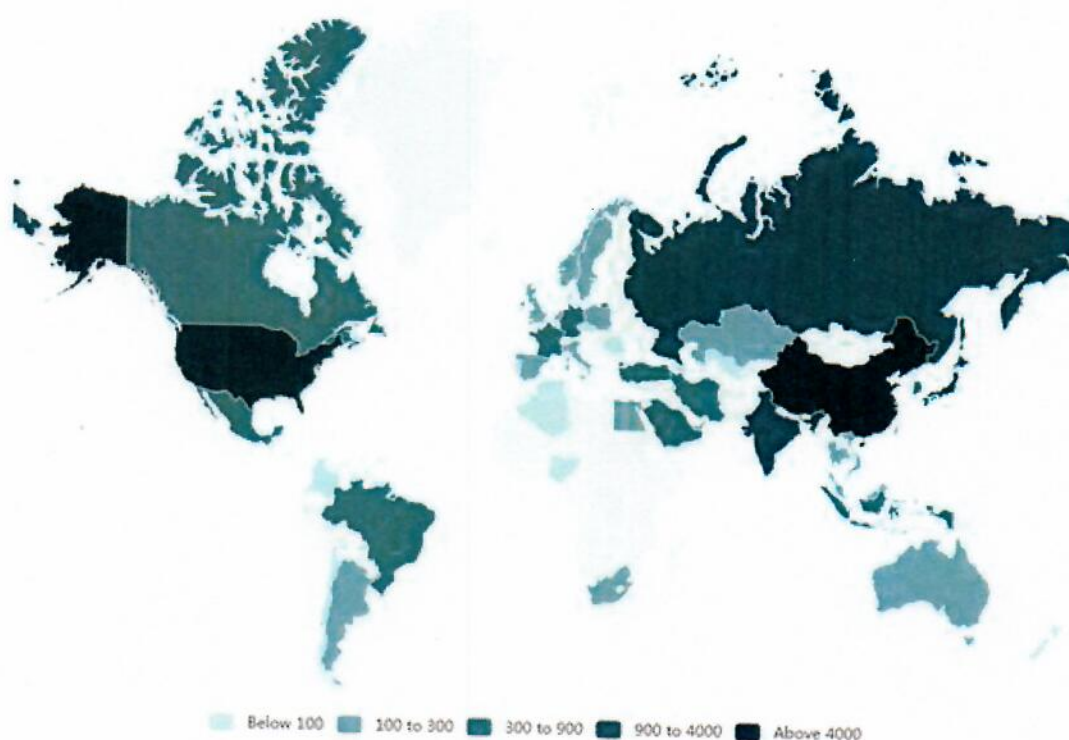
چین و ایالات متحده در صدر تولیدکنندگان برق جهان

در سال ۲۰۲۳، چین با تولید بیش از ۹,۴۵۶ تراوات ساعت برق همچنان رتبه نخست تولید جهانی را در اختیار داشت. ایالات متحده نیز با بیش از ۴,۵۲۰ تراوات ساعت، رتبه دوم تولید برق جهان را به خود اختصاص داد. جدول زیر جزئیات تولید برق جهانی در سال ۲۰۲۳ را ارائه می‌دهد.

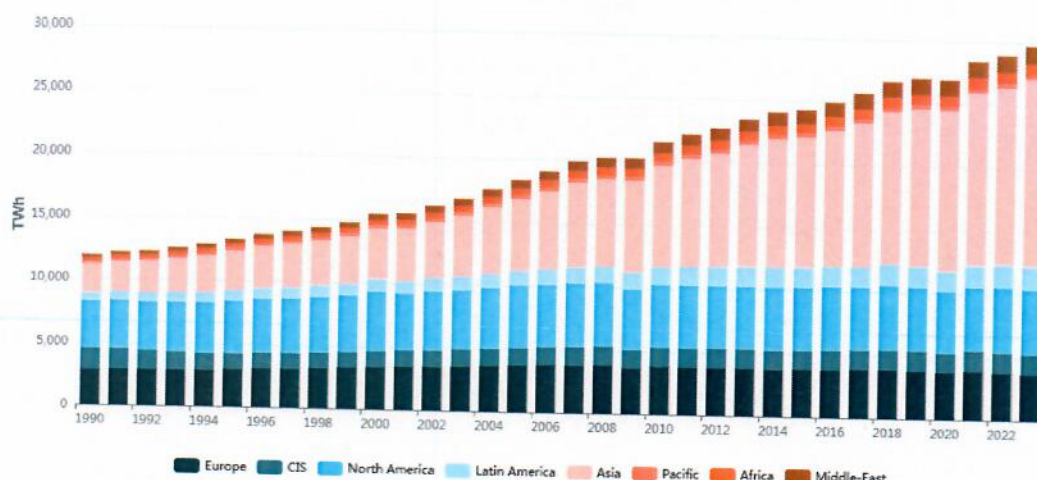
جدول ۱۲- جزئیات تولید برق جهانی در سال ۲۰۲۳

بزرگ‌ترین تولیدکنندگان برق در جهان												
نام کشور	چین	ایالات متحده	هند	روسیه	ژاپن	برزیل	کانادا	کره جنوبی	فرانسه	آلمان	مکزیک	عربستان سعودی
میزان تولید (تراوات ساعت)	۹,۴۵۶	۴,۴۹۴	۱,۹۵۸	۱,۱۷۸	۱,۰۱۳	۷۱۰	۶۳۲	۶۱۸	۵۲۷	۵۱۳	۴۱۰	۳۷۸

تصویر ۴- میزان تولید برق کشورهای جهان



تصویر ۵. تولید برق بر اساس تولید منطقه جغرافیایی طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳



۱۲-۱- مصرف برق در جهان

رشد ۲.۶ درصدی مصرف برق جهانی در سال ۲۰۲۳؛ بازگشت به نرخ رشد متوسط تاریخی

مصرف برق جهانی در سال ۲۰۲۳ با افزایش ۲.۶ درصدی همراه بود که نشان‌دهنده بازگشت به نرخ رشد متوسط تاریخی آن (حدود ۲.۷ درصد در سال) است.

رشد چشمگیر مصرف برق در کشورهای بریکس

در اقتصادهای نوظهور گروه بریکس، مصرف برق ۶ درصد افزایش یافت که این رشد عمدتاً در چین (۶.۹٪، معادل یک‌سوم کل مصرف برق جهانی)، هند (۶.۷٪) و برزیل (۳.۲٪) مشاهده شد. این کشورها رشد اقتصادی بالایی را تجربه کردند و تقاضا از تمامی بخش‌ها، از جمله نیاز به سرمایه‌گذاری در هند و برزیل و آبیاری در هند، به شدت افزایش یافت. در روسیه، مصرف برق با افزایش ۱.۴ درصدی همراه بود، در حالی که محدودیت‌های عرضه برق در آفریقای جنوبی موجب کاهش ۴ درصدی مصرف برق در این کشور شد.

کاهش مصرف برق در اقتصادهای توسعه‌یافته

در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)، مصرف برق ۱.۴ درصد کاهش یافت که این امر در بستر رشد اقتصادی کندتر رخ داد. این کاهش در اروپا (۳٪)، از جمله ۳.۵٪ در آلمان و ۳٪ در فرانسه و بریتانیا، در ایالات متحده (۱٪)، به دلیل دمای معتدل‌تر و کاهش تولید صنعتی،



در ژاپن (۱/۹٪) و در کره جنوبی (۱/۳٪) به ثبت رسید. مصرف برق در کانادا ثابت ماند، در حالی که در مکزیک به دلیل رشد اقتصادی قوی، ۴.۱ درصد افزایش یافت.

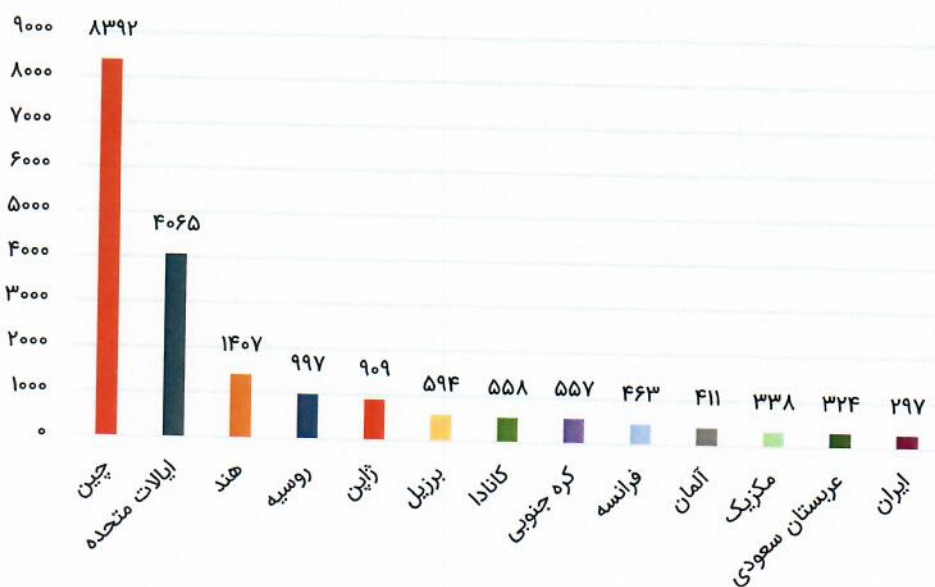
افزایش مصرف برق در خاورمیانه، آفریقا و آسیا

در خاورمیانه، مصرف برق ۴.۹ درصد افزایش یافت که این رشد عمدتاً در عربستان سعودی و ایران مشاهده شد. همچنین، کشورهای بزرگ آفریقایی، اندونزی، تایلند و ویتنام نیز شاهد افزایش مصرف برق بودند که نشان‌دهنده تقاضای بالای انرژی در این مناطق است.

جدول ۱۳- بزرگترین مصرف کنندگان برق در جهان

بزرگ‌ترین مصرف کنندگان برق در جهان													
نام کشور	چین	ایالات متحده	هند	روسیه	ژاپن	برزیل	کانادا	کره جنوبی	فرانسه	آلمان	مکزیک	عربستان سعودی	ایران
میزان مصرف (تراوات ساعت)	۸,۳۹۲	۴,۰۶۵	۱,۴۰۷	۹۹۷	۹۰۹	۵۹۴	۵۵۸	۵۵۷	۴۶۳	۴۱۱	۳۳۸	۳۲۴	۲۹۷

نمودار ۳. میزان مصرف (تراوات ساعت)



۱۳-۱- برق، زیرساختی حیاتی برای توسعه اقتصادی

امروزه، وابستگی جوامع به برق به حدی افزایش یافته که بدون آن، عملکرد عادی بسیاری از بخش‌های اقتصادی و صنعتی مختل خواهد شد. برق به‌عنوان یکی از انرژی‌های پاک، اهمیت ویژه‌ای برای کشورهای در حال توسعه دارد و می‌تواند نقش مهمی در رشد اقتصادی ایفا کند. تولید برق از منابع مختلفی مانند نیروگاه‌های حرارتی، انرژی خورشیدی، باد، آب و هسته‌ای انجام می‌شود. پیشرفت فناوری‌های تولید و ذخیره‌سازی برق، امکان دسترسی پایدار و مطمئن به این انرژی را برای جوامع مختلف فراهم کرده است.

۱۴-۱- اهمیت و ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

در دنیای امروز، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها یک انتخاب، بلکه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر برای تضمین آینده‌ای پایدار برای نسل‌های بعدی است. با توجه به بحران تغییرات اقلیمی، کاهش منابع فسیلی، وابستگی اقتصادی به انرژی‌های تجدیدناپذیر و چالش‌های زیست‌محیطی، گذار به انرژی‌های پاک و پایدار بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته است. سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال‌سنگ، علاوه بر ایجاد آلودگی‌های گسترده، یکی از مهم‌ترین عوامل افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی محسوب می‌شوند.

در مقابل، انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، آبی و زیست‌توده، نه تنها باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شوند، بلکه با افزایش امنیت انرژی، کاهش هزینه‌های اقتصادی بلندمدت و ایجاد فرصت‌های شغلی پایدار، به توسعه اقتصادی و اجتماعی نیز کمک می‌کنند. همچنین، رشد فناوری در این حوزه موجب شده است که بهره‌گیری از این منابع پاک کارآمدتر و مقرون به صرفه‌تر شود.

با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای انرژی و نوسانات قیمت سوخت‌های فسیلی، کشورهایی که در سرمایه‌گذاری و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر پیشرو باشند، نه تنها از نظر زیست‌محیطی بلکه از نظر اقتصادی و ژئوپلیتیکی نیز برتری خواهند داشت. از این رو، دولت‌ها، صنایع و جوامع باید با اتخاذ سیاست‌های حمایتی، سرمایه‌گذاری‌های هدفمند و ترویج فرهنگ مصرف پایدار، مسیر گذار از انرژی‌های آلاینده به سوی منابع تجدیدپذیر را هموار کنند تا بتوانند آینده‌ای سبز، پایدار و ایمن

برای همگان رقم بزنند.



تأمین سرمایه آدید (سهایی عام)
Omid Investment Bank

در این میان، وضعیت تولید برق کشور نیز نیازمند تحولی اساسی است. در حال حاضر، بیش از ۸۰ درصد از برق تولیدی کشور حرارتی و وابسته به سوخت گاز طبیعی است. این وابستگی باعث شده تا ناترازی گاز طبیعی به چالشی در تأمین سوخت نیروگاه‌ها تبدیل شود. محدودیت در افزایش توان تولیدی از یک سو و افزایش میزان مصرف از سوی دیگر، منجر به ناترازی عرضه و تقاضای برق شده است. به دلیل عدم تنوع در سبد تولید برق کشور و وابستگی بالای آن به گاز، همراه با محدودیت در تأمین سوخت، شرایط فعلی پاسخگوی نیاز برق جهت رشد اقتصادی کشور نیست. بنابراین، تنوع بخشی به سبد تولید برق ضروری و از اولویت‌های کشور است.

بر اساس گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شهریور ۱۴۰۲، توان اسمی برق کشور ۹۰/۹ هزار مگاوات است. با وجود حکم قانونی برنامه ششم توسعه که بر سهم ۵ درصدی (۴/۵ هزار مگاواتی) توان تولید برق تجدیدپذیر تأکید دارد، تنها ۱/۱ درصد از توان اسمی نیروگاه‌های برق متعلق به انرژی‌های تجدیدپذیر است. مجموع پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید برق در کشور حدود ۱۲۴ گیگاوات برآورد شده است که انرژی خورشیدی با ۷۱ گیگاوات و انرژی بادی با ۴۹ گیگاوات، بیش از ۹۷ درصد از کل پتانسیل موجود کشور را تشکیل می‌دهند. به همین دلیل، این منابع باید در اولویت توسعه قرار گیرند تا ضمن کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، امنیت انرژی کشور نیز تضمین شود.

۱۵-۱- نقش حیاتی انرژی‌های تجدیدپذیر در گذار به انرژی پاک

انرژی‌های تجدیدپذیر نقش کلیدی در گذار به انرژی پاک ایفا می‌کنند. استفاده از این منابع برای تولید برق، تأمین گرمایش ساختمان‌ها و صنایع، و در بخش حمل‌ونقل یکی از عوامل اصلی در محدود کردن افزایش دمای میانگین جهانی به کمتر از ۱.۵ درجه سانتی‌گراد محسوب می‌شود. در حال حاضر، زیست‌انرژی مدرن بزرگ‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان به شمار می‌آید و در سال ۲۰۲۳ بیش از ۵۰ درصد از کل مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را تشکیل داده است.

تحولات اخیر در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر امیدوارکننده بوده است و سال ۲۰۲۳ رکوردی جدید در رشد ظرفیت برق تجدیدپذیر ثبت کرد. در این سال، میزان افزایش سالانه ظرفیت تجدیدپذیرها به حدود ۵۶۰ گیگاوات رسید. علاوه بر این، سیاست‌های کلیدی که در سال ۲۰۲۲ اعلام شدند، نقش



مهمی در تسريع استقرار انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آینده خواهند داشت. از جمله مهم‌ترین این سیاست‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

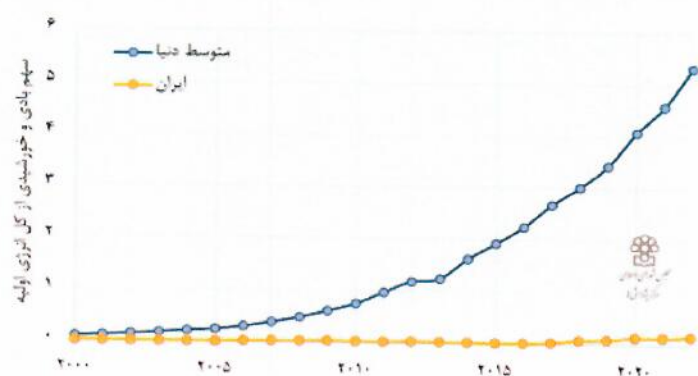
- برنامه REPowerEU در اتحادیه اروپا
- قانون کاهش تورم (IRA) در ایالات متحده
- برنامه پنج‌ساله چهاردهم چین برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

این سیاست‌ها، حمایت‌های بیشتری برای گسترش انرژی‌های پاک در آینده فراهم خواهند کرد.

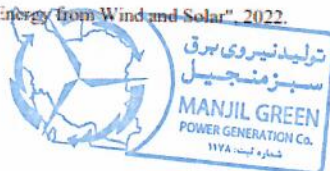
۱۶-۱- وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان

در این بخش وضعیت انرژی تجدیدپذیر در دنیا و همچنین برخی کشورهای منتخب مورد بررسی قرار می‌گیرد. عمده بررسی انجام‌شده در این حوزه، راهکارهایی است که این کشورها جهت افزایش سهم تولید برق تجدیدپذیر اجرا کرده‌اند. اگرچه هرگونه پیشنهاد در این زمینه باید با در نظر گرفتن شرایط و ساختار کشور موردنظر باشد، اما مطالعه اقدامات سایر کشورها دید مناسبی جهت پیاده‌سازی راهکارهای توسعه انرژی تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. در سال ۲۰۰۰ میلادی سهم انرژی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی از کل انرژی اولیه در ایران و جهان به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱ و ۰/۰۹ درصد بوده‌است، اما عدم توجه به توسعه انرژی تجدیدپذیر در ایران باعث شده تا این اختلاف بیشتر شود، به‌نحوی که در سال ۲۰۲۲ سهم تجدیدپذیر بادی و خورشیدی از کل انرژی اولیه در دنیا به ۳۳.۵ درصد رسیده است و این عدد در ایران کمتر از ۰.۱۶ درصد است (نمودار ۴).

نمودار ۴. روند تغییرات سهم انرژی خورشیدی و بادی از کل انرژی اولیه در دنیا و ایران



Source: Ourworldindata, "Share of Primary Energy from Wind and Solar", 2022.



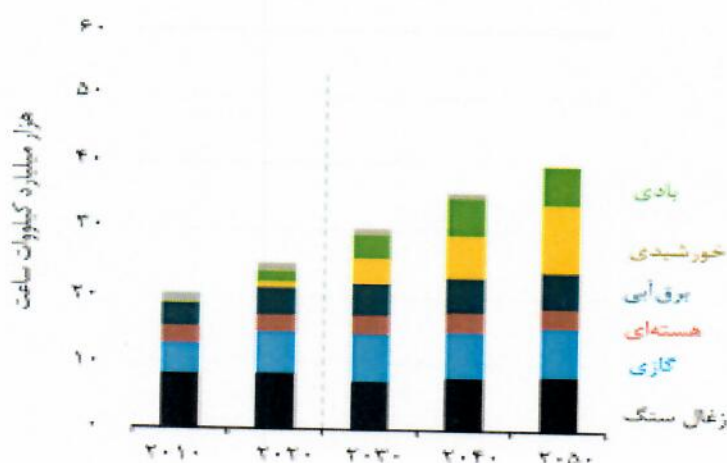
تامین سرمایه‌گذاری (سپانسر)
Omid Investment Bank

بررسی وضعیت تولید برق از منابع مختلف نیز نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از برق جهان توسط سوخت‌های فسیلی و به‌خصوص زغال‌سنگ تأمین می‌شود. از سال ۲۰۰۹ به بعد میزان تولید برق خورشیدی و بادی سرعت یافته‌است، به نحوی که در سال ۲۰۲۱ تولید برق از منابع تجدیدپذیر برابر با ۳۶۰۰ تراوات ساعت بوده که برابر با ۱۶.۵ درصد از کل برق تولیدی جهان است و از سهم انرژی هسته‌ای پیشی گرفته است.

رشد برق تجدیدپذیر در سال‌های اخیر شدت گرفته و میزان تولید برق تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۲ با ۱۴/۷ درصد رشد، به ۴۲۰۰ تراوات ساعت رسیده که قابل‌توجه است. این به این معناست که در حال حاضر تولید برق تجدیدپذیر دو برابر هسته‌ای، حدوداً برابر با برق‌آبی است و با این روند به‌زودی با تولید برق از منابع گازی برابر خواهد شد.

بر اساس پیش‌بینی EIA تا سال ۲۰۵۰ میلادی میزان تولید برق حدود ۱/۶ برابر خواهد شد که تولید برق از منابع تجدیدپذیر بادی و خورشیدی با شیب زیادی به‌عنوان نخستین منبع تولید برق شناخته خواهند شد. نمودار ۵ این مسئله را به نمایش می‌گذارد.

نمودار ۵. پیش‌بینی تولید برق از منابع مختلف تا سال ۲۰۵۰ میلادی

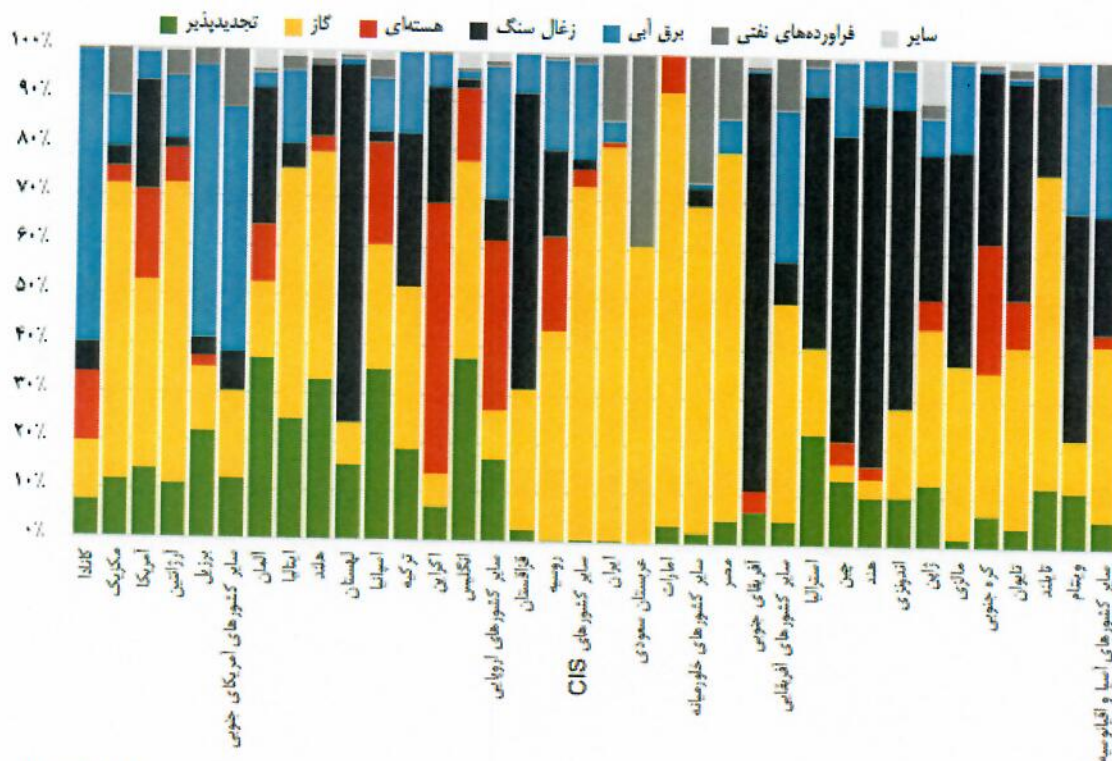


Source: International Energy Outlook 2021 With Projections to 2050, EIA, 2021.

گفتنی است که منابع در دسترس مهم‌ترین عامل در انتخاب سبد تولید برق کشورها بوده‌است. براساس نمودار ۶ سبد تولید برق در کشورهای آمریکایی نسبت به سایر کشورها تنوع

بیشتری دارد و به‌رغم اینکه بخش گازی در آن‌ها دارای بیشترین سهم است، اما کشورهایی مثل کانادا و برزیل به‌دلیل داشتن آب فراوان، منابع آبی نیز در تولید برق نقش مهمی دارند (رنگ آبی). در کشورهای اروپایی نیز اگرچه توزیع سبد تولید برق نیروگاه‌ها دارای تنوع بیشتری است، به‌دلیل کمبود منابع گازی، سهم تجدیدپذیر بیشتر و به بیش از ۲۰ درصد نیز می‌رسد (رنگ سبز). انرژی هسته‌ای، گازی و نیروگاه زغال سنگی از دیگر منابع تولید برق در این کشورهاست. در سبد تولید برق کشورهای حوزه خلیج فارس و خاورمیانه نیز، به‌دلیل برخورداری از منابع نفت و گاز، سوخت‌های فسیلی (گاز و فرآورده‌های نفتی) در تولید برق سهم بسیار بالایی داشته و به بیش از ۶۰ درصد می‌رسد (رنگ زرد). در کشورهای شرق آسیا مانند چین، استرالیا، هند و اندونزی، سهم زغال سنگ قابل‌توجه است و بیش از ۵۰ درصد از سبد تولید برق را تشکیل می‌دهد (رنگ مشکی).

نمودار ۶. سهم منابع تولید برق در کشورهای مختلف (سال ۲۰۲۱)



source: Ibid.

اگرچه منابع در دسترس مهم‌ترین عامل در انتخاب نوع سبد تولید برق کشورها بوده، اما اکثر کشورهای توسعه‌یافته در حال تغییر سیاست و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق



هستند، لذا در ادامه برخی از راهکارها و سیاست‌هایی که برخی از کشورها برای توسعه انرژی تجدیدپذیر اعمال کردند بررسی می‌شود.

چین، آلمان و بریتانیا به‌عنوان کشورهای توسعه‌یافته‌ای هستند که انرژی تجدیدپذیر در آن‌ها سهم بالایی دارد، روسیه به‌عنوان کشوری که به‌دلیل دارا بودن منابع هیدروکربنی مشابهت زیادی به ایران دارد، ترکیه به‌عنوان یک نمونه موفق در منطقه و مصر به‌عنوان کشوری که به‌تازگی به سمت تجدیدپذیر حرکت کرده و موفق نیز بوده، انتخاب شده‌اند.

۱۷-۱- چالش‌های پیش رو و ضرورت رشد سریع‌تر انرژی‌های تجدیدپذیر

در حال حاضر، انرژی خورشیدی فتوولتائیک (Solar PV) تنها فناوری انرژی تجدیدپذیری است که مطابق با سناریوی انتشار صفر خالص (NZE) تا سال ۲۰۵۰ پیش می‌رود. با این حال، سایر منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، برق آبی، زمین‌گرمایی، انرژی خورشیدی حرارتی و انرژی اقیانوسی باید با سرعت بسیار بیشتری گسترش یابند تا بتوانند در مسیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار گیرند. بر اساس سناریوی انتشار صفر خالص (NZE)، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر (به‌جز زیست‌انرژی) از کل عرضه انرژی جهانی باید از حدود ۶ درصد در حال حاضر به تقریباً ۱۶ درصد تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. برای رسیدن به این هدف، مصرف سالانه انرژی‌های تجدیدپذیر باید در بازه ۲۰۲۴-۲۰۳۰ با میانگین رشد ۱۵ درصدی افزایش یابد که این مقدار تقریباً چهار برابر رشد متوسط در پنج سال گذشته است.

۱۸-۱- شروع صنعت برق در ایران

اولین مولد برق در ایران تنها سه سال پس از افتتاح شرکت برق توماس ادیسون در سال ۱۸۸۲ میلادی (۱۲۶۱ هجری شمسی) راه‌اندازی شد. در سال ۱۲۸۴ هجری شمسی، نخستین نیروگاه خصوصی شهری با ظرفیت ۴۰۰ کیلووات در تهران به بهره‌برداری رسید.

اوایل دهه ۱۳۰۰ شمسی، با افزایش آگاهی از مزایای برق، بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در این حوزه علاقه‌مند شد. در نتیجه، نیروگاه‌های جدیدی در شهرهای مختلف تأسیس شدند و برخی صنایع نیز برای تأمین انرژی خود، تأسیسات برق اختصاصی ایجاد کردند که در برخی موارد به فروش و



در دهه‌های بعد، صنعت برق در ایران روند توسعه سریعی را تجربه کرد. با آغاز برنامه پنجم عمرانی در سال ۱۳۵۲، سیاست‌های توسعه‌ای جدیدی در صنعت برق اجرا شد که شامل موارد زیر بود:

- احداث نیروگاه‌های حرارتی بزرگ در شمال و جنوب کشور
- ساخت سدها بر روی رودخانه‌های مهم برای تولید برق آبی
- افزایش ظرفیت نیروگاه‌های گازی به میزان ۱۳۳۲ مگاوات
- برنامه‌ریزی برای توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای

اگرچه برخی از پروژه‌های برق‌آبی با تأخیر مواجه شدند، اما در مجموع این سیاست‌ها نقش مهمی در گسترش زیرساخت‌های برق کشور داشت.

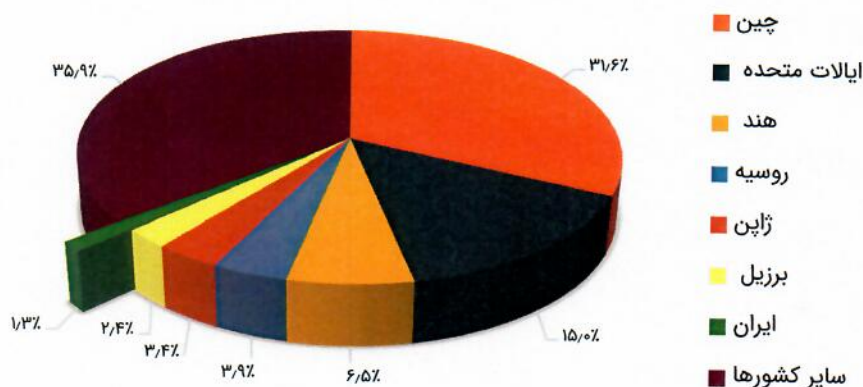
۱۹-۱- جایگاه ایران در صنعت برق جهان

به دلیل سرمایه‌گذاری‌های گسترده، ایران در صنعت برق به جایگاه برجسته‌ای دست یافته‌است. طبق آمار سازمان ملل متحد، در سال ۱۹۹۵ میلادی (۱۳۷۴ شمسی)، ایران از نظر وسعت صنعت برق در رتبه نخست خاورمیانه و غرب آسیا قرار گرفت و در سطح جهانی به رتبه ۲۱ رسید.

در سال ۲۰۲۳، ایران با تولید ۳۸۲ تراوات ساعت برق، ۱/۳ درصد از کل تولید برق جهان را به خود اختصاص داد و در رتبه سیزدهم جهان قرار گرفت. این دستاورد نشان‌دهنده رشد پایدار و نقش

کلیدی ایران در تأمین انرژی منطقه‌ای و جهانی است. (نمودار ۷)

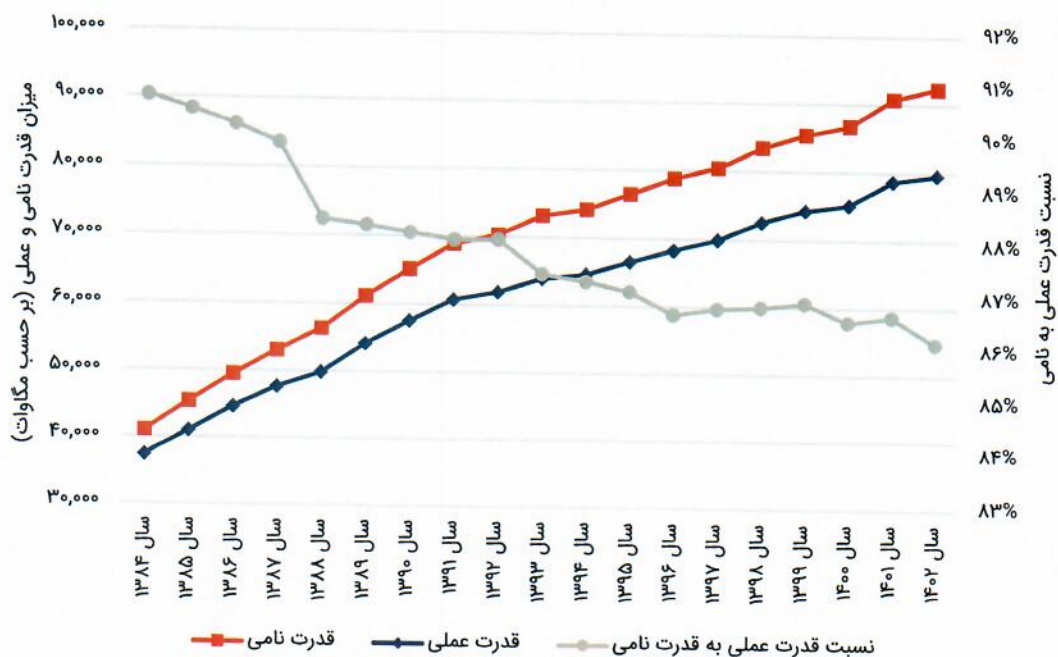
نمودار ۷. سهم کشورها در تولید انرژی برق در سال ۲۰۲۳



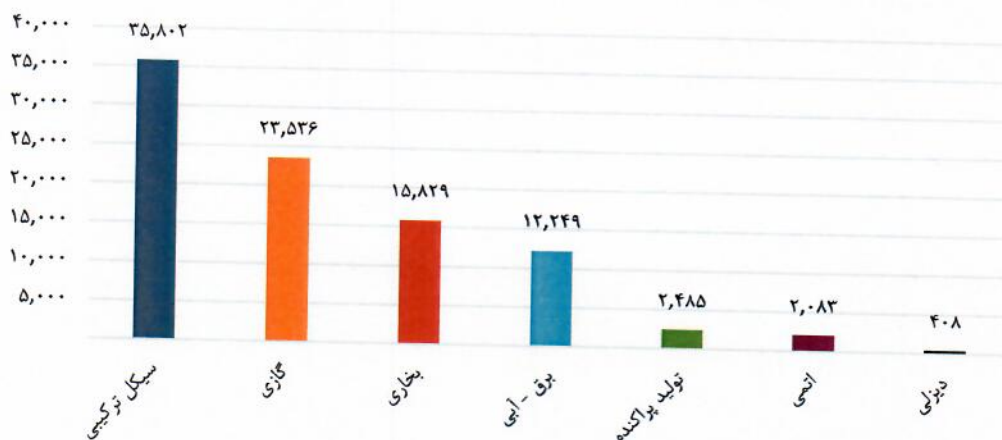
تأمین سرمایه‌گذاری (سپاس عام)
Omid Investment Bank

در یک نگاه کلی، براساس نمودار ۸ روند هر دو شاخص قدرت نامی و قدرت عملی طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۲ صعودی بوده است. قدرت نامی تولید برق کشور از حدود ۴۱ هزار به بیش از ۹۲ هزار افزایش یافته و قدرت عملی نیز از حدود ۳۷ هزار به نزدیک ۸۰ هزار رسیده است. تفاوت بین قدرت نامی و قدرت عملی بیانگر این است که نیروگاه‌ها در عمل نمی‌توانند همیشه به اندازه ظرفیت اسمی خود تولید داشته باشند؛ عوامل متعددی مانند تعمیر و نگهداری، راندمان تجهیزات، محدودیت‌های سوختی، شرایط محیطی و موارد مشابه باعث می‌شود تولید واقعی پایین‌تر از عدد نامی باشد. داده‌ها نشان می‌دهد که نسبت قدرت عملی به قدرت نامی از حدود ۹۱ درصد در سال ۱۳۸۴ به حدود ۸۶ درصد در سال ۱۴۰۲ رسیده است. این کاهش تدریجی حاکی از آن است که با وجود افزایش بیش از ۱۰۰ درصدی قدرت نامی، فاصله بین ظرفیت اسمی و ظرفیت واقعی قابل تولید نیروگاه‌ها افزایش یافته و در نتیجه راندمان کلی شبکه تولید برق افت کرده است.

نمودار ۸. میزان قدرت نامی و عملی نیروگاه‌های برق کشور ۱۳۸۴-۱۴۰۲ (بر حسب مگاوات)



ظرفیت نصب شده نیروگاهی در ایران تا پایان سال ۱۴۰۲ (مگاوات)

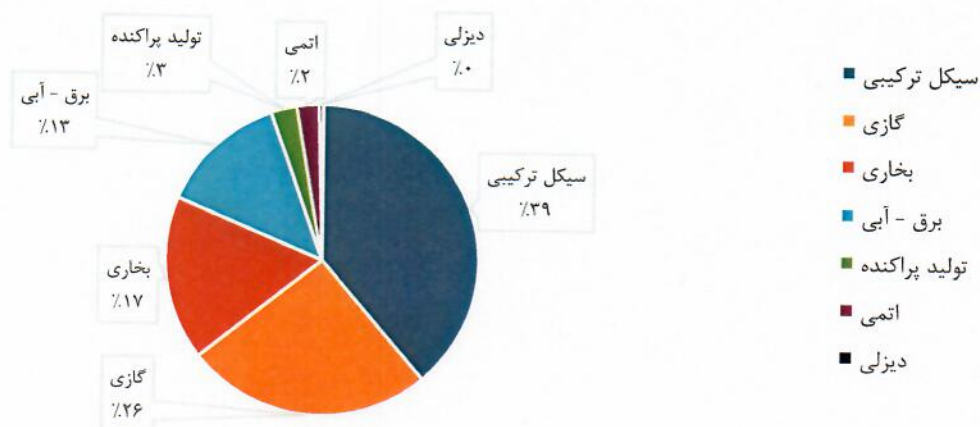


نمودار ۹. ظرفیت نصب شده نیروگاهی سال ۱۴۰۲ (مگاوات)

منبع: وزارت نیرو

کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی در کشور تا پایان سال ۱۴۰۲، ۹۲ هزار مگاوات بوده که رشد ۱/۷ درصدی را نسبت به پایان سال ۱۴۰۱ نشان می‌دهد. شایان ذکر است متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۴۰۲، ۳۹/۳۴ درصد بوده است.

سهم ظرفیت نصب شده نیروگاه‌ها در کشور



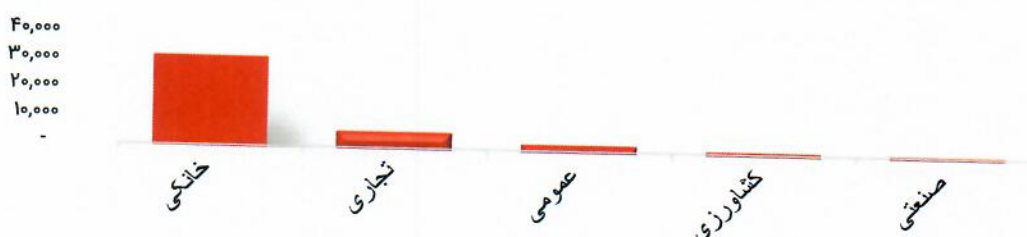
نمودار ۱۰. سهم ظرفیت نصب شده نیروگاه‌ها در کشور

منبع: وزارت نیرو



بیش از ۹۰ درصد از تولید برق کشور در سال ۱۴۰۲ توسط نیروگاه‌های حرارتی شامل سیکل ترکیبی (۳۹ درصد)، گازی (۲۶ درصد)، بخاری (۱۷ درصد) و تولید پراکنده (۳ درصد) تأمین شده است. در مقابل، سهم نیروگاه‌های برق آبی حدود ۱۳ درصد، نیروگاه‌های اتمی حدود ۲ درصد و نیروگاه‌های دیزلی حدود ۰/۱ درصد از ظرفیت نصب‌شده کشور بوده است. در مجموع، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر غیرآبی (خورشیدی، بادی، زیست‌توده و غیره) در تولید برق کشور بسیار اندک و در حدود ۰/۵٪ درصد برآورد می‌شود.

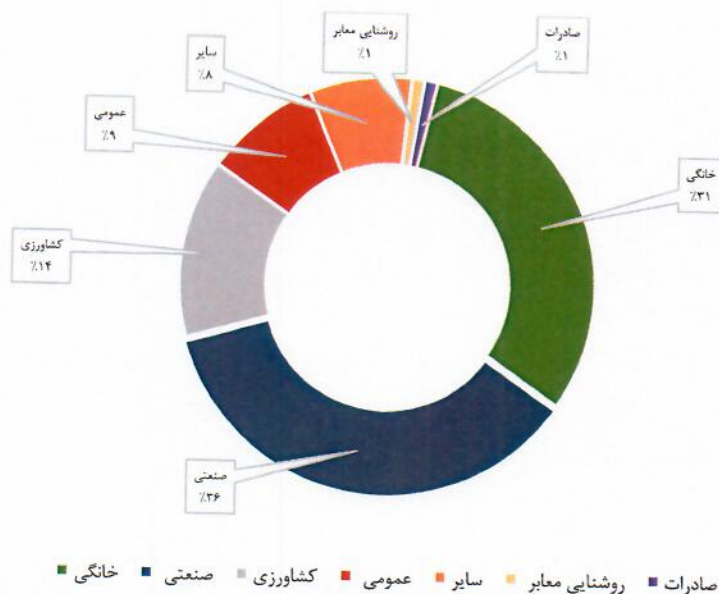
وضعیت تعداد مشترکین برق در کشور تا پایان سال ۱۴۰۲



نمودار ۱۱. وضعیت تعداد مشترکین برق در کشور تا پایان سال ۱۴۰۲

منبع: وزارت نیرو

قابل توجه است که تعداد کل مشترکین برق تا پایان سال ۱۴۰۲، ۳۹,۶۳۷ هزار مشترک بوده که نسبت به پایان سال ۱۴۰۰، ۰/۵ درصد افزایش داشته است. همانطور که قابل مشاهده است، در میان مشترکین برق کشور، مشترکین خانگی بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند. (نمودار ۱۱)



نمودار ۱۲- سهم بخش های مختلف مصرف کننده برق - درصد

بخش صنعت بزرگترین مصرف کننده برق در سال ۱۴۰۲ بوده و ۳۶ درصد از کل مصرف برق کشور را به خود اختصاص داده است. بخش خانگی نیز با ۳۱ درصد، در رتبه دوم قرار دارد. صادرات برق نیز به رغم منافع اقتصادی و راهبردی آن، سهم اندکی (۱ درصد) داشته است. تولید برق به واسطه منابع طبیعی تجدیدپذیر یا منابع فسیلی تجدیدناپذیر انجام می شود. نیروگاه های تولید برق شامل نیروگاه های منابع انرژی تجدیدپذیر (نیروگاه بادی، نیروگاه خورشیدی و نیروگاه آبی) و نیروگاه های حرارتی (نیروگاه گازی، نیروگاه بخار، نیروگاه سیکل ترکیبی و ...) است. نیروگاه حرارتی^۲ همانطور که از اسمش پیداست، برای تولید جریان برق مورد نیاز از حرارت و سوخت استفاده می کند. در این نیروگاه ها انرژی گرمایی توسط توربین به انرژی حرکتی و سپس توسط ژنراتور به نیروی الکتریکی تبدیل می شود. سوخت این نیروگاه ها می تواند زغال سنگ، گازوئیل، مازوت، گاز طبیعی و یا انواع سوخت های جامد، مایع و گاز باشد.

^۲ Thermal power station

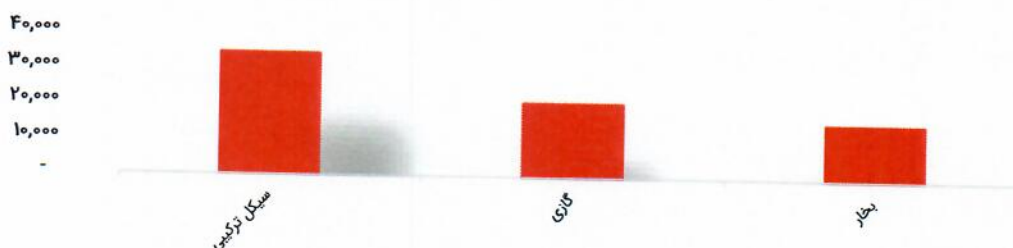


تأمین سرمایه آدید (سهامی عام)
Omid Investment Bank

مهم‌ترین نیروگاه‌های حرارتی عبارت‌اند از: نیروگاه گازی، نیروگاه بخار و نیروگاه سیکل ترکیبی.

نیروگاه‌های حرارتی

ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های حرارتی در کشور (مگاوات)



نمودار ۱۳. نیروگاه‌های حرارتی

منبع: وزارت نیرو

براساس سالنامه وزارت نیرو، تا انتهای سال ۱۴۰۲، از مجموع ظرفیت ۹۲ هزار مگاواتی کل ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های کشور، سهم نیروگاه‌های حرارتی ۷۱ هزار ۱۹۷ مگاوات، معادل ۸۰ درصد می‌باشد. همچنین ۳۴ هزار و ۲۴۶ مگاوات معادل ۴۸ درصد از کل نیروگاه‌های حرارتی مرتبط با نیروگاه‌های سیکل ترکیبی است که بازدهی بالاتری نسبت به سایر واحدهای نیروگاهی کشور دارند. ۲۱ هزار و ۱۲۲ مگاوات معادل ۳۰ درصد از کل نیروگاه‌های حرارتی مرتبط با نیروگاه‌های گازی و ۱۵ هزار و ۸۲۹ مگاوات معادل ۲۲ درصد از کل نیروگاه‌های حرارتی مرتبط با نیروگاه‌های بخار است.

نیروگاه گازی

نیروگاه گازی^۳ به این معنا نیست که سوخت آن فقط گاز است، بلکه این نیروگاه دارای توربین گازی^۴ است. نیروگاه گازی بر اساس چرخه برایتون^۵ کار می‌کند. ابتدا هوا با دما و فشار محیط وارد کمپرسور شده و پس از متراکم شدن وارد محفظه احتراق می‌گردد. با پاشش و احتراق سوخت (گاز، گازوئیل و یا بعضاً مازوت)، هوای ورودی به محفظه احتراق تحت یک فشار ثابت، گرم می‌شود. گاز خروجی

^۳ Gas Power Plant

^۴ Gas Turbine

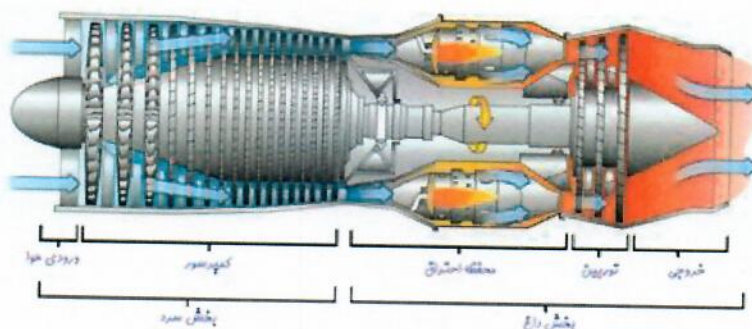
^۵ Brayton Cycle



از این محفظه، دارای فشار و درجه حرارت بالایی است که انرژی پتانسیل و جنبشی زیادی دارد. این گاز با عبور از پره‌های ثابت و متحرک توربین گازی، باعث چرخش محور توربین و در نتیجه چرخش محور روتور ژنراتور می‌شود. در کشور ما نیروگاه‌های گازی در حدود ۲۱ درصد کل تولید انرژی الکتریکی را بر عهده دارند. نیروگاه گازی دارای ۴ جزء اصلی کمپرسور^۶، اتاق احتراق^۷، توربین گازی و ژنراتور^۸ می‌باشد. کمپرسور وظیفه فشرده کردن هوا، اتاق احتراق وظیفه سوزاندن سوخت در محفظه، توربین وظیفه گرداندن ژنراتور و ژنراتور وظیفه تولید برق را دارد.

نخستین توربین گازی مولد برق در سال ۱۹۳۹ میلادی توسط شرکت براون، باوری و سی^۹ در سوئیس ساخته شد و ظرفیت آن ۴ مگاوات بود. امروزه شرکت جنرال الکتریک^{۱۰} بزرگ‌ترین تولیدکننده توربین گاز نیروگاه گازی در جهان است. در توربین گازی همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد هوا از یک سمت وارد کمپرسور توربین شده و پس از فشرده شدن با سوخت ترکیب می‌شود و در محفظه احتراق می‌سوزد تا با ورود هوای داغ و چرخش پره‌های توربین، محور اصلی به گردش درآمده و از آن برای گردش توربین مولد انرژی در توربو ژنراتور یا گردش محور کمپرسور استفاده می‌شود.

تصویر ۶. بخش‌های مختلف یک توربین گازی



- ^۶ Compressor
- ^۷ Combustion Chamber
- ^۸ Generator
- ^۹ Brown, Boveri & Cie
- ^{۱۰} General Electric



نیروگاه بخار

نیروگاه بخار^{۱۱} از مهم‌ترین نیروگاه‌های حرارتی است که سهم بسیاری در تولید انرژی الکتریکی بر عهده دارد. اگر برای چرخش ژنراتور از نیروی بخار استفاده گردد، نیروگاه به‌عنوان نیروگاه بخار شناخته می‌شود. یک نیروگاه ساده بخار بر اساس چرخه رانکین^{۱۲} تولید انرژی می‌کند. چرخه رانکین به مجموعه فرآیندهای بسته‌ای گفته می‌شود که نتیجه آن کار مفید خروجی است. معمولاً در این سیکل‌ها از آب به‌عنوان سیال کاری استفاده می‌شود. همچنین در بخشی از فرآیندهای این سیکل، سیال مذکور به صورت بخار و در بخشی دیگر به شکل مایع است. سهم تولید این نوع نیروگاه‌ها حدود ۴۷.۳ درصد کل تولید انرژی کشورمان است. در این نیروگاه سه نوع تبدیل انرژی صورت می‌گیرد. اولین نوع، تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی حرارتی است که این تحول در وسیله‌ای به نام دیگ بخار صورت می‌پذیرد. در این تبدیل انرژی، آب ورودی به دیگ بخار را به بخار با دمای زیاد تبدیل می‌کند. دومین نوع، تبدیل انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی است. این تحول در توربین صورت می‌گیرد و انرژی حرارتی بخار ورودی به توربین، تبدیل به انرژی مکانیکی چرخشی محور توربین می‌شود. سومین نوع از تبدیل انرژی در نیروگاه بخار، تبدیل انرژی مکانیکی روتور به انرژی الکتریکی است. این تحول در ژنراتور نیروگاه صورت می‌گیرد. فرآیند تولید انرژی برق در نیروگاه بخار به این شکل است که در مرحله اول، آب با استفاده از پمپ‌های آب با فشار بالا به دیگ بخار^{۱۳} تزریق می‌شود. آب پرفشار در دیگ بخار حرارت جذب می‌کند و تبدیل به بخار فوق داغ^{۱۴} با فشار بالا می‌گردد. بخار که انرژی زیادی در طول توربین جریان می‌یابد و آن را می‌چرخاند.

به‌منظور استفاده کامل از انرژی بخار، سه مرحله توربین کم‌فشار^{۱۵} توربین فشار متوسط^{۱۶} و توربین پرفشار^{۱۷} در نظر گرفته شده‌است. توربین به شفت^{۱۸} ژنراتور متصل است، بنابراین زمانی که شفت توربین به حرکت درمی‌آید، ژنراتور می‌چرخد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود. طی این فرآیند بخار

^{۱۱} Steam Power Plant

^{۱۲} Rankine Cycle

^{۱۳} Boiler

^{۱۴} Super Heat Steam

^{۱۵} Low Pressure Turbine

^{۱۶} Intermediate Pressure Turbine

^{۱۷} High Pressure Turbine

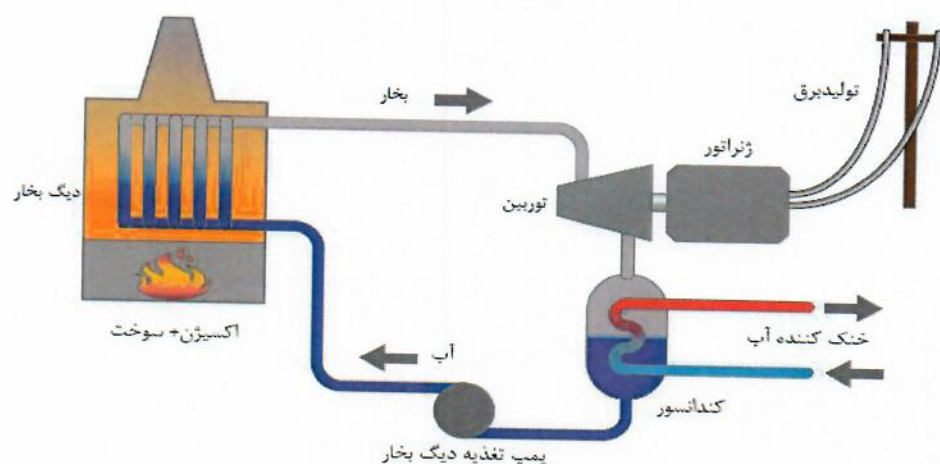
^{۱۸} Shaft



تامین سرمایه‌گذاری (سهامی عام)
Omid Investment Bank

انرژی خود را از دست می‌دهد. سپس بخار کم فشار اشباع از مسیر چگالنده^{۱۹} عبور می‌کند و به مایع تبدیل می‌شود. بعد از آن آب به سمت پمپ‌های مرحله اول هدایت و چرخه کامل می‌گردد. به همین ترتیب این چرخه مرتباً برای تولید انرژی تکرار می‌شود.

تصویر ۷. سازو کار نیروگاه بخار

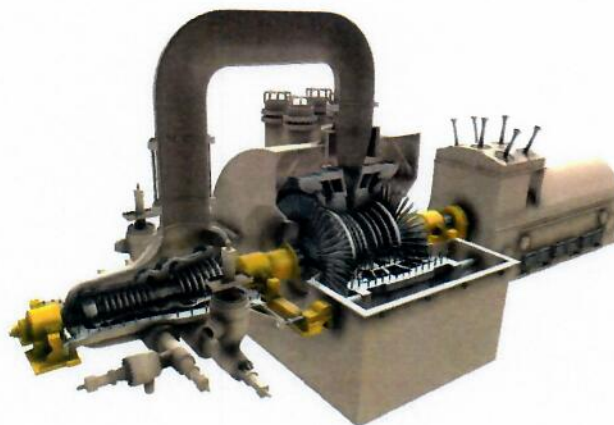


^{۱۹} Condenser

توربین بخار^{۲۰}

توربین بخار در سال ۱۸۹۱ میلادی، توسط یک مخترع به نام پارسونز^{۲۱} اختراع شد. توربین‌های نیروگاه‌های بخار، انرژی حرارتی موجود در بخار را به انرژی مکانیکی چرخشی تبدیل می‌کند. بخار خروجی از دیگ بخار، انرژی پتانسیل زیادی دارد. انرژی پتانسیل موجود در بخار به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. بخار ورودی به توربین با سرعت زیاد به پره‌های توربین برخورد می‌کند و باعث چرخش پره‌ها می‌شود. با شروع چرخش پره‌ها، محور روتور به گردش در می‌آید. با چرخش روتور توربین، محور روتور ژنراتور که به توربین متصل است، شروع به چرخش نموده و در ژنراتور، انرژی مکانیکی چرخشی روتور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

تصویر ۸. توربین بخار



نیروگاه سیکل ترکیبی

اولین نیروگاه سیکل ترکیبی^{۲۲} در سال ۱۹۵۰ ساخته شد. ایده نیروگاه سیکل ترکیبی به منظور بهبود بازده نیروگاه از طریق بهره‌گیری از انرژی گازهای خروجی توربین گاز شکل گرفت، چرا که این نیروگاه‌ها همانطور که از اسمش پیداست دارای واحدهای گاز و بخار می‌باشد، این نیروگاه‌ها دارای تعدادی توربین گاز و توربین بخار هستند. به صورت تئوریک، انرژی قابل بازیابی از آگروز توربین‌های گازی حدود نصف انرژی تولید شده توسط خود توربین گاز است. بنابراین، توان توربین بخار حدود

^{۲۰} Steam Turbine

^{۲۱} Charles Algernon Parsons

^{۲۲} Combined Cycle Power Plant



تامین سرمایه‌گذاری (سهامی عام)
Onid Investment Bank

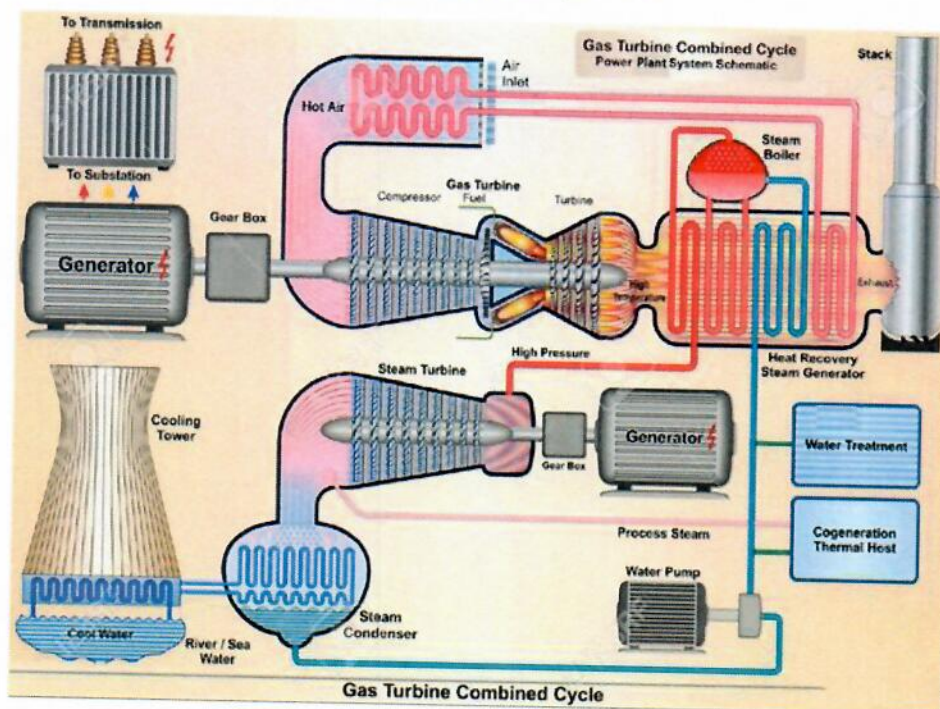
نصف توربین گاز خواهد بود. در برخی از طراحی‌ها، دو توربین گاز، انرژی مورد نیاز برای یک توربین بخار را ایجاد می‌کنند و در نتیجه، توان تولیدی توربین‌های بخار در حدود توربین‌های گاز می‌شود. سازوکار این نیروگاه‌ها به این شکل است که ابتدا هوای فشرده شده با سوخت (نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، همانند نیروگاه‌های گازی، معمولاً از گاز طبیعی یا گازوئیل به عنوان سوخت استفاده می‌کنند) ترکیب می‌شود و اعمال حرارت بالا بر سوخت باعث احتراق شده و این حرارت از تیغه‌های توربین گاز عبور کرده و توربین را به چرخش در می‌آورد، با چرخش سریع توربین، انرژی مکانیکی ناشی از چرخش به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، سپس انرژی حرارتی با ترکیب کردن این دو سیکل بهره‌وری از نیروگاه افزایش پیدا می‌کند. بازده الکتریکی از یک چرخه ساده کارخانه نیروگاه برق بدون استفاده از اتلاف گرما به‌طور معمول راندمانی بین ۲۵ تا ۴۰ درصد دارد، در حالی که همان نیروگاه با سیکل ترکیبی راندمان الکتریکی حدود ۶۰ درصد را دارد. مهم‌ترین تجهیزات تشکیل دهنده این نیروگاه‌ها شامل بویلر بازیافت^{۲۳}، کندانسور^{۲۴} و توربین است. (گرمایی) تلف شده از توربین گاز (توسط محصولات احتراق) برای تولید بخار مورد نیاز توربین بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این صورت که حرارت ایجاد شده در محفظه‌ای که لوله‌های آب قرار دارند جمع شده، حرارت به این لوله برخورد و آب بخار می‌شود و این بخار به واحد بخار رفته و توربین بخار را به حرکت درآورده و این انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

تصویر ۹- قسمت‌های مهم نیروگاه سیکل ترکیبی



^{۲۳} Heat Recovery Steam Generator
^{۲۴} Condenser

نمایه ۱. نحوه کار نیروگاه سیکل ترکیبی



اساس کار چرخه تولید توان به صورت ترکیبی، استفاده از گرمای خروجی توربین گاز و انتقال آن به مبدل بازیاب است. بویلر بازیاب حرارتی (HRSG) با دریافت این انرژی، بخار مورد نیاز توربین بخار را تولید می‌کند. این فرآیند از طریق عبور گاز داغ آگروز توربین گاز از میان دسته لوله‌های مبدل حرارتی انجام می‌شود. مبدل حرارتی می‌تواند بر اساس گردش طبیعی سیال کار کند یا با کمک پمپ‌های مناسب از جریان اجباری برای انتقال حرارت بهره‌گیرد. همچنین، به تناسب شرایط هر ساختگاه، یکی از سیستم‌های خنک‌کاری ACC، HELLER یا Once-Through در بلوک‌های سیکل ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲۰۰-۲- ضرورت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران: چالش‌ها، فرصت‌ها و راهکارها

میزان ناترازی عرضه و تقاضای برق در سال‌های اخیر حدود ۱۲ هزار مگاوات بوده که با رشد مصرف و همچنین محدودیت در افزایش ظرفیت تولید به دلیل عدم دسترسی به منابع مالی لازم و نیز محدودیت تأمین سوخت مورد نیاز نیروگاه‌های حرارتی، این شکاف تعمیق یافته است. با توجه به پتانسیل قابل توجه کشور در تولید برق از منابع تجدیدپذیر، یکی از راهکارهای اساسی برای برون‌رفت از شرایط موجود، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است. تنوع‌بخشی به سبد تولید برق از طریق این



تأمین سرمایه‌گذاری (سهامی عام)
Omid Investment Bank

منابع، علاوه بر کمک به رفع ناترازی، امنیت انرژی کشور را افزایش داده و منجر به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و مصرف آب خواهد شد.

برآوردهای وزارت نیرو نشان می‌دهد ایران دارای پتانسیل ۱۲۴ هزار مگاوات برق از منابع تجدیدپذیر است که ۷۱ هزار مگاوات آن مربوط به انرژی خورشیدی و ۴۹ هزار مگاوات آن مربوط به انرژی بادی می‌باشد. با وجود تأکید قوانین و سیاست‌های کشور بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم این منابع از کل تولید برق کشور همچنان کمتر از ۵/۰ درصد است؛ این در حالی است که به‌طور متوسط حدود ۱۲/۸ درصد از برق تولیدی جهان از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌شود. براساس آمارهای بین‌المللی، تا سال ۲۰۵۰ میلادی تقاضای برق در جهان ۱۰۶ برابر خواهد شد و انرژی‌های تجدیدپذیر با سهم ۴۳ درصدی، بیشترین نقش را در تولید برق جهانی بر عهده خواهند داشت.

از نظر جغرافیایی، استان‌های شرقی و جنوب شرقی ایران بیشترین ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر را دارند. در مجموع، استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، خراسان رضوی و کرمان دارای پتانسیل ۴۰ هزار مگاواتی برای تولید برق خورشیدی و بادی هستند. استان کرمان بیشترین ظرفیت خورشیدی و استان سیستان و بلوچستان بیشترین ظرفیت بادی را دارا می‌باشند. با این حال، توزیع جغرافیایی صنایع کشور با این پتانسیل همخوانی ندارد؛ به‌عنوان نمونه، تنها ۱۳ درصد از کارخانه‌های سیمان در این استان‌ها قرار دارند، در حالی که ظرفیت انرژی تجدیدپذیر در آنها بسیار بالاست. علاوه بر این، توسعه ظرفیت خورشیدی و بادی در سه استان مرزی خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان می‌تواند فرصت مهمی برای تأمین تقاضای داخلی و صادرات برق به کشورهای همجوار در شرق ایران فراهم آورد.

در حال حاضر بیش از ۸۰ درصد برق کشور در نیروگاه‌های حرارتی تولید می‌شود که عمدتاً با گاز طبیعی کار می‌کنند. این وابستگی بالا به گاز، در کنار کاهش تولید از میدان گازی پارس جنوبی، علاوه بر ایجاد چالش در تأمین گاز کشور، تأمین برق را نیز با مشکل مواجه ساخته است. هرچند در زمستان ظرفیت مازاد تولید برق وجود دارد، اما محدودیت در تأمین گاز طبیعی موجب استفاده از سوخت مایع جایگزین شده که پیامد آن افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی است. بر اساس گزارش‌ها، تنها در سال ۱۴۰۰ حدود ۱۶ میلیارد لیتر سوخت مایع در نیروگاه‌های کشور مصرف شده که علاوه بر آلودگی، به معنای از دست رفتن فرصت صادرات سوخت نیز بوده است.



تأمین سرمایه‌گذاری (سپاهای عام)
Omid Investment Bank

در فصول گرم سال، کمبود برق علاوه بر خسارات زیست‌محیطی، تبعات اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای از جمله تعطیلی مدارس و ادارات و محدودیت در فعالیت صنایع را در پی داشته است. این در حالی است که روند مصرف برق نیز به‌طور مستمر در حال افزایش است. گسترش فناوری‌ها و تغییر الگوی مصرف انرژی به سمت استفاده بیشتر از تجهیزات برقی، به‌ویژه خودروهای برقی، رشد تقاضا را سرعت بخشیده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵۰ درصد از کل مصرف انرژی جهان به برق اختصاص یابد. در این شرایط، توسعه منابع تجدیدپذیر نه تنها برای تأمین تقاضای داخلی بلکه برای جلوگیری از بحران‌های سوختی در بخش حمل‌ونقل نیز ضرورتی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

با توجه به اولویت توسعه اقتصادی کشور و هدف‌گذاری رشد ۸ درصدی در لایحه برنامه هفتم توسعه، تأمین پایدار برق به‌عنوان زیرساخت اصلی توسعه صنعتی بیش از پیش اهمیت می‌یابد. در صورت عدم تنوع بخشی به سبد تولید برق، تأمین پایدار انرژی با محدودیت جدی مواجه خواهد شد. بنابراین، حرکت به سمت توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر یک الزام راهبردی است و باید تدابیر مشخصی برای ایجاد انگیزه سرمایه‌گذاری و رفع موانع اجرایی در این حوزه اندیشیده شود.

۲۱-۱- سوابق قانونی مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر

ایران دارای پتانسیل‌های فراوانی جهت افزایش ظرفیت تولید برق از محل انرژی‌های تجدیدپذیر است. این مسئله از سال‌های دور مورد توجه قرار گرفته و به‌منظور سرعت بخشی به روند تولید برق تجدیدپذیر، قوانین و مقرراتی برای تسهیل و تشویق سرمایه‌گذاری در این حوزه تدوین و تصویب شده است. عمده قوانین موجود در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر شامل «حمایت از طریق خرید تضمینی»، «ارائه تسهیلات و کمک‌های بلاعوض» و همچنین «هدف‌گذاری کمی» است. در ادامه به برخی از مهم‌ترین مواد قانونی مرتبط با این حوزه اشاره شده است.

خرید تضمینی

بحث خرید تضمینی برق اولین بار در سال ۱۳۷۹ مورد توجه قرار گرفت. مطابق با بند «ب» ماده (۱۲۲) قانون برنامه سوم توسعه، به وزارت نیرو تکلیف شد تا با توجه به تقاضای بخش خصوصی یا تعاونی‌ها، نسبت به صدور مجوز احداث نیروگاه و تولید برق اقدام کند و جهت حمایت از بخش خصوصی، خرید برق از آن بخش را تضمین نماید.



تأمین سرمایه‌گذاری (سهامی عام)
Omid Investment Bank

در سال ۱۳۸۰ نیز در ماده (۶۲) قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت به آن اشاره شد و وزارت نیرو مکلف شد برق تولیدی توسط نیروگاه‌ها و تولیدکنندگان بخش‌های خصوصی و دولتی را با قیمت‌های تضمینی خریداری نماید و برای برق تولیدی از منابع انرژی‌های نو توسط بخش‌های غیردولتی، نرخ ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

در قانون برنامه پنجم توسعه در سال ۱۳۹۰ نیز مجدداً نسبت به خرید تضمینی تأکید شد. در ماده (۱۳۳) برنامه پنجم توسعه، شرکت توانیر و شرکت‌های وابسته و تابعه وزارت نیرو اجازه داده شد نسبت به انعقاد قراردادهای بلندمدت خرید تضمینی برق تولیدی از منابع نو و انرژی‌های پاک با اولویت خرید از بخش‌های خصوصی و تعاونی اقدام نمایند.

در همین سال، در ماده (۶۱) قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی نیز وزارت نیرو مکلف می‌شود تا به منظور حمایت از گسترش استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی، شامل انرژی‌های بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی، آبی و زیست‌توده، از طریق سازمان ذی‌ربط نسبت به عقد قرارداد بلندمدت خرید تضمینی از تولیدکنندگان غیردولتی برق از منابع تجدیدپذیر اقدام نماید.

در این قانون، محل تأمین منابع مالی موردنیاز برای خرید تضمینی برق تولیدی از منابع تجدیدپذیر، از محل ارزش سوخت صرفه‌جویی‌شده براساس سوخت‌های وارداتی مایع و قیمت‌های صادراتی گاز و منافع حاصل از عدم تولید آلاینده‌ها و حفاظت از محیط زیست به‌ازای برق تولیدی این نیروگاه‌ها تعیین شده‌است. همان‌طور که مشخص است، خرید تضمینی یکی از مهم‌ترین مواردی بوده که دولت جهت حمایت از توسعه برق تجدیدپذیر به آن تکیه داشته است.

تسهیلات و کمک‌های بلاعوض

برای ارائه تسهیلات و کمک‌های بلاعوض به تولیدکنندگان برق تجدیدپذیر نیز قوانینی تصویب شده‌است. در ماده (۸) قانون هدفمندسازی یارانه‌ها، مصوب سال ۱۳۸۸، دولت مکلف شده‌است تا سی درصد (۳۰٪) خالص وجوه حاصل از اجرای قانون مذکور را برای پرداخت کمک‌های بلاعوض، یارانه سود تسهیلات یا وجوه اداره‌شده برای برخی مصارف از جمله توسعه تولید برق از منابع تجدیدپذیر هزینه نماید.

همچنین در قانون حمایت از صنعت برق، مصوب سال ۱۳۹۴، سعی شده‌است تا منابع لازم جهت توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر لحاظ شود. به همین منظور، در ماده (۵) این قانون، دولت موظف



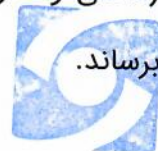
شده برای تأمین بخشی از منابع لازم جهت تولید برق تجدیدپذیر و پاک، عوارض مصرف هر کیلووات ساعت برق را در بودجه سالیانه پیش‌بینی نماید. میزان عوارض برق و مصارف آن هر ساله در قانون بودجه سنواتی لحاظ می‌شود.

این حکم یکی از مهم‌ترین منابع خرید تضمینی برق تجدیدپذیر بوده است. همچنین بند «ی» تبصره «۱۵» قانون بودجه ۱۴۰۰ در اجرای ماده (۶۱) قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی است و بر اساس آن دولت مکلف شده بود سوخت صرفه‌جویی‌شده یا حواله آن در نیروگاه‌های تجدیدپذیر را با تأیید سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) تا سقف بیست و پنج هزار میلیارد ریال به سرمایه‌گذاران جهت فروش یا عرضه در بورس انرژی تحویل نماید که با اجرای این بند، بخش عمده‌ای از مطالبات سرمایه‌گذاران تولید برق تجدیدپذیر از طریق تخصیص حواله سوخت گاز تسویه شده است.

در تبصره «۱۴» قانون بودجه سال ۱۴۰۱ نیز تا سقف ۳۰,۰۰۰ میلیارد ریال طبق ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ماده (۶۱) قانون اصلاح الگوی مصرف بودجه برای توسعه تجدیدپذیر پیش‌بینی شده بود، اما با توجه به اینکه در اولویت این تبصره قرار نداشت، از این‌رو محقق نشد. گفتنی است در ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقای نظام مالی کشور نیز توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در زمره طرح‌هایی که به افزایش تولید یا صرفه‌جویی در مصرف نفت خام، میعانات گازی و گاز و فرآورده‌های نفتی و حتی کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌انجامد، قرار گرفته است و این ماده می‌تواند حمایت مالی خوبی را از این منظر ایجاد کند، هرچند عملکرد این ماده با مشکلات بسیاری همراه بوده است.

هدف‌گذاری کمی

علاوه بر حمایت‌های تسهیلاتی و مالی، در سال‌های گذشته هدف‌گذاری کمی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر نیز مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گرفته است. یکی از شاخص‌ترین هدف‌گذاری‌های انجام‌شده در این زمینه، تکلیف قانونی ماده (۵۰) قانون برنامه ششم توسعه است که بر اساس آن دولت مکلف شده سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک با اولویت سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی (داخلی و خارجی) را تا پایان اجرای قانون برنامه به حداقل پنج درصد (۵٪) ظرفیت برق کشور



تأمین سرمایه‌گذاری (سرمایه‌ای)
Omid Investment Bank

همچنین بر اساس ماده (۱۹) قانون هوای پاک، مصوب سال ۱۳۹۶، وزارت نیرو مکلف است حداقل سی درصد (۳۰٪) از افزایش سالیانه ظرفیت موردنیاز برق کشور را از طریق انرژی تجدیدپذیر تأمین کند که هر دو هدف‌گذاری انجام‌شده با عملکرد فاصله دارد.

چالش‌ها و قوانین جدید

با توجه به موارد ذکر شده و به‌رغم تکالیف قانونی، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در حد انتظار نبوده‌است. در سال‌های اخیر نیز توجه به توسعه انرژی تجدیدپذیر در قوانین مرتبط مورد توجه قرار گرفته‌است.

در قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق که در آبان ۱۴۰۱ به تصویب رسید، رویکرد خودتأمینی برق صنایع به‌عنوان یک راهکار پیشنهادی جهت افزایش ظرفیت تولید برق مورد توجه قرار گرفته‌است. بر اساس ماده (۴) این قانون، صنایع انرژی‌بر مکلفند حداقل ۱۰۰۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر و پاک تا پایان سال ۱۴۰۴ از محل منابع داخلی صنایع مذکور احداث کنند و در صورت عدم احداث، تأمین برق این صنایع در شرایط کمبود برق، در اولویت طرح‌های مدیریت مصرف برق وزارت نیرو قرار می‌گیرد.

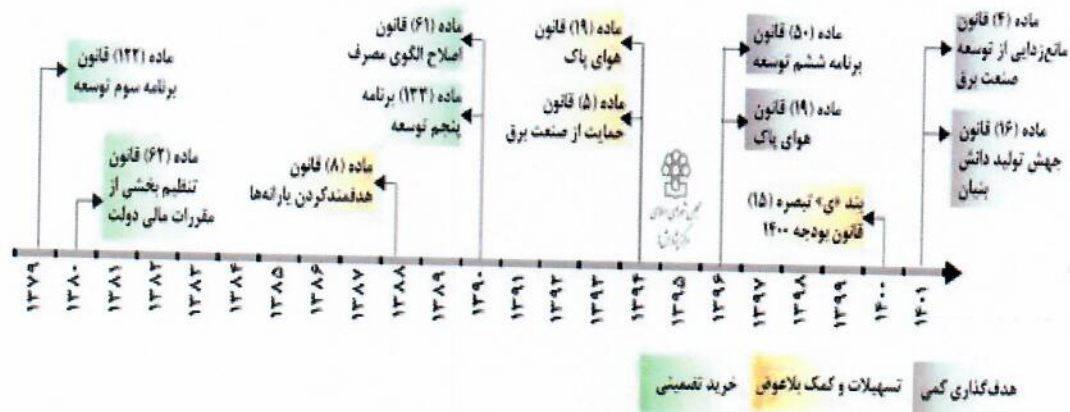
همچنین در قانون جهش تولید دانش‌بنیان، مصوب سال ۱۴۰۱، نیز رویکرد مشابهی اتخاذ شده‌است. طبق ماده (۱۶) این قانون، صنایع با قدرت مصرف بیشتر از یک مگاوات موظف شده‌اند معادل یک درصد (۱٪) از برق موردنیاز سالیانه خود را از طریق احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر تأمین نمایند و این میزان در پایان سال پنجم قانون حداقل به پنج درصد (۵٪) برسد. در غیر این صورت، وزارت نیرو موظف است درصد ذکر شده از برق مصرفی این صنایع را با تعرفه برق تجدیدپذیر محاسبه نموده و از صنایع اخذ نماید.

نتیجه‌گیری

حمایت از توسعه انرژی تجدیدپذیر در بسیاری از قوانین مورد توجه قرار گرفته‌است که این مسئله شامل مصوبات هیئت دولت نیز می‌شود، اما با وجود تمامی این قوانین، انرژی‌های تجدیدپذیر هیچ‌گاه متناسب با انتظار و ظرفیت کشور توسعه نیافته‌است.



نمودار ۱۴. سری زمانی قوانین مرتبط با حوزه تجدیدپذیر به تفکیک نوع حمایت



۲۲-۱- ظرفیت انرژی تجدیدپذیر در کشور

مجموع پتانسیل توان انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی «خورشیدی»، «بادی»، «برق آبی کوچک»، «زیست توده» و «زمین گرمایی» در کشور معادل ۱۲۴ هزار مگاوات برآورد می شود. از این رو، انرژی خورشیدی با ۷۱ و بادی با ۴۹ هزار مگاوات، بیش از ۹۷ درصد از کل پتانسیل موجود کشور در تولید برق تجدیدپذیر را به خود اختصاص می دهند (نمودار ۱۵).

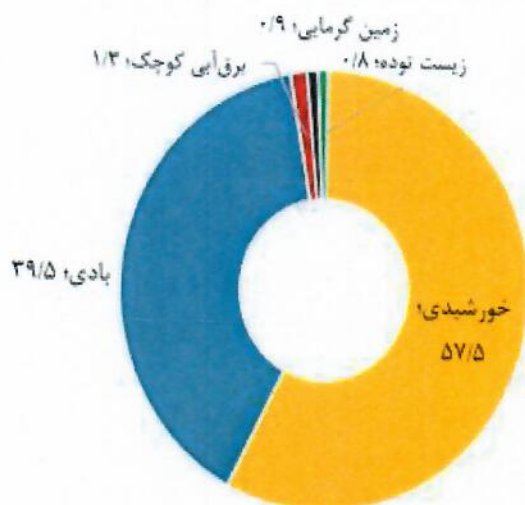
از این رو، تمرکز بر توسعه نیروگاه های انرژی خورشیدی و بادی دارای اولویت بالاتری است. سایر حوزه های تجدیدپذیر مانند برق آبی کوچک، زیست توده و زمین گرمایی نیز با سهم کمتر از ۳ درصد، دارای حدود ۴ هزار مگاوات پتانسیل هستند.^{۲۵}

^{۲۵} تمامی این آمار از تجميع ۳۲ جلد گزارش پتانسیل سنجی انرژی تجدیدپذیر در استان های کشور که توسط سازمان انرژی های تجدیدپذیر و بهره وری انرژی برق (ساتبا) طی سال های ۱۳۹۸ الی ۱۴۰۰ انجام پذیرفته، محاسبه شده است که شامل آمار استان ها و مکان های با ظرفیت بالای تأسیس نیروگاه های تجدیدپذیر است.



تأمین سرمایه آدید (سهامی عام)
Onid Investment Bank

نمودار ۱۵. سهم پتانسیل انرژی تجدیدپذیر در کشور به تفکیک نوع (درصد)



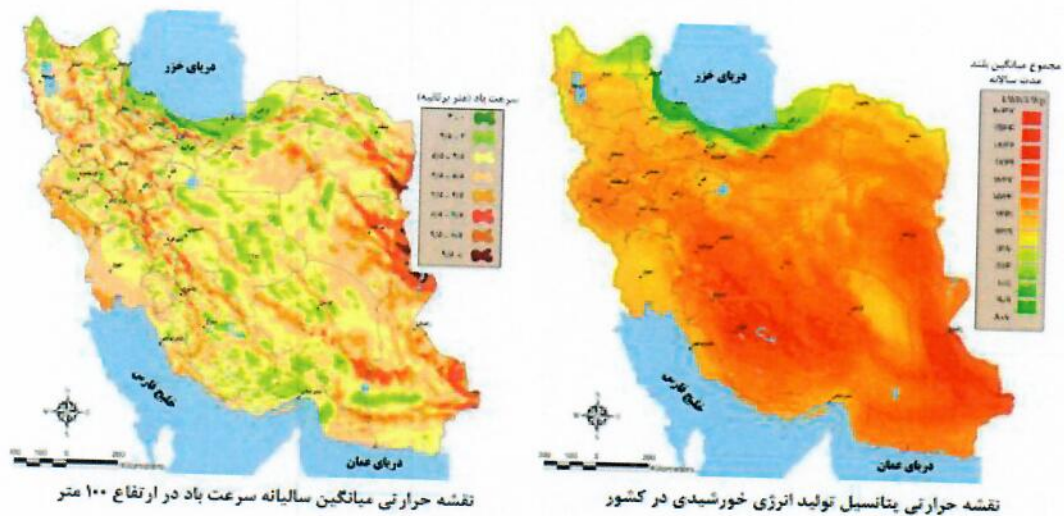
مأخذ: گزارش‌های شناسایی پتانسیل و ارزیابی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزیابی تلفیقی، ساتبا، ۱۴۰۰-۱۳۹۸.

استفاده از ظرفیت انرژی خورشیدی و بادی وابسته به موقعیت مکانی است و به همین دلیل کل پتانسیل ۱۲۴ هزار مگاوات ذکر شده را نمی‌توان به تمامی مناطق کشور تعمیم داد. جهت بررسی دقیق‌تر این پتانسیل، بایستی موقعیت مکانی به تفکیک نوع انرژی خورشیدی و بادی مدنظر قرار گیرد.

تصویر ۱۰ میانگین سالیانه سرعت باد را در ارتفاع ۱۰۰ متر نشان می‌دهد. قابل توجه است که برای میانگین سرعت‌های مختلف، از کلاس‌های مختلف توربین بادی استفاده می‌شود و عموماً برای سرعت‌های کمتر از حدود ۶ متر بر ثانیه، نصب توربین‌های بادی توجیه اقتصادی ندارد. به همین دلیل استان‌های شرق و جنوب شرقی کشور دارای پتانسیل انرژی بادی بیشتری هستند. این مسئله برای انرژی خورشیدی نیز با توجه به داده‌های بلندمدت مدنظر قرار گرفته است (تصویر ۱۰). توزیع مکانی پتانسیل انرژی خورشیدی نسبت به بادی از وضعیت بهتری برخوردار است. استان‌های شرقی، مرکزی و جنوب شرقی دارای بیشترین پتانسیل در این زمینه هستند.



تصویر ۱۰. پتانسیل انرژی خورشیدی و بادی در کشور



مأخذ: اطلس منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک کشور، ساتبا، ۱۳۹۷.

بررسی استانی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر کشور نشان می‌دهد که استان‌های شرقی و جنوب شرقی مانند سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و خراسان رضوی و همچنین استان کرمان در مرکز کشور دارای پتانسیل ۴۰ هزار مگاواتی انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و بادی هستند. استان کرمان بیشترین پتانسیل خورشیدی و استان سیستان و بلوچستان بیشترین پتانسیل بادی را دارند. همچنین در استان‌های فارس، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و اردبیل، پتانسیل استفاده از انرژی زمین‌گرمایی وجود دارد. بیشترین ظرفیت استفاده از زیست‌توده نیز به استان تهران مربوط می‌شود (نمودار ۱۶).

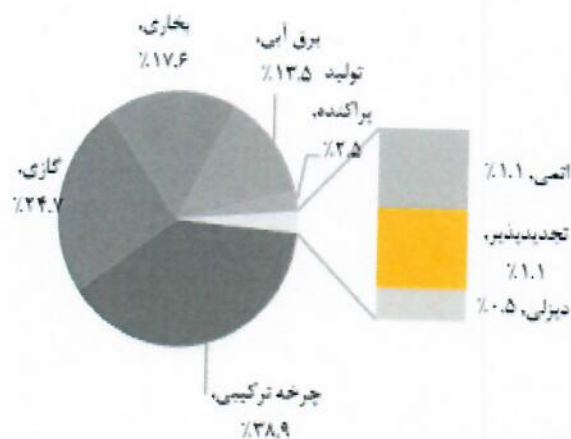
استان‌های شمالی کشور نیز به دلیل شرایط جغرافیایی، کمترین پتانسیل برای توسعه ظرفیت تجدیدپذیر را دارا هستند. بالا بودن پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در استان‌های نوار مرزی شرق ایران، می‌تواند فرصت بسیار خوبی برای صادرات برق به کشورهای مجاور باشد که منجر به افزایش انگیزه سرمایه‌گذاری در توسعه نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در این استان‌ها و در نهایت تنوع بخشی به سبد تولید برق خواهد شد.



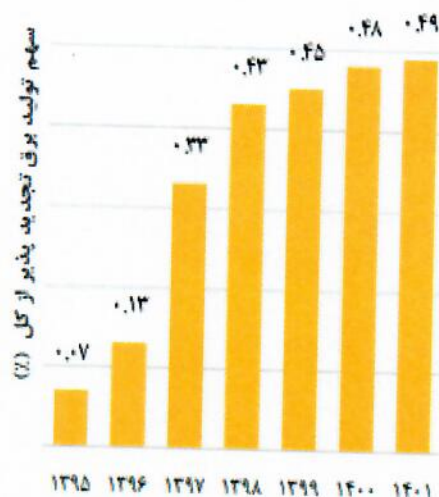
Figure 1: Number of employees in various sectors of the Ministry of Agriculture, Fisheries and Aquaculture of Iran in 1398. The chart shows a significant concentration of employees in the 'Ministry of Agriculture, Fisheries and Aquaculture' and 'Fisheries' sectors across all listed categories.

Y

نمودار ۱۷. وضعیت انرژی تجدیدپذیر در کشور



ب) سهم از ظرفیت کل برق (%)



الف) سهم تجدیدپذیر از تولید برق (درصد)

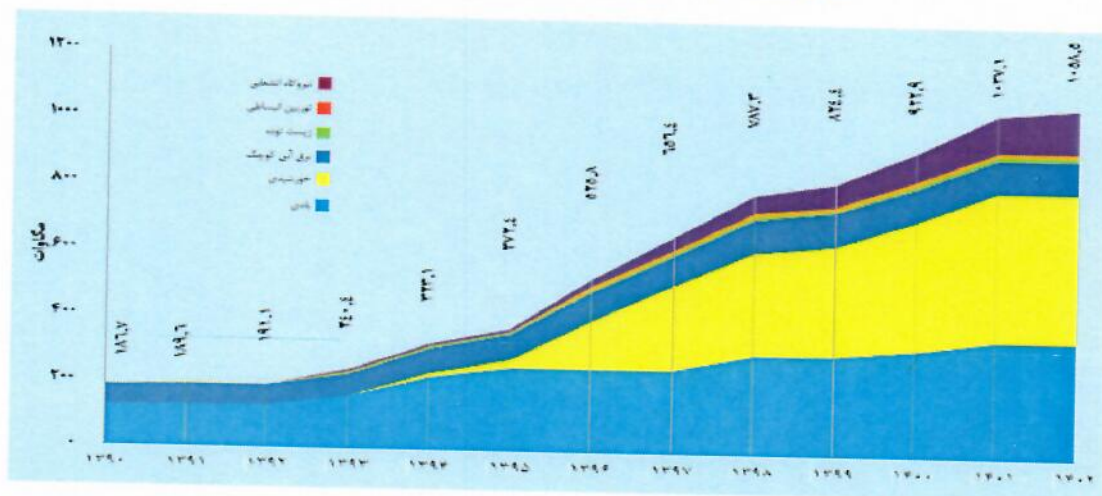
منبع: آمار ماهیانه وزارت نیرو اسفند ۱۴۰۱

بررسی توان تولید برق تجدیدپذیر در ۱۰ سال اخیر نشان می‌دهد از سال ۱۳۹۵ با ورود نیروگاه‌های خورشیدی، توان تولید برق تجدیدپذیر با نرخ بیشتری رشد داشته‌است، به‌نحوی که کل توان تجدیدپذیر از ۳۷۲ مگاوات در سال ۱۳۹۵ به ۱,۰۵۸ مگاوات در خرداد ۱۴۰۲ رسیده‌است. افزایش سهم توان خورشیدی نشان‌دهنده توجه سرمایه‌گذاران به آن است که البته این تمایل در سرتاسر جهان نیز مشاهده می‌گردد. عدم توسعه انرژی زمین‌گرمایی در ایران و سایر کشورهای جهان به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری بابت اکتشاف و حفاری‌های پرهزینه‌است، درحالی‌که رقاباتی نظیر انرژی خورشیدی و بادی، همان انرژی را با هزینه‌های به نسبت کمتر تأمین می‌کنند. در مورد علل عدم توسعه نیروگاه‌های برق آبی کوچک نیز می‌توان به نیاز به سرمایه‌گذاری بالا، وابستگی به بارش سالیانه باران و محدودیت‌های مکانی اشاره نمود، به همین دلیل توان اسمی این نیروگاه‌ها در طول سال‌های اخیر ثابت بوده‌است (نمودار ۱۸).



تأمین سرمایه‌گذاری (سرمایه‌گذاری)
Omid Investment Bank

نمودار ۱۸. ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر در ۱۰ سال اخیر



منبع: گزارش آماری ماهیانه، خرداد ۱۴۰۲، ساتبا، وزارت نیرو.

از منظر محیط‌زیستی نیز در سال ۱۴۰۱ کشور با تولید ۱,۷۶۴ میلیون کیلووات‌ساعت برق تجدیدپذیر، ۲۷ از انتشار ۹۸۲ هزار تن گاز گلخانه‌ای جلوگیری کرده‌است. این مسئله باعث شده تا مصرف گاز نیز به میزان حدود ۴۷۵ میلیون مترمکعب کاهش یابد.

یکی دیگر از نکاتی که باید به آن توجه کرد، کاهش مصرف آب به‌واسطه نیروگاه‌های تجدیدپذیر است. در سال ۱۴۰۱، با توجه به میزان تولید برق ذکر شده، حدود ۳۹۱ میلیون لیتر آب نیز نسبت به نیروگاه‌های حرارتی صرفه‌جویی شده‌است.^{۲۸}

بدیهی است با افزایش سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر، میزان تولید آلاینده کاهش یافته و میزان صرفه‌جویی در سوخت و آب افزایش بیشتری خواهد داشت. گفتنی است که انرژی تجدیدپذیر نیز دارای برخی ملاحظات محیط‌زیستی است و اعداد اشاره‌شده در مقایسه با تولید برق حرارتی بوده‌است.

۲۴-۱- آسیب شناسی عدم توسعه انرژی تجدیدپذیر در ایران و پیشنهادها

بررسی قوانین موجود در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که کشور در حوزه قانون‌گذاری با سه رویکرد خرید تضمینی، ارائه تسهیلات و هدف‌گذاری کمی سعی داشته به توسعه آن در کشور



تأمین: بیمه‌نامه آدید (سهامی عام)
Omid Investment Bank

کمک کند. تمامی این موارد نتوانسته وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور را بهبود بخشد و شرایط فعلی اختلاف زیادی با اهداف کمی و برنامه‌های کشور دارد.

ازجمله مشکلات موجود در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، کمبود منابع مالی و عدم امکان رقابت این نیروگاه‌ها با سایر نیروگاه‌ها با توجه به نرخ پایین سوخت در نیروگاه‌های حرارتی است. تنها منبع مطمئن و پایدار وزارت نیرو برای پرداخت هزینه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر، عوارض موضوع ماده (۵) قانون حمایت از صنعت برق بوده که با توجه به نوسانات ارزی و به تبع آن، افزایش هزینه تمام‌شده برق تجدیدپذیر، کفاف هزینه خرید تضمینی برق از ظرفیت‌های موجود را نیز نمی‌کند.^{۲۹}

همچنین با توجه به قیمت پایین سوخت تحویلی به نیروگاه‌های حرارتی، عملاً نیروگاه‌های تجدیدپذیر به لحاظ صرفه اقتصادی، امکان رقابت با نیروگاه‌های حرارتی را ندارند. در سال ۱۴۰۱ تعرفه گاز تحویلی به نیروگاه به ازای هر مترمکعب ۲۵۰ ریال در نظر گرفته شده^{۳۰} و متناسب با همین مبلغ، نرخ خرید برق از نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۴۰۱ به صورت متوسط برابر با ۹۳۶ تومان به ازای هر کیلووات ساعت لحاظ شد.^{۳۱}

همچنین نیروگاه‌های تجدیدپذیر نسبت به نیروگاه‌های حرارتی به سرمایه‌گذاری بیشتری نیاز دارند و تأمین سرمایه اولیه آن با توجه به جذابیت پایین سرمایه‌گذاری با مشکل روبه‌رو بوده است. ازسوی دیگر، علاوه بر مشکل تأمین برق، با مسئله ناترازی اقتصادی نیز مواجه شده است. مطابق ماده (۶) قانون حمایت از صنعت برق، سازمان برنامه و بودجه کشور بایستی اعتبار لازم جهت پرداخت مابه‌التفاوت قیمت فروش تکلیفی انرژی برق با قیمت تمام‌شده را به وزارت نیرو پرداخت کند. در سال ۱۴۰۱، متوسط بهای تمام‌شده هر کیلووات ساعت برق کشور برابر ۳,۲۶۶ ریال و متوسط قیمت تکلیفی فروش هر کیلووات ساعت برق معادل ۲,۳۷۶ ریال بوده است.

^{۲۹} بررسی عملکرد دولت دوازدهم در بخش برق در قالب برنامه ششم توسعه، مرکز پژوهش‌های مجلس، شماره مسلسل

۱۷۶۱۲، سال ۱۴۰۰.

^{۳۰} بند «۲» ماده (۲) آیین‌نامه اجرایی تبصره «۱۴» ماده واحده قانون بودجه سال ۱۴۰۱ کل کشور.

^{۳۱} گزارش خرید برق از نیروگاه‌های حرارتی ایران، مرکز اسناد شرکت مدیریت شبکه برق ایران، ۱۴۰۱.



از این رو، براساس اعلام وزارت نیرو، میزان مطالبات این وزارتخانه از دولت بابت مابه‌التفاوت قیمت تمام‌شده و قیمت تکلیفی برق بالغ بر ۱۱۴ هزار میلیارد تومان بوده است.^{۳۲} این در حالی است که میزان مطالبات این وزارتخانه از دولت در سال ۱۳۹۹ حدود ۷۸ هزار میلیارد تومان برآورد می‌شد و نشان از افزایش سالیانه طلب صنعت برق از دولت دارد. طلب صنعت برق از دولت منجر به ناتوانی این صنعت در پرداخت هزینه خرید برق از نیروگاه‌های بخش خصوصی، عدم امکان سرمایه‌گذاری در توسعه و بهبود تولید و شبکه انتقال و توزیع شده است.

بر اساس آخرین آمار موجود در سال ۱۴۰۰، بدهی صنعت برق حدود ۸۴ هزار میلیارد تومان بوده که بخش عمده آن مربوط به تولیدکنندگان برق بوده است.^{۳۳}

ناترازی تأمین برق و ناترازی اقتصادی که کشور در حال حاضر با آن روبه‌رو است، در یک حلقه بسته بر یکدیگر اثرگذارند و باعث تشدید یکدیگر می‌شوند. این مسئله از دو منظر باعث می‌شود تا افزایش ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر به‌کندی صورت پذیرد.

به دلیل ناترازی اقتصادی، توان مالی این صنعت برای حمایت از طرح‌های حمایتی و تشویقی تجدیدپذیر کاهش می‌یابد و ازسوی دیگر، به دلیل ناترازی در تأمین برق، عمده تمرکز دولت بر طرح‌های زودبازده با کمترین هزینه و بیشترین توان تولیدی است. هر دوی این عوامل باعث می‌شود تا عملاً اهداف کمی با برنامه دارای اختلاف فراوانی باشد.

از این رو، یکی از نکات مهمی که حرکت به سمت انرژی‌های تجدیدپذیر را تسهیل می‌کند، بهبود وضعیت ناترازی اقتصادی و انرژی در صنعت برق است. در کنار آن نیز بایستی مجموعه‌ای از راهکارهایی که باعث توسعه، سرمایه‌گذاری و احداث در انرژی تجدیدپذیر می‌شود، صورت پذیرد. با بررسی شرایط کشور و همچنین مطالعه سیاست‌های سایر کشورها، در ادامه به مجموعه راهکارهایی که می‌تواند اثر قابل‌توجهی در بهبود وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور داشته باشد، پرداخته شده است.

^{۳۲} بررسی لایحه بودجه سال ۱۴۰۲ کل کشور: ۲۸، بخش برق و انرژی هسته‌ای، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۴۰۱.

^{۳۳} بررسی لایحه بودجه سال ۱۴۰۱ کل کشور: ۲۴، بخش برق، مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۴۰۰، شماره مسلسل ۱۷۹۵۶.



۲۵-۱- وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران

یکی از پیش‌نیازهای حرکت به سمت تنوع‌بخشی سبد تولید برق، بررسی منابع در دسترس جهت استفاده است. در حال حاضر گزینه‌های موجود جهت تنوع‌بخشی به سبد تولید برق شامل افزایش ظرفیت تجدیدپذیر، استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای، زغال‌سنگ و... است. در ادامه پتانسیل کشور در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲۵-۱- افزایش منابع مالی پایدار جهت تضمین در خرید برق تجدیدپذیر و ایجاد انگیزه

از آنجا که عمده مشکلات فعلی ناشی از محدودیت در تأمین مالی، عدم تضمین خرید برق تجدیدپذیر و درنهایت عدم انگیزه اقتصادی کافی جهت سرمایه‌گذاری است، لذا عمده پیشنهادها نیز بایستی در همین راستا قرار گیرد.

به‌عنوان مثال، یکی از مشوق‌ها می‌تواند مشمول معافیت بهره‌برداران معادن موضوع تبصره «۵» ماده (۱۲) قانون اصلاح قانون معادن (مصوب ۱۳۹۰) به‌ازای احداث و توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر توسط بهره‌برداران معادن به میزان بیست درصد (۲۰٪) سرمایه‌گذاری در نیروگاه (به تأیید وزارت نیرو) باشد که از طریق گواهی سلف ظرفیت تجدیدپذیر میسر است.

از این‌رو، در ادامه سه پیشنهاد مبتنی بر افزایش تقاضای برق تجدیدپذیر و تضمین خرید برق تجدیدپذیر ارائه شده است تا سرمایه‌گذاران نسبت به ورود به توسعه نیروگاه‌ها انگیزه اقتصادی کافی داشته باشند.

۲-۲۵-۱- افزایش توسعه تجدیدپذیر در نوار مرز شرقی کشور با تضمین صادرات

در سال ۱۴۰۰، بالغ بر ۵,۴۸۱ میلیون کیلووات‌ساعت برق به کشورهای منطقه صادر شده که ۱۰۰ درصد آن از طریق نیروگاه‌های دولتی بوده است.

با توجه به اختلاف قیمت برق صادراتی و فروش برق داخلی، میزان درآمد حاصل از صادرات برق قابل توجه است و به‌تنهایی می‌تواند انگیزه فراوانی برای بخش خصوصی و به‌خصوص سرمایه‌گذاران تجدیدپذیر در افزایش ظرفیت نیروگاهی باشد.

در سال ۱۴۰۰، کل درآمد وزارت نیرو از فروش برق حدود ۲.۲ میلیارد دلار بوده که ۲۱.۵ درصد آن حاصل از فروش خارجی است.



این درحالی است که تنها ۲ درصد از کل برق تولیدی صادر شده است. به عبارتی متوسط نرخ صادراتی برق حدود ۱۴ برابر نرخ داخلی است.^{۳۴}

جدول ۱۴. وضعیت فروش داخلی و خارجی برق در سال ۱۴۰۰

کشور	مقدار (میلیون کیلووات ساعت)	ارزش (میلیون دلار)	متوسط قیمت (سنت دلار به کیلووات ساعت)
افغانستان	۷۸۶	۴۵	۵/۷۲
عراق	۴,۱۹۸	۴۰۲	۹/۵۷
پاکستان	۴۹۷	۳۹	۷/۸۴
جمع فروش خارجی	۵,۴۸۱	۴۸۶	۸/۸۶
جمع فروش داخلی	۲۷۴,۷۸۷	۳۰۱,۷۶۲	۰/۶۳

مأخذ: صورت‌های مالی پایان دوره به همراه گزارش حسابرس و بازرس قانونی، شرکت توانیر، سال ۱۴۰۰.

ازسوی دیگر، حدود ۳۰.۷ هزار مگاوات ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر خورشیدی و بادی در سه استان مرزی خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان وجود دارد که ۲۵ درصد از کل پتانسیل تجدیدپذیر کشور است.

کشورهای همجوار در مرز شرقی کشور نیز تقاضای مناسبی جهت دریافت برق از ایران دارند. میزان مصرف برق در افغانستان حدود ۵.۵ میلیارد کیلووات ساعت است که ۴.۴ میلیارد کیلووات ساعت آن (حدود ۸۰ درصد) از طریق واردات تأمین شده است.^{۳۴}

ایران نیز در سال ۱۴۰۰ حدود ۷۸۶ میلیون کیلووات ساعت برق به افغانستان صادر کرده است. لذا با توجه به پتانسیل بالای استان‌های نوار مرز شرقی کشور در انرژی تجدیدپذیر، پیشنهاد می‌شود در طول برنامه هفتم توسعه، سرمایه‌گذاری و احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر در سه استان خراسان رضوی، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان با تضمین امکان صادرات حداقل ۵۰ درصد ظرفیت تولیدی این نوع نیروگاه‌ها در زمان غیر اوج انجام شود و در گام بعدی به سایر استان‌ها تعمیم یابد. جهت تضمین اجرای این پیشنهاد، در صورتی که به هر دلیلی اجازه صادرات ظرفیت ذکر شده داده نشود، وزارت نیرو موظف است معادل ریالی برق صادر نشده را با متوسط نرخ صادراتی برق به

^{۳۴} مطالعات و صورت‌های مالی پایان دوره به همراه گزارش حسابرس و بازرس قانونی، شرکت توانیر، سال ۱۴۰۰.

^{۳۵} نرخ دلار بر مبنای یادداشت‌های صورت مالی شرکت توانیر ۲۳۰۰۰ تومان در نظر گرفته شده است.

^{۳۶} Worlddata.Info



صندوق بهینه‌سازی مصرف انرژی جهت تضمین تسویه گواهی‌های صادر شده برق تجدیدپذیر واریز نماید. این مسئله باعث می‌شود با کاهش مدت بازگشت سرمایه، علاوه بر ایجاد انگیزه سرمایه‌گذاری و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق، برای استان‌های سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی که جزو مناطق کمتر توسعه‌یافته هستند نیز امکان اشتغال و درآمدزایی فراهم شود.

۱-۲۵-۳- استفاده از ظرفیت صندوق بهینه‌سازی مصرف انرژی

یکی از مشکلات توسعه ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر، عدم تحقق ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید و تبصره «۳» ماده (۶۱) قانون اصلاح الگوی مصرف است.

در این مواد، منابع مالی از محل سوخت صرفه‌جویی شده ناشی از تولید برق از منابع تجدیدپذیر جهت ارائه تسهیلات به سرمایه‌گذار پرداخت می‌شود. تاکنون، با توجه به میزان سوخت صرفه‌جویی شده یا مصرف نشده، اعتباراتی جهت توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر از این مواد قانونی تأمین نشده است.

اگرچه در پایان سال ۱۴۰۰، صدور مجوز سرمایه‌گذاری در طرح احداث ۴,۰۰۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی به استناد ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید و ماده (۶۱) قانون اصلاح الگوی مصرف در شورای اقتصاد تصویب شد^{۳۷} و مناقصات وزارت نیرو نیز مبتنی بر همین مصوبه انجام و ۱۲ شرکت برای سرمایه‌گذاری برای ظرفیت ۱,۴۳۴ مگاوات انتخاب شدند،^{۳۸} اما عملکرد ماده (۱۲) در سال‌های اخیر، نشان از عدم تضمین بازپرداخت سرمایه‌گذاری انجام شده از محل سوخت صرفه‌جویی شده دارد.

از سال ۱۳۹۳ الی ۱۴۰۱، به‌رغم اخذ ۳۰۰۶ میلیارد دلار مصوبه شورای اقتصاد، عملکرد این ماده بسیار اندک بوده است.

لذا جهت تضمین تسویه سوخت صرفه‌جویی شده پروژه‌های مصوب شورای اقتصاد در حوزه بهینه‌سازی مصرف انرژی مبتنی بر ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر مانند احداث نیروگاه تجدیدپذیر، پیشنهاد می‌شود صندوق بهینه‌سازی مصرف انرژی در برنامه هفتم توسعه تأسیس گردد.

^{۳۷} مصوبه شورای اقتصاد درخصوص صدور مجوز سرمایه‌گذاری در طرح احداث ۴۰۰۰ مگاوات نیروگاه خورشیدی، ۱۴۰۰، شماره ۱۷۱۹۶.

^{۳۸} دفتر بودجه، تسهیل سرمایه‌گذاری و تجهیز منابع مالی، معاونت سرمایه‌گذاری و تنظیم مقررات، وزارت نیرو، ۱۴۰۱.



تأسیسات انرژی (وزارت نیرو)
Energy Investment Bank

منابع این صندوق می‌تواند شامل سهمی از منابع داخلی شرکت‌های تابعه وزارت نفت و نیرو، عوارض دریافتی حاصل از هدر رفت گازهای مشعل (فلر)، جرائم دریافتی قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی، ردیف‌های مصوب قوانین بودجه سنواتی و همچنین عواید حاصل از صرفه‌جویی انرژی در هر یک از پروژه (طرح) های مصوب شورای اقتصاد خواهد بود.

برآورد می‌شود با تضمین تسویه گواهی سوخت صرفه‌جویی شده پروژه‌های تجدیدپذیر مصوب شورای اقتصاد مبتنی بر موضوع ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید، سرمایه‌گذار با اطمینان بیشتری نسبت به احداث نیروگاه اقدام خواهد کرد و ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر با رشد بیشتری افزایش یابد.

۱-۲۵-۴- تأمین ۵ درصد از برق مصرفی ادارات دولتی از محل تجدیدپذیر

در سال ۱۳۹۵، هیئت‌وزیران درخصوص تأمین ۲۰ درصد برق مصرفی وزارتخانه‌ها، مؤسسات و شرکت‌های دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی از انرژی‌های تجدیدپذیر را به مدت دو سال تصویب کردند^{۳۹} که در اجرا به دلیل مشکلات اجرایی، عملیاتی نشد.

در سال ۱۴۰۱، حدود ۱.۹ میلیون مشترک عمومی برق در کشور وجود داشته که مصرف برقی معادل ۲۷/۶ میلیارد کیلووات‌ساعت در سال داشته‌اند. این مصرف معادل ۸/۷ درصد کل مصرف برق کشور است^{۴۰} که اکثر مشترکین مصارف عمومی شامل دستگاه‌های دولتی می‌شود.^{۴۱} جهت اجرایی شدن این موضوع، خرید برق با استفاده از ظرفیت بازار بورس انرژی در تابلو سبز موضوع مصوبه وزارت نیرو^{۴۲} که اخیراً تشکیل شده‌است، می‌تواند صورت پذیرد. برآورد می‌شود از این طریق، به میزان حدود ۱,۰۰۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر در طول برنامه هفتم توسعه در کشور ایجاد گردد.

۱-۲۶- پیش‌فروش گواهی ظرفیت تجدیدپذیر در بورس انرژی

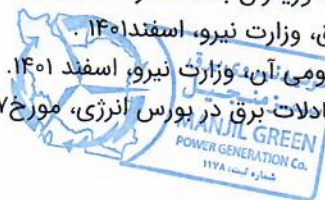
در سال‌های اخیر، با توجه به ناترازی برق در فصل تابستان و اعمال طرح‌های مدیریت مصرف برق در زمان‌های اوج مصرف، صنایع تولیدی دچار آسیب شدند. به همین منظور، یکی از راهکارهای

^{۳۹} تصویب نامه هیئت وزیران به شماره ۷۸۲۵۰/ت ۵۱۹۰۴ هـ مورخ ۱۳۹۵/۰۶/۲۵.

^{۴۰} گزارش آماری آب و برق، وزارت نیرو، اسفند ۱۴۰۱.

^{۴۱} تعرفه برق و شرایط عمومی آن، وزارت نیرو، اسفند ۱۴۰۱.

^{۴۲} دستورالعمل توسعه مبادلات برق در بورس انرژی، مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۲۷ به شماره ۱۴۰۱/۶۹۳۸۴/۲۰/۱۰۰.



کشور در حل این بحران و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کنار آن، استفاده از ظرفیت صنایع بزرگ در بحث خودتأمینی برق است.

به همین جهت، بر اساس ماده (۴) قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق، صنایع انرژی‌بر مکلف به احداث ۱,۰۰۰ مگاوات نیروگاه تجدیدپذیر و پاک از محل منابع داخلی خود هستند و در غیر این صورت در اولویت خاموشی قرار خواهند گرفت.

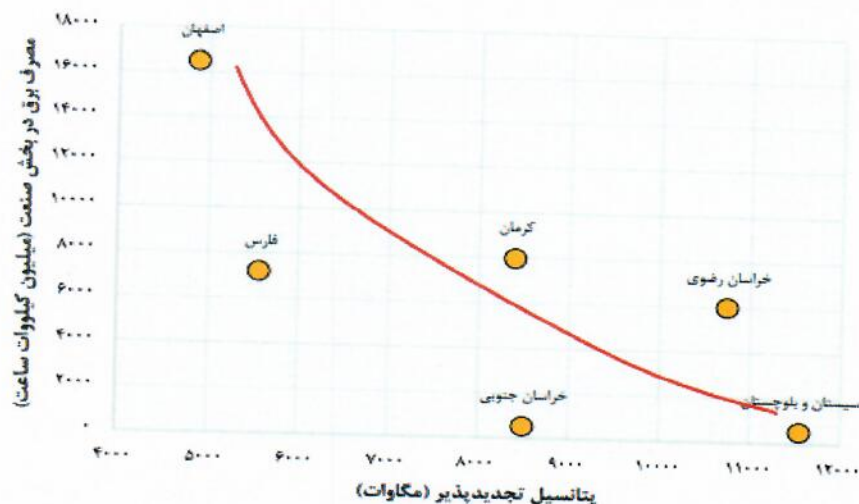
مشابه این مسئله در ماده (۱۶) قانون جهش تولید دانش‌بنیان دیده شده و صنایع با قدرت مصرف بیشتر از یک مگاوات موظفند معادل تا پنج درصد (۵٪) از برق موردنیاز سالیانه خود را از طریق احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر تأمین نمایند.

اگرچه موارد ذکر شده از جنس راهکارهای غیرقیمتی است، اما نکته‌ای که وجود دارد این است که ورود صنایع به ساخت، راه‌اندازی و بهره‌برداری از نیروگاه با چالش‌هایی همراه است. صنایع به‌خودی‌خود تخصص لازم در تولید برق ندارند و قاعدتاً برای احداث نیروگاه تجدیدپذیر وابسته به شرکت‌های مرتبط هستند. در صورت اقدام صنایع برای ساخت نیروگاه، دغدغه جدیدی برای آن‌ها ایجاد می‌شود که هدف اصلی صنعت نیست. ازسوی دیگر، شرایط محیطی بر روی تولید برق تجدیدپذیر اثرگذار است. به‌طور مثال، در صنعت سیمان، احداث نیروگاه خورشیدی به‌دلایلی نظیر گردوغبار حاصله، توجیه فنی و اقتصادی ندارد و گزینه دیگر، نیروگاه بادی است که آن نیز وابسته به متغیرهای جغرافیایی است و همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، تمامی نقاط کشور این پتانسیل را ندارند.

همان‌طور که در نمودار ۱۶ نیز مشخص است، استان‌هایی که بیشترین مصرف برق در بخش صنایع را دارند، به‌نسبت، پتانسیل کمتری نیز جهت ایجاد ظرفیت تجدیدپذیر دارند و برعکس، استان‌هایی که برق مصرفی کمتری در بخش صنعت دارند (سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی)، پتانسیل بالاتری را در انرژی تجدیدپذیر دارا می‌باشند.



نمودار ۱۹. مقایسه مصرف برق بخش صنعت و پتانسیل تجدیدپذیر در استانهای کشور



مأخذ: سلسله گزارش‌های شناسایی سایت‌های پرتانسیت و ارزیابی منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزیابی تلفیقی، ساتیا، ۱۳۹۸-۱۴۰۰ و آمار تفصیلی صنعت برق ایران، توزیع نیرو برق، وزارت نیرو، ۱۳۹۹.

با توجه به نکات ذکر شده، الزام به ساخت نیروگاه توسط صنایع بایستی با تمهیدات دیگری همراه باشد. ازجمله این تمهیدات می‌توان به پیش‌فروش گواهی ظرفیت تجدیدپذیر در بورس انرژی اشاره نمود که سمت عرضه آن، شرکت‌های تخصصی در زمینه نیروگاهی بوده و در سمت تقاضا، صنایع ملزم به احداث نیروگاه تجدیدپذیر یا هر نوع متقاضی قرار دارند. (نمودار ۱۷)

در این حالت، شرکت‌های تخصصی که دارای مجوز احداث نیروگاه تجدیدپذیر می‌باشند، آن بخش از ظرفیت خود را که خواهان عرضه آن در این بازار هستند، به سهم‌هایی خرد تبدیل کرده و آن را عرضه می‌نمایند.

در سمت تقاضا نیز ظرفیتی که صنایع ملزم به ایجاد آن هستند، از این بازار خریداری می‌شود. به علت رقابتی که در این بازار بین عرضه‌کنندگان و خریداران به وجود خواهد آمد، به‌مرور هزینه‌های ساخت به سمت هزینه‌های مرزی رفته و موجب رونق می‌گردد.

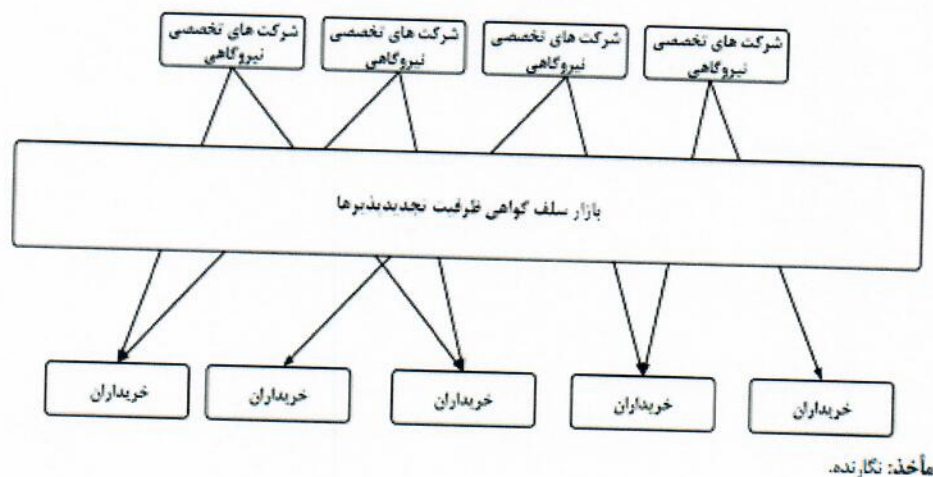
از مهم‌ترین مزایای این پیشنهاد می‌توان به تسهیل در تأمین مالی ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر اشاره نمود.

تجدیدپذیر و تسهیل استفاده صنایع از انرژی‌های تجدیدپذیر و استفاده از یک نیروگاه بزرگ تجدیدپذیر با سرمایه‌گذاری چند صنعت مختلف اشاره کرد.



ازسوی دیگر، با توجه به اینکه پتانسیل تجدیدپذیر در همه نقاط کشور وجود ندارد، سازندگان نیروگاه نسبت به احداث ظرفیت تجدیدپذیر در منطقه‌ای با بالاترین بازده اقدام خواهند کرد. با این پیشنهاد، امکان اجرایی شدن قانون مذکور تسهیل شده و امکان توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر برای همه بخش‌های مصرفی و سرمایه‌گذاران وجود خواهد داشت.

نمودار ۲۰. ساختار بازار سلف گواهی ظرفیت تجدیدپذیر



۲۷-۱- اصلاح تعرفه سوخت نیروگاه‌های حرارتی

طرح‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای نظیر ایران و عربستان سعودی که در آن‌ها یارانه‌های دولتی به‌طور مصنوعی قیمت سوخت نیروگاه‌های فسیلی را کاهش می‌دهند، با موانع جدی روبه‌رو هستند.

به‌طور کلی، اعطای یارانه‌های غیرهدفمند می‌تواند منجر به استفاده غیر بهینه انرژی شود. در حال حاضر، تعرفه سوخت نیروگاه‌های حرارتی کشور مشمول یارانه بسیار زیادی است، به‌نحوی که حدود ۳۱ درصد از یارانه گاز طبیعی کشور، به بخش نیروگاهی اعطا می‌شود. در سال ۱۳۹۸، میزان کل یارانه گاز دریافتی نیروگاه‌ها بالغ بر ۱۶ میلیارد دلار بوده‌است. ازاین‌رو، حرکت به‌سمت حذف تدریجی قیمت‌گذاری در زنجیره تولید تا مصرف برق و ارائه یارانه به‌صورت مستقیم به جامعه هدف، باعث رقابت‌پذیرتر شدن تولید برق تجدیدپذیر خواهد شد که یکی از بنیان‌های جلب سرمایه‌گذار می‌باشد.



در این راستا، ماده (۱۰) قانون مانع‌زدایی از توسعه صنعت برق ظرفیت خوبی را ایجاد کرده است که بایستی با نظارت دقیق اجرایی شود.

۲۸-۱- پیشرفت چشمگیر کشورها و مناطق در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

در سال‌های اخیر، چندین کشور و منطقه جهان گام‌های قابل‌توجهی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر برداشته‌اند و سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌ای در این حوزه انجام داده‌اند. این تحولات، نویدبخش آینده‌ای پایدارتر و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی است. مهم‌ترین پیشرفت‌ها در این حوزه شامل موارد زیر است:

چین: پیشرو در افزایش ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر

چین همچنان در جایگاه نخست توسعه ظرفیت برق تجدیدپذیر قرار دارد و در سال ۲۰۲۳ به تنهایی نزدیک به ۳۵۰ گیگاوات ظرفیت جدید به شبکه خود اضافه کرد، که دو سوم از کل افزایش جهانی را شامل می‌شود. برنامه پنج‌ساله چهاردهم توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر که در سال ۲۰۲۲ منتشر شد، اهداف بلندپروازانه‌ای را برای گسترش انرژی‌های پاک تعیین کرده است که انتظار می‌رود موجب جذب سرمایه‌گذاری‌های کلان در سال‌های آتی شود.

اتحادیه اروپا: شتاب در توسعه انرژی خورشیدی و بادی

اتحادیه اروپا در واکنش به بحران انرژی جهانی، به طور قابل‌توجهی سرمایه‌گذاری در توسعه انرژی خورشیدی و بادی را افزایش داده است. در سال ۲۰۲۳، حدود ۸۰ گیگاوات ظرفیت جدید تجدیدپذیر در این منطقه نصب شد که دو برابر رشد سال ۲۰۲۱، پیش از بحران انرژی، است. سیاست‌ها و اهداف جدیدی که در قالب طرح REPowerEU و برنامه صنعتی توافق سبز (The Green Deal Industrial Plan) ارائه شده‌اند، در سال‌های آینده محرک‌های اصلی سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر خواهند بود.

ایالات متحده: تأمین مالی کلان برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

ایالات متحده در سال ۲۰۲۲ از طریق قانون کاهش تورم (IRA) بودجه‌های قابل‌توجهی را برای گسترش زیرساخت‌های انرژی تجدیدپذیر اختصاص داد. این حمایت مالی، علاوه بر توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، موجب افزایش سرمایه‌گذاری در تولید تجهیزات مرتبط با انرژی‌های پاک



تأمین سرمایه‌گذاری (سهامی عام)
Omid Investment Bank

خواهد شد. انتظار می‌رود که این اقدامات در میان‌مدت، رشد پایدار و مداومی را در این بخش به همراه داشته باشد.

هند: تعهد به دستیابی به ۵۰۰ گیگاوات ظرفیت غیر فسیلی تا ۲۰۳۰

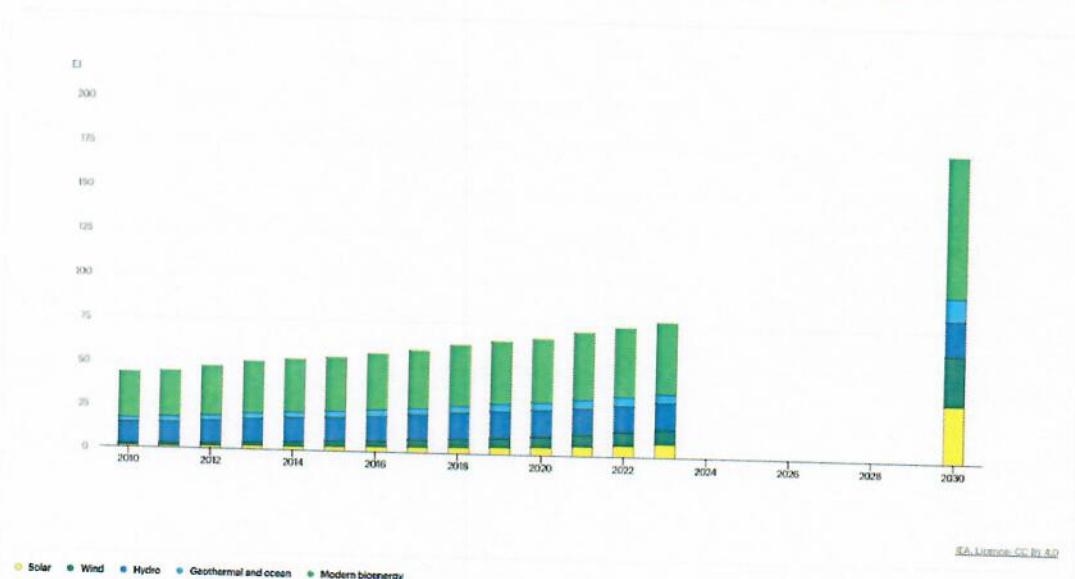
هند همچنان بر تعهد خود برای رسیدن به ۵۰۰ گیگاوات ظرفیت تولید برق غیر فسیلی تا سال ۲۰۳۰ پایبند است. در همین راستا، در آوریل ۲۰۲۳، دولت این کشور برنامه‌ای برای برگزاری مزایده سالانه ۵۰ گیگاوات ظرفیت جدید اعلام کرد که گامی کلیدی برای تحقق این هدف بلندپروازانه محسوب می‌شود.



توسعه تکنولوژی‌های مورد استفاده در انرژی‌های تجدید پذیر

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، افزایش ظرفیت نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فتوولتائیک (Solar PV)، عامل اصلی رشد عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر است. با این حال، برای همسویی با سناریوی انتشار خالص صفر (NZE)، این روند باید با سرعت بیشتری شتاب بگیرد و ظرفیت‌های جدید با نرخ بسیار بالاتری توسعه یابند.

نمودار ۲۱. عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر بر اساس فناوری در سناریوی انتشار خالص صفر (NZE)، ۲۰۱۰-۲۰۳۰



۲۹-۱ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق و ضرورت تسریع توسعه فناوری‌های نوین

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، تولید برق از منابع تجدیدپذیر حدود ۴۲٪ از کل عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر را تشکیل می‌دهد. در این میان، سهم منابع تجدیدپذیر غیرزیست‌توده‌ای به ۸۲٪ می‌رسد که بخش باقی‌مانده آن به تأمین گرمایش از طریق سیستم‌های خورشیدی حرارتی و زمین‌گرمایی اختصاص دارد.

رشد سریع انرژی خورشیدی و سهم بالای آن در توسعه ظرفیت‌های جدید

در سال ۲۰۲۳، تولید برق تجدیدپذیر بیش از ۴۶۰ تراوات ساعت افزایش یافت که ۷۰٪ این رشد تنها به انرژی خورشیدی فتوولتائیک (Solar PV) اختصاص داشت. مابقی این افزایش عمدتاً از طریق توسعه ظرفیت نیروگاه‌های بادی تأمین شد، در حالی که تولید برق آبی کاهش یافت. در همین



حال، رشد تولید برق و حرارت از منابع زمین‌گرمایی، نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی متمرکز (CSP) و انرژی‌های اقیانوسی، به دلیل محدودیت در افزایش ظرفیت، در سال ۲۰۲۳ تقریباً متوقف شد. در مجموع، منابع تجدیدپذیر غیرزیست‌توده‌ای نزدیک به ۳۰٪ از کل تولید برق را در سال ۲۰۲۳ به خود اختصاص دادند.

نیاز به افزایش سرعت توسعه در برخی فناوری‌های تجدیدپذیر

انرژی خورشیدی فتوولتائیک در سال‌های اخیر بیشترین رشد ظرفیت را در میان فناوری‌های تجدیدپذیر داشته است و همچنان مطابق با سناریوی انتشار خالص صفر (NZE) در حال توسعه است. با این حال، در مورد انرژی بادی، برق‌آبی و زیست‌انرژی، افزایش سرعت توسعه ضروری است، چرا که میزان رشد آن‌ها در سال‌های اخیر و پیش‌بینی‌های آینده به مراتب کمتر از سطوح مورد نیاز برای همگام شدن با اهداف جهانی کربن‌زدایی است.

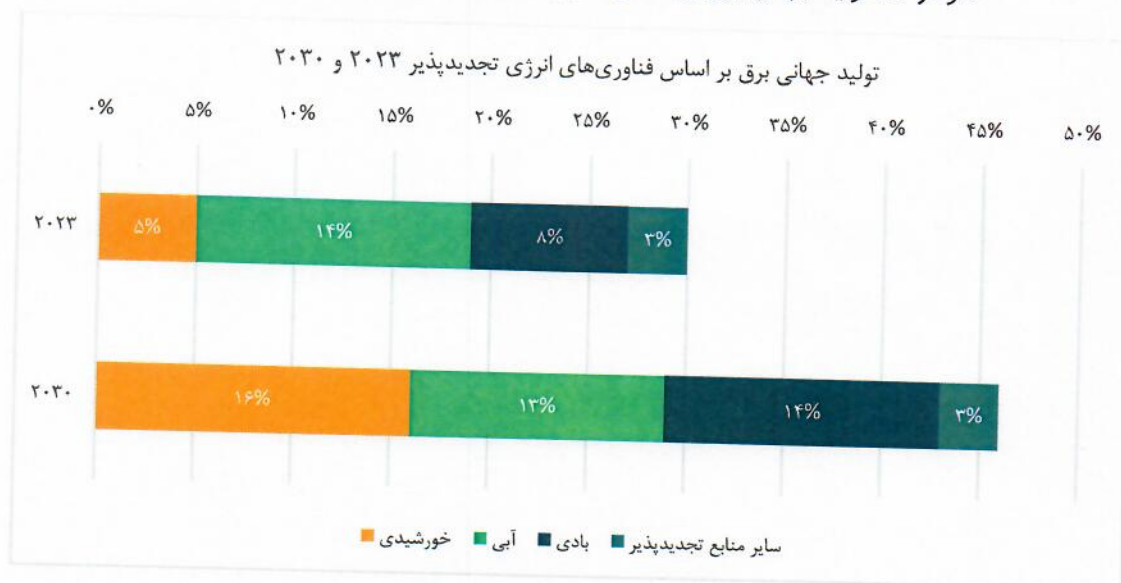
علاوه بر این، سایر فناوری‌های کمتر توسعه‌یافته مانند نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی متمرکز (CSP)، زمین‌گرمایی و انرژی اقیانوسی، همچنان از مسیر تعیین‌شده عقب هستند و برای ورود به مسیر تحقق اهداف کربن‌زدایی، نیازمند حمایت‌های جدی و سرمایه‌گذاری‌های گسترده‌تری در سال‌های آتی خواهند بود.



تأمین زیرساخت‌های انرژی (سپاس عام)
China Investment Bank



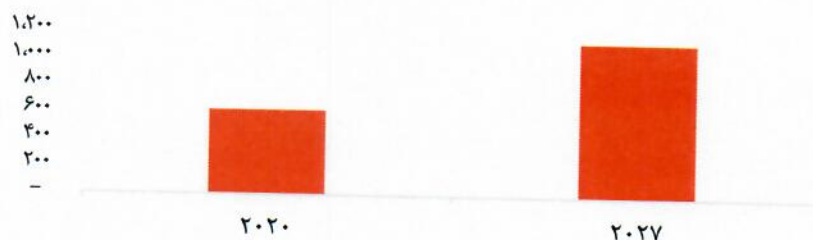
نمودار ۲۲. تولید جهانی برق بر اساس فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر ۲۰۲۳ و ۲۰۳۰



۳-۱- اندازه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر

نمودار زیر اندازه بازار انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۰، با پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۷ را نشان می‌دهد:

نمودار ۲۳. اندازه بازار انرژی‌های تجدید پذیر در جهان (میلیارد دلار)



انتظار می‌رود بازار جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر به رشد صعودی خود در سال‌های آینده ادامه دهد و تا سال ۲۰۲۷ به ۱/۱ تریلیون دلار آمریکا برسد. نگرانی‌های زیست‌محیطی در مورد سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی سریع و رشد اقتصادی در مناطق نوظهور، همگی از عوامل مهمی هستند که به دقت مبلغ پیش‌بینی‌شده کمک می‌کنند.

نمودار زیر کشورهای پیشرو در ظرفیت نصب شده انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان را در سال

۲۰۲۳ نشان می‌دهد:

