کلان‌روند انرژی و پیامدهای آن برای ایران

مدیریت دیپلماسی اقتصادی و آینده پژوهی

بهمن ۱۴۰۳

فهرست

خلاصه کاربردی ۴
مقدمه ۶
بخش اول: کلیات و گذار انرژی ۷
الف) کلان‌روندها ۷
۱) گرمایش جهانی (تغییرات آب‌وهوایی) ۸
۲) رشد اقتصادی ۹
۳)گسترش شهرنشینی ۱۰
۴) مصرف انرژی ۱۲
ب) گذار انرژی ۱۳
بخش دوم: گذار انرژی جهانی ۱۴
درآمد ۱۵
۱)پیمان پاریس ۱۷
۲)خودروهای الکتریکی (EVs)، پیشران بخش حمل‌ونقل در گذار انرژی ۲۰
۳) سلول‌های خورشیدی (PVs)، معجزه برق‌رسانی و کربن‌زدایی در گذار انرژی ۲۱
۴) گذار انرژی جهانی: عبور از کربن ۲۳
انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۴
روندها در بخش‌ها ۲۴
توزیع جغرافیایی روندها ۲۵
کارآمدی و بهینه‌سازی انرژی ۲۵
مورد مطالعاتی: هند ۲۷
مورد مطالعاتی: چین ۳۰
بخش سوم: گذار انرژی در منطقه ۳۳
درآمد: ۳۳
الف) شاخص‌های منطقه خاورمیانه: ۳۴
بخش چهارم: ایران ۴۵

۱) نگاهی کلی به شاخص‌های انرژی در ایران..... ۴۵
۲) مرور اسناد بالادستی بخش انرژی..... ۴۹
برق..... ۵۰
سوخت‌های فسیلی..... ۵۷
الف) نفت..... ۵۷
ب) گاز طبیعی..... ۵۹
بخش پنجم: جمع‌بندی و توصیه‌های سیاست‌گذاری..... ۶۲

خلاصه کاربردی

-کلان‌روند انرژی جهانی، به معنای روندی جاری در حوزه انرژی، بلنددامنه و بزرگ‌مقیاس است که جمعیت‌های انسانی را به شکلی عمیق و گسترده از خود متاثر می‌کند. تعریف بسیار خلاصه کلان‌روند انرژی جهانی با مفهوم «گذار انرژی» مشخص می‌شود: گذار از انرژی‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر.

- گرمایش جهانی، گسترش شهرنشینی، رشد اقتصادی و روند افزایشی مصرف انرژی مهم‌ترین مؤلفه‌های پیرامونی هستند که با بحث گذار انرژی مرتبط می‌شوند و به آن شکل می‌دهند.

- تا سال ۲۰۳۰، بیش از دو سوم جمعیت جهان در شهرها زندگی کرده، ۶۰ تا ۸۰ درصد منابع انرژی را مصرف خواهند کرد و مسئول ۷۰ درصد از آلایندگی جهانی هستند. تامین انرژی این نقاط تجمع انسانی یک چالش عمده است. شهرهای متوسط بیش از کلان‌شهرها توسعه پیدا خواهند کرد.

-طبقه متوسط از ۳,۲ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۰ به ۵,۳ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. باتوجه‌به اینکه طبقه متوسط بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی است، این افزایش شدید در جمعیت این طبقه خود عامل دیگری برای ترسیم کلان‌روند انرژی در آینده خواهد بود.

- کربن‌زدایی و گرمایش زمین، امنیت انرژی و توسعه پایدار از جمله مهم‌ترین ابعاد گذار انرژی هستند. زمین امروز ۱ درجه از ۱۹۵۰ و حدود ۲ درجه از دوران پیشاانقلاب صنعتی گرم‌تر است و این عامل فجایع زیست‌محیطی است. امنیت انرژی به‌واسطهٔ مشکلات در عرضه آسیب‌پذیر شده است و توسعه پایدار، مهم‌ترین دستور کار کشورها باید قرار بگیرد.

-روند فعلی بهای انرژی‌های فسیلی نزولی است، بازار به‌طورکلی باثبات است و نشانه‌هایی از کاهش اثرپذیری بازار از مسائل ژئوپلیتیک به چشم می‌خورد.

- اقتصاد انرژی، مقدمات یک گذار مثبت و امیدبخش را به نمایش گذاشته است. این گذار با خودروهای الکتریکی (EVs) و سلول‌های فوتوولتاییک خورشیدی (PVs) میسر و مشخص شده است. این دو فناوری انقلابی، ستون‌های اصلی گذار انرژی در دهه جاری هستند. طبق گزارش بانک جهانی، PVs نامتصل به شبکه در سال ۲۰۲۳ مجرای دسترسی ۵۶۱ میلیون نفر از به انرژی الکتریسیته بودند. رشد شگفت‌انگیز فروش خودروهای الکتریکی نیز به یک خودرو در هر پنج خودرو رسیده است که نقش مهمی در کاهش آلاینده‌های بخش حمل‌ونقل بوده و می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ عامل کاهش مصرف روزانه ۶ میلیون بشکه نفت شود.

- یکی از ابعاد مهم گذار انرژی، موافقت‌نامه پاریس است که توسط ۱۹۶ کشور و نهاد طی کنفرانس تغییرات آب‌وهوایی سازمان ملل متحد در پاریس، فرانسه و در سال ۲۰۱۵ تایید و از سال ۲۰۱۶ اجرایی شد. موجزترین تعریف اهداف این موافقت نامه از این قرار است: «توقف افزایش دمای میانگین جهانی [در نقطه] کمتر از ۲ درجه بالاتر از سطح دوران پیشاانقلاب صنعتی» و تلاش برای «محدود کردن افزایش دما به ۱,۵ درجه بیشتر از سطح دوران پیشاصنعتی».

- استفاده از الکتریسیته حاصل از منابع تجدیدپذیر بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ تقریبا پنجاه درصد رشد داشته است که عمدتا وامدار توسعه استفاده از نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فوتوولتائیک (PV) بوده است.

-سهم گاز طبیعی از تولید ظرفیت جدید الکتریسیته در هند (به‌عنوان یکی از شرکای انرژی ایران) طی یک دهه اخیر تقریبا به‌سوی صفر میل کرده است و این امر، بیانگر کاهش تقاضای گاز هند در این بخش است. توسعه مداوم و چشمگیر سهم انرژی خورشیدی از ایجاد ظرفیت‌های تولید جدید الکتریسیته ویژگی دیگر گذار انرژی در هند است

که طی یک دهۀ اخیر تقریبا همیشه رشد کرده است و از سهم ناچیز ۰٫۵ گیگاواتی سال ۲۰۱۱ به سهم ۹٫۳ گیگاواتی در سال ۲۰۱۹ رسید.

–تولید ظرفیت جدید نیروگاه‌های فوتوولتائیک در چین از هر کشور دیگری بیشتر است. این کشور، درحالی‌که دومین مصرف‌کنندۀ بزرگ نفت در جهان است، ۷۰ درصد ظرفیت تولید باتری‌های الکتریکی خودروها در جهان را نیز در اختیار دارد و طبق اعلام دولت، تا سال ۲۰۶۰ به کربن خالص صفر خواهد رسید.

– حدود ۹۵ درصد از برق تولیدشده در خاورمیانه از گاز طبیعی و نفت تامین می‌شود و از این نظر منطقه بالاترین سهم در جهان را به خود اختصاص داده است. کشورهای خاورمیانه برای تامین انرژی موردنیاز خود، تقریبا به طور انحصاری بر گاز، نفت و به میزان اندکی زغال‌سنگ متکی هستند و ضریب انتشار کربن در منطقه بسیار بالاست.

– امارات به‌عنوان موفق‌ترین کشور منطقه در حوزه تولید برق هسته‌ای از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ موفق به امضای قراردادهای ساخت نیروگاه «براکه» در ابوظبی، با یک شرکت کره‌ای شد؛ نیروگاه هسته‌ای براکه با ظرفیت ۵۶۰۰ مگاوات، شامل چهار رآکتور هسته‌ای است.

– در سال ۲۰۲۲ سهم سوخت‌های فسیلی در تولید برق ایران حدود ۹۴ درصد بود که در این میان ۷۹ درصد (۲۹۴ تراوات ساعت) از گاز، ۱۵ درصد (۵۴ تراوات ساعت) از سایر سوخت‌های فسیلی و ۰٫۲ درصد (۰٫۷ تراوات ساعت) از زغال‌سنگ تولید شده است. سهم برق آبی در سبد تولید برق ایران برابر با ۴٫۵ درصد (۱۷ تراوات ساعت) و سهم برق هسته‌ای برابر با یک درصد (۳٫۵ تراوات) بوده است. این اعداد به معنای فاصله نجومی ایران با گذار انرژی جهانی است. هرچند کماکان در مرز میانگین منطقه خاورمیانه است.

– تولید برق از انرژی باد و خورشید در ایران به طور قابل‌توجهی کندتر از میانگین جهانی بوده است؛ به‌طوری‌که در حال حاضر باد و خورشید ۰٫۵ درصد از تولید برق کشور را تشکیل می‌دهند (این رقم در سال ۲۰۱۵ تنها ۰٫۰۵ درصد بود). در مقایسه، در مدت مشابه سهم جهانی باد و خورشید از ۴٫۶ درصد به ۱۲٫۱ درصد افزایش‌یافته است.

– سند ملی راهبرد انرژی کشور، مهم‌ترین سند بالادستی کشور در زمینه انرژی تا سال ۱۴۲۰، در عین توجه به مسائلی مهم، به جز موارد محدود همچون «کاهش شدت انرژی در کشور به نصف» و «افزایش حداقل پنج واحد درصد به ضریب بازیافت میادین نفتی»، فاقد معیار کمی و سنجش‌پذیر برای بررسی میزان تحقق اهداف در افق ۱۴۲۰ است و عموما در کلیاتی همچون «حداکثرسازی، استفاده حداکثری، افزایش خوداتکایی و تنوع‌بخشی» متوقف شده است.

– سند اهداف کلی توسعه بخش نفت و گاز،[۱] سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری سیستم‌های انتقال برق با ظرفیت بالا،[۲] سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی در ایران،[۳] سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی زمین‌گرمایی در ایران[۴] و سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعۀ فناوری‌های مرتبط با انرژی زیست‌توده در ایران[۵] نیز در حد کلیات باقی مانده است و فاقد معیارهای ضروری تدوین اسناد ملی همچون شناسایی دقیق پتانسیل‌ها، میزان نیازها در افق طرح، سنجش‌پذیری میزان تحقق اهداف، موانع و چالش‌های پیش رو و شیوه تامین منابع به‌ویژه منابع مالی و دسترسی به تکنولوژی‌های موردنیاز هستند که به‌ویژه در شرایط تحریمی از اهمیت بسزایی برخوردار است.

---

[۱] وزارت نفت

[۲] پژوهشگاه نیرو

تمامی اسناد منتشر شده پژوهشگاه نیرو به سفارش وزارت نیرو و کارفرمایی شرکت توانیر تدوین شده است.

[۳] پژوهشگاه نیرو

[۴] پژوهشگاه نیرو

[۵] پژوهشگاه نیرو

-کشور در بحث انرژی با بحران مضاعف روبه‌رو است: بحران‌های ناشی از گذار جهانی انرژی را با بحران شکاف میان تقاضا و عرضه به‌صورت هم‌زمان و با فشار بالا تجربه می‌کند. بااین‌حال، گذار جهانی انرژی، به‌مثابه یک امکان جدید برای عبور توامان از دو بحران و یا یک فشار جدید برای مواجهه با دو بحران هم‌زمان، در پیش روی کشور قرار دارد.

مقدمه

انرژی رانهٔ هر سیستمی است و نیازی به قلم‌فرسایی در مورد اهمیت آن وجود ندارد. ولی یکی از ابعاد اهمیت آن که موضوع این گزارش نیز هست، ضرورت پیش‌بینی در مورد آن است. هر سیستمی نیاز دارد بداند که عرضه و تقاضای کدام انرژی در کدام زمان به چه میزان خواهد رسید، چرا که نه عرضهٔ آن یک‌شبه و به‌صورت خلق‌الساعه است و نه تقاضای آن می‌تواند منتظر بماند. در اینجا است که سناریونویسی در مورد انرژی موضوعیت پیدا می‌کند و سناریونویسی نیز بیش و پیش از هر چیز نیازمند روندپژوهی و تحلیل روند است. این گزارش، به توضیح و تفصیل روند عرضه و تقاضای انرژی در سطح جهانی و به‌عبارت‌دیگر، کلان‌روند انرژی می‌پردازد؛ بنابراین، مهم‌ترین پرسش‌هایی که تلاش شده است تا پاسخ آنها مورد پژوهش و تحلیل قرار بگیرد به شرح زیر هستند:

- کلان‌روندهای حوزهٔ انرژی در زمان ما کدام‌اند؟
- کلان‌روندهای حوزهٔ انرژی چگونه عرضه و تقاضای انرژی را زیر تأثیر قرار می‌دهند؟
- تحول در الگوهای کلان عرضه و تقاضای انرژی چه نسبتی با توسعه، رفاه، تجارت و زندگی روزمره دارند؟
- ایران به لحاظ وضعیت فعلی و روند پیش رو، چه نسبتی با کلان‌روندهای حوزه انرژی دارد؟

برای پاسخ به این پرسش‌ها، این گزارش ابتدا در بخش اول کلیاتی در مورد روندپژوهی و کلان‌روندها بیان می‌کند و سپس یک مفهوم بنیادین در فهم کلان‌روند انرژی، یعنی «گذار انرژی» را مطرح می‌کند. گذار انرژی در این معنا، بنیان اصلی تحلیل در گزارش خواهد بود. در مرحلهٔ بعد، کلان‌روند انرژی در این چارچوب بیان می‌شود. قسمت اخیر شامل کلیدی‌ترین عوامل در فهم کلان‌روند انرژی است. در بخش دوم، تصویر روند کلی گذار انرژی جهانی را در قالب مهم‌ترین اسناد، سیاست‌ها، رویه‌ها و گزارش‌های معتبر شرح می‌دهد. در این بخش، دو مورد مطالعاتی در قالب کشورهای چین و هند، به‌اختصار بیان می‌شود که انتخاب آنها به لحاظ اهمیت جهانی و نیز اهمیت آنها برای انرژی ایران صورت گرفته است. بخش سوم به شرح وضعیت انرژی در منطقهٔ خاورمیانه بر مبنای مباحث صورت گرفته و به طور مشخص، باتوجه‌به مفهوم گذار انرژی اختصاص دارد. در این بخش، ابتدا یک تصویر کلی ارائه می‌شود و سپس، مهم‌ترین شاخص‌های این حوزه در ارتباط با موضوع گزارش بیان می‌شود. این قسمت نیز به دو مورد مشخص، یعنی امارات متحدهٔ عربی و عربستان سعودی به‌اختصار می‌پردازد که باز هم انتخاب آنها بر مبنای اهمیت آنها در بازار انرژی و تجربه آنها برای سیاست‌گذاری ایران انتخاب شده است. بخش چهارم گزارش به بحث ایران وارد می‌شود و ابتدا نسبت روندهای موجود انرژی در کشور با گذار انرژی جهانی را نشان داده و سپس با بررسی برخی از مهم‌ترین اسناد این حوزه، سیاست‌گذاری موجود در این بخش را تحلیل کرده و با روندهای جهانی و

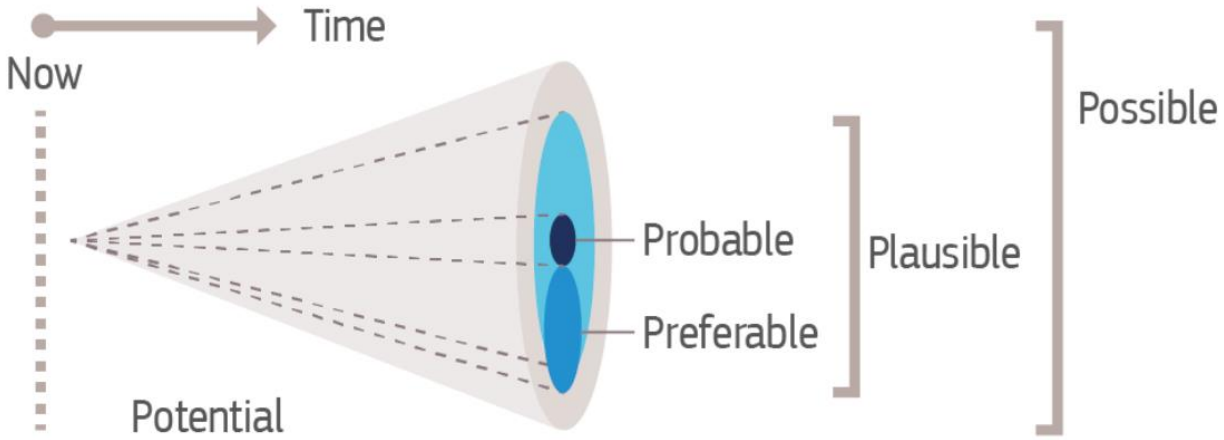
تجربیات کشورهای هم‌ارز، مقایسه می‌کند. در نهایت، بخش پنجم به جمع‌بندی و برخی توصیه‌های سیاست‌گذاری اختصاص پیدا کرده است.

بخش اول: کلیات و گذار انرژی

الف) کلان‌روندها

واژۀ کلان‌روند[1] که در کانون این رشته از پژوهش‌ها و مباحث قرار گرفته است سه ویژگی عمده دارد. نخست، همان‌گونه که از عنوان آن مشخص است، کلان‌روندها فرایندهایی بلنددامنه هستند که در مقیاسی بزرگ رخ داده و به‌پیش می‌روند و بنابراین، جمع بزرگی از انسان‌ها، گروه‌ها و دولت‌ها را از خود متأثر می‌کنند. دوم، این دامنه گسترده تنها به بزرگی رویداد مربوط نیست و به بازه زمانی رخ‌دادن آن نیز اشاره دارد؛ بنابراین، کلان‌روندها اصولا در بازه‌های زمانی بزرگ‌تر از یک دهه مورد بررسی و اندیشه هستند. سوم، کلان‌روندها از دل زمان حاضر بیرون می‌آیند. ویژگی اخیر که شاید مهم‌ترین ویژگی‌ها نیز باشد، ازاین‌حیث اهمیت دارد که اولا آنچه را که قرار است در مقیاسی بزرگ رخ دهد، به دغدغه‌ها و نیازهای زمان حاضر مرتبط می‌کند و ثانیا می‌توان فهم آنها را از همین زمان حاضر آغاز کرد و در مورد آن اندیشید. این فهم، به داده‌ها، پردازش داده‌ها و جهت آنها مربوط می‌شود.

تصویر ۱- شما عمومی منطق سناریونویسی



Source: Voros J 2003, 'A generic foresight process framework', Foresight, vol. 5, no. 3, pp. 10-21

تصویر بالا، یک شمایل‌سازی از سناریونویسی بر مبنای پیش‌بینی روندها است. راس مخروط آینده از زمان حال شروع می‌شود و با حرکت در طول محور زمان، دایره پتانسیل‌هایی که به ممکن و سپس احتمالی تبدیل می‌شوند گسترده‌تر می‌شود تا در نهایت، دایره سناریوهای محتمل را به دست بدهد. بهترین سناریونویسی، باید محتمل‌ترین و مرجح‌ترین سناریوهای آینده را بر اساس روندها و منافع شناسایی و در کنار یکدیگر ارائه کند.

کلان‌روندها اهمیت زیادی برای تحلیل و سیاست‌گذاری دارند. ساده‌ترین دلیل این امر آن است که کلان‌روندها به تحلیل‌گر و سیاست‌گذار به یک‌میزان کمک می‌کنند تا با کوچک‌کردن فهرست بی‌نهایت احتمالات در آینده، یک

[1] Mega Trend

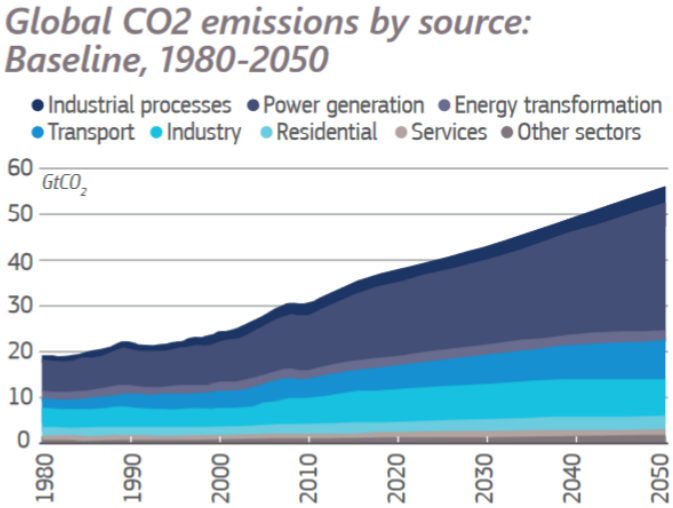
فهم کلی از جهت تحولات در یک حوزه و به دنبال آن، امکان اندیشیدن در مورد نیازمندی‌ها و ضرورت‌های آن آینده محتمل را به دست بیاورد. همچنین، به دلیل ماهیت پردامنه آنها، اهمیتی استراتژیک پیدا می‌کنند و ازاین‌رو، توجه به آنها بیش و پیش از هر چیز یک وظیفهٔ دولتی است. این امر به‌ویژه زمانی معنای بیشتری پیدا می‌کند که توجه داشته باشیم که کلان‌روندها، اصولا پدیده‌های جبری هستند که نمی‌توان به‌سادگی آنها را متوقف کرد و تغییر داد؛ بنابراین، نه‌تنها باید مبنای سیاست‌گذاری استراتژیک دولت‌ها قرار گیرند، بلکه این ابتناء باید رابطه‌ای طولی داشته باشد و سیاست‌های کلان دولت‌ها با درک این فرایندهای ژرف جبری، در راستای آنها و برای انتفاع بیشتر از آنها ترسیم شوند و نه تغییر یا مقاومت در برابر آنها. کلان‌روند انرژی، در حقیقت نه‌تنها به لحاظ اهمیت، بلکه به لحاظ موضوعی نیز یک مثال و شروع خوب است. همان‌گونه که در سرتاسر این پژوهش به آن پرداخته خواهد شد، یک گذار کلان انرژی چندین دهه است که در صنعت و بازار انرژی دنیا آغاز شده و روزبه‌روز به‌پیش می‌رود؛ گذاری که آن‌گونه که مختصات آن در قسمت دوم همین بخش شرح داده خواهد شد، نه قابل‌توقف است و نه قابل‌مقاومت و بنابراین، درک‌نکردن و عدم سازگاری سیاست‌های استراتژیک دولت با آن، خسارت محض خواهد بود. پیش از ورود به بحث گذار انرژی، اشاره به چند گذار فرعی که اهمیت بنیادین برای تحلیل کلان‌روند انرژی دارد، ضروری است. این جریان‌ها عبارت‌اند از گرمایش زمین، رشد اقتصادی، شهرنشینی و در نهایت مصرف انرژی.

۱) گرمایش جهانی (تغییرات آب‌وهوایی)

زمین ما در حال حاضر یک درجه گرم‌تر از ۱۹۵۰ است و طبق ارزیابی‌ها، تا سال ۲۰۳۰ جهان ما به طور متوسط یک و نیم درجه سلسیوس گرم‌تر از دوران پیش از انقلاب صنعتی خواهد بود. این گرمایش عمدتا مولود کربن‌زایی و توسعه مصرف انرژی‌های فسیلی طی چند سده و هم‌زمان، کاهش سطح جنگل‌های است که توانایی جذب و پالایش این کربن را داشتند. دغدغهٔ گرمایش زمین دو جنبه مهم دارد؛ نخست اشتباهاتی که در گذشته در این حوزه صورت گرفته است و دوم، اشتباهات به مراتب مخرب‌تری که باید امروز از انجام آنها خودداری کنیم تا این روند کند شود. مورد اخیر، ناظر بر این فرض است که بر اساس مطالعات، در حال حاضر ما هنوز در نقطه برگشت ناپذیری قرار نداریم، یعنی هنوز امکان اصلاح امور در این حوزه با تغییر سیاست ها وجود دارد، چرا که افزایش دمای یک و نیم درجه برای زیست بوم قابل تحمل است. ولی در صورت تداوم روند فعلی، خیلی زود ممکن است به نقطهٔ برگشت ناپذیری برسیم. براین‌اساس، با ادامه روند فعلی و پیروی نکردن دولت‌ها از تعهدات زیست‌محیطی و کربن‌زدایی خود، افزایش دمای زمین تا ۲۰۳۰ به بیش از دو درجه خواهد رسید و این به معنای کاهش تولید و افزایش هزینه‌های تولید، افزایش مصرف انرژی دستگاه‌های تهویه مطبوع و خنک کننده، گسترش سیل‌ها، خشکسالی‌ها و دیگر رویدادهای وخیم زیست‌محیطی، افزایش مهاجرت، بالا رفتن هزینه‌های بهداشت و درمان و بسیاری دیگر از رویدادهای ناخوشایند اقتصادی و اجتماعی خواهد شد. برای فهم بهتر عمق وخامت اوضاع، توجه به این نکته ضروری است که حتی اگر امروز تمام آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی متوقف شود، دی‌اکسیدکربن مازادی

که در حال حاضر هم در جو زمین انباشت شده است تا چهل سال دیگر در آنجا باقی خواهد ماند.[1] حاصل اینکه یک دهه آینده در بحث گرمایش زمین بسیار کلیدی است و جامعه بشری گزینه‌ای جز تلاش یکپارچه در راستای توقف روند آن و امیدواری به کافی بودن این تلاش ندارد.

تصویر ۲- آلاینده‌های جهانی بر مبنای منبع آلایندگی در طول زمان



احتمالا نیازی به توضیح ندارد که مهم‌ترین عامل تولید کربن و در نتیجه، افزایش گرمایش زمین صنعت انرژی و به طور مشخص، انرژی‌های فسیلی است. سوخت انرژی‌های فسیلی بیشترین کربن را وارد جو زمین می‌کند و یکی از مهم‌ترین مسیرهای مقابله با گرمایش جهانی، کاهش مصرف آنها است. به طور مثال، اتحادیه اروپا مقرر کرده است که تا سال ۲۰۳۰، ۳۲ درصد از انرژی مصرفی کشورهای عضو از انرژی‌های تجدیدپذیر باشد. این مسئله، گرمایش زمین را هم به‌عنوان یک متغیر مستقل و هم به‌عنوان متغیر وابسته، به کلیدی‌ترین مولفه کلان‌روند انرژی در نگاه استراتژیک ایران تبدیل می‌کند. به بیان دیگر، ایران هم از گرمایش زمین آسیب می‌بیند، شاید بیشتر از بسیاری از بازیگران دیگر، و هم این روند به یک عامل تهدیدزا برای صنعت انرژی ایران به‌عنوان یک تولیدکننده نفت و گاز تبدیل شده است. در بخش سوم این گزارش بیشتر به این نکته خواهیم پرداخت.

۲) رشد اقتصادی

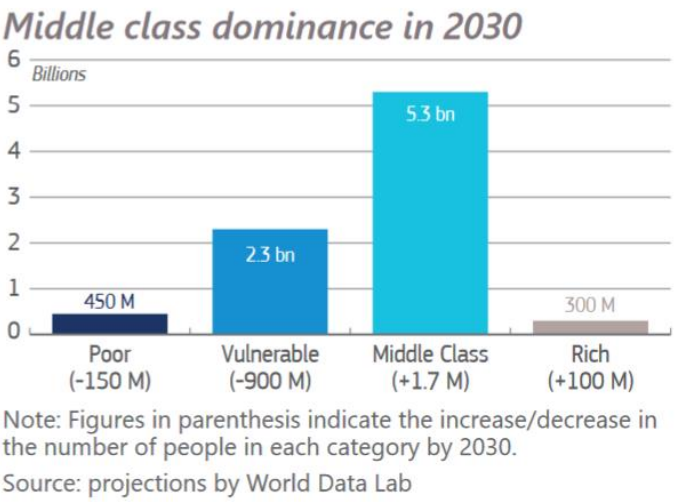
به‌طورکلی، دهه پیش رو دهه افزایش نرخ رشد در سطح جهانی تصویر شده است که سهم بازیگران درحال‌توسعه، از این رشد بیشتر از بقیه است. میانگین رشد اقتصادی جهان تا سال ۲۰۳۰ حدود ۳ درصد ارزیابی شده است که این عدد برای کشورهای درحال‌توسعه، ۳٫۶ است. همچنین، پیش‌بینی می‌شود که در این بازه زمانی چین جایگاه ایالات‌متحده را به‌عنوان بزرگ‌ترین قدرت اقتصادی از آن خود کند.[2] بنابراین، می‌توان گفت ازاین‌حیث، یک دهه

[1] European Strategy and Policy Analysis, Global Trends to 2030, Challenges and Choices for Europe. P.8. Retrieved on 1 December 2024 from: https://ec.europa.eu/assets/epsc/pages/espas/chapter1.html
[2] European Strategy and Policy Analysis, Global Trends to 2030, Challenges and Choices for Europe. P.13. Retrieved on 1 December 2024 from: https://ec.europa.eu/assets/epsc/pages/espas/chapter1.html

آینده خبرهای مثبتی به همراه دارد، چرا که به معنای ثروتمندتر شدن جهان است. البته بدیهی است که سهم کشورها از این ثروت به یک اندازه نیست و به میزان زیادی به ادغام آنها در این جریان جهانی بستگی دارد. درهرحال، نکته مهم این است که این افزایش نرخ رشد اقتصادی، به معنای افزایش مصرف انرژی نیز هست. درهرحال، تولید سرانه ناخالص داخلی رابطه مستقیمی با سرانه مصرف انرژی دارد و باتوجه‌به نکته‌ای که در مورد سهم بالاتر اقتصادهای درحال‌توسعه گفته شد و نیز عنایت به این واقعیت که نرخ وابستگی تولید ناخالص داخلی به انرژی در اقتصادهای درحال‌توسعه بیشتر از اقتصادهای توسعه‌یافته است، به عبارتی تولید در کشورهای نخست «انرژی‌برتر» است، اهمیت توجه به روندهای رشد اقتصادی در ترسیم آینده کلان‌روند انرژی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

همچنین، یک نکته مهم دیگر نیز در این مورد وجود دارد و آن گسترش طبقه متوسط است. بنا بر تعریف[1] طبقه متوسط از ۳,۲ میلیارد نفر در سال ۲۰۲۰ به ۵,۳ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید. باتوجه‌به اینکه طبقهٔ متوسط بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی است، این افزایش شدید در جمعیت این طبقه خود عامل دیگری برای ترسیم کلان‌روند انرژی در آینده خواهد بود.[2] (تصویر ۳)

تصویر ۳- تسلط طبقه متوسط تا سال ۲۰۳۰



۳)گسترش شهرنشینی

گسترش سریع شهرنشینی پدیده جدیدی نیست و بیشتر از یک سده است که یکی از کلان‌روندهای مهم جهان است. این امر، در آینده نیز ادامه پیدا خواهد کرد. بر اساس ارزیابی‌ها تا سال ۲۰۳۰، بیش از دو سوم جمعیت جهان در شهرها زندگی خواهد کرد. تا جایی که به شهرها به طور عام مرتبط است، این اجتماعات انسانی تا سال ۲۰۳۰ ۶۰

[1] طبقهٔ متوسط طبقه‌ای است که میزان درآمد سالیانه آن ۶۷ درصد تا ۲۰۰ درصد درآمد میانه کشور باشد.

[2] European Strategy and Policy Analysis, Global Trends to 2030, Challenges and Choices for Europe. P.14. Retrieved on 1 December 2024 from: https://ec.europa.eu/assets/epsc/pages/espas/chapter1.html

تا ۸۰ درصد منابع انرژی را مصرف خواهند کرد و مسئول ۷۰ درصد از آلایندگی جهانی هستند. در مقابل، شهرها ۷۰ درصد تولید ناخالص داخلی و ۳۵ درصد رشد تولید ناخالص داخلی را بر عهده خواهند داشت.

بااین‌حال، این امر به‌تنهایی تعیین‌کننده نیست و یک نکته مهم، پیامدهای این مسئله برای کلان‌روند انرژی را تا حدی تغییر می‌دهد. این نکته ناظر بر نرخ رشد شهرنشینی بر حسب اندازهٔ شهرها است. بر اساس ارزیابی‌ها، آنچه رانه اصلی گسترش شهرنشینی در آینده خواهد بود، شهرهای کوچک و متوسط هستند و نه شهرهای بزرگ یا متروپولیس‌ها. بسته به تعریف متروپولیس، در حال حاضر ۳۳ تا ۴۷ متروپولیس در دنیا وجود دارد که بیشتر آنها در آسیا و تنها یکی از آنها در اروپا خواهد بود (پاریس). با اینکه متروپولیس‌ها از بزرگ‌ترین تجمعات تاریخ بشری هستند، تا سال ۲۰۳۰ خانهٔ تنها ۸ درصد از جمعیت جهان خواهند بود[1] و باقی رشد شهرنشینی در شهرهای کوچک و متوسط خواهد بود. این امر در سیاست‌گذاری انرژی اهمیت بالایی دارد، چرا که نیازمند گسترش شبکه تولید و توزیع انرژی در یک سطح جغرافیایی گسترده‌تر خواهد بود.

در مجموع، شهرها باتوجه‌به تمرکز بالای مصرف انرژی، نقش مهمی در فهم کلان‌روند انرژی و تعیین سیاست‌های کلان دارند. هرچند شهرنشینی به طور عام باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود، بااین‌حال از یک سو به دلیل تمرکز جغرافیایی مصرف، شبکهٔ توزیع را کارآمدتر می‌کند و از سوی دیگر، به دلیل امکان تمرکز حمل‌ونقل و ایجاد شبکه‌های زیرساختی عمومی متمرکز در این حوزه، مدیریت و امکان برخی صرفه‌جویی‌ها را نیز فراهم می‌کند. همچنین، شهرنشینی به‌ویژه در شهرهای متوسط و کوچک امکان مدیریت آلایندگی ناشی از مصرف انرژی را نیز افزایش می‌دهد. درهرحال، توجه به کلان‌روند گسترش شهرنشینی و به‌ویژه، نرخ رشد بالاتر شهرهای کوچک و متوسط، یک ضرورت در ترسیم نقشهٔ کلان انرژی خواهد بود. توجه به شهرهای جدید و هوشمند و به‌سازی مدیریت مصرف و آلایندگی در شهرها مهم‌ترین کلیدهای حل مشکلات این روند هستند.

[1] European Strategy and Policy Analysis, Global Trends to 2030, Challenges and Choices for Europe. P.12. Retrieved on 1 December 2024 from: https://ec.europa.eu/assets/epsc/pages/espas/chapter1.html

تصویر ۴- جمعیت جهان و مناطق تا سال ۲۱۰۰ بر حسب میلیون نفر و بر اساس یک تخمین میانه

Region	Population (millions)			
	2 017	2 030	2 050	2 100
World	7 550	8 551	9 772	11 184
Africa	1 256	1 704	2 528	4 468
Asia	4 504	4 947	5 257	4 780
Europe	742	739	716	653
Latin America and the Caribbean	646	718	780	712
Northern America	361	395	435	499
Oceania	41	48	57	72

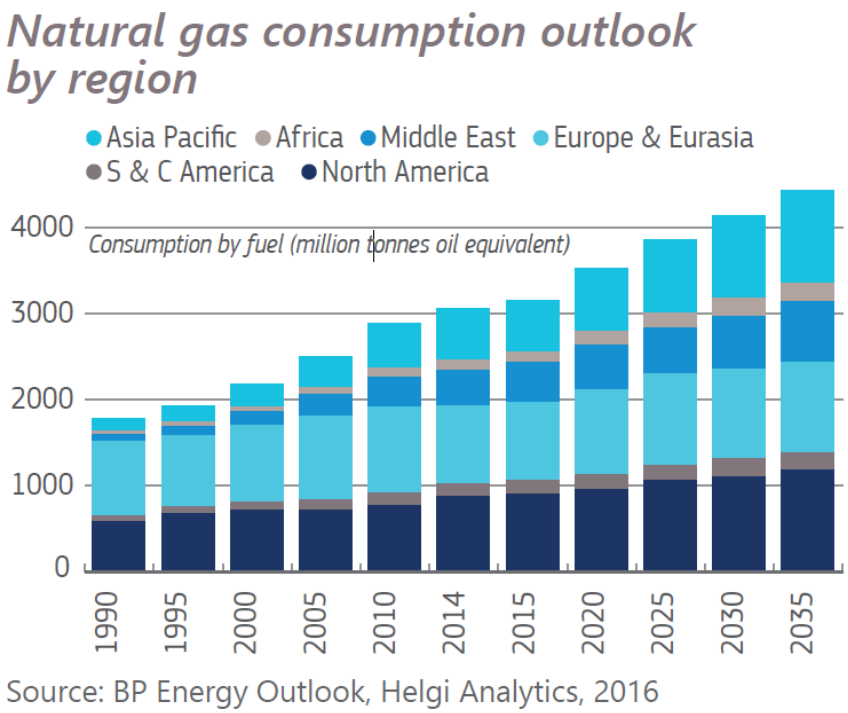
Source: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, New York: United Nations

۴) مصرف انرژی

کمتر روندی مانند گسترش مصرف انرژی در کانون و نقطه تلاقی کلان‌روندهای دیگر قرار می‌گیرد. در بخش‌های بعدی گزارش، روندهای تولید و مصرف انرژی به طور مفصل‌تری بیان خواهد شد، اما به طور موجز و در ارتباط با کلان‌روندهای بالا، مهم‌ترین روند در این حوزه این است که در آینده قابل‌پیش‌بینی، سالانه ۱,۷ درصد مصرف انرژی در سطح جهان افزایش پیدا خواهد کرد. این افزایش، به این دلیل است که ما بیشتر تولید خواهیم کرد، بیشتر در شهرها زندگی خواهیم کرد و جمعیت بیشتری خواهیم داشت. این نرخ رشد تقریباً با نرخ رشد حدفاصل دهه‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ برابر است. بیشتر این رشد تقاضا برای انرژی مربوط به کشورهای خارج از OECD، به‌ویژه چین و هند خواهد بود. این افزایش مصرف همچنان تا سال ۲۰۳۰ باعث افزایش بهای نفت و گاز خواهد شد، ولی نه به اندازهٔ دهه‌های قبل، و پیش‌بینی این است که تا سال ۲۰۳۰، قیمت به حدود قیمت سال ۲۰۱۰ برسد.[۱]

[۱] Organization of the Petroleum Exporting Countries, 'World Oil Outlook 2040', Vienna 2017, p.13, available at: https://www.opec.org/opec_web/flipbook/WOO2017/WOO2017/assets/common/downloads/WOO%202017.pdf

تصویر ۵- مصرف گاز طبیعی تا سال ۲۰۳۵ بر مبنای منطقه؛ ثبات نسبی همه مناطق به جز آسیا و خاورمیانه



ب) گذار انرژی

مفهوم گذار انرژی (Energy Transition) یکی از کلیدی‌ترین مفاهیم اقتصاد و سیاست حال حاضر است که به شکل گسترده‌ای در سیاست‌گذاری‌ها، رسانه‌ها، خطابه‌ها و پژوهش‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد. به بیان بسیار ساده، گذار انرژی به یک روند واقعی در جهان ما اشاره دارد که با گذار از مصرف سوخت‌های فسیلی و (عملا) تجدیدناپذیر، یعنی زغال‌سنگ، نفت، گاز طبیعی و مشتقات آنها برای تامین انرژی، اعم از مصرف مستقیم یا استفاده برای تولید الکتریسیته، به‌سوی سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، آبی و بادی تعریف می‌شود. این گذار، ابعاد گوناگونی دارد که تا بخش‌های مختلف سیاست‌گذاری امتداد پیدا می‌کند؛ کربن‌زدایی و گرمایش زمین، امنیت انرژی و توسعه پایدار از جمله مهم‌ترین ابعاد گذار انرژی هستند. این موارد در خلال گزارش به‌صورت گسترده موردبحث قرار خواهند گرفت، ولی به طور خلاصه از قرار زیر هستند.

۱) کربن‌زدایی: جهان ما در حال حاضر حدود ۱٫۵ درجه از دوران پیشاصنعتی گرم‌تر است[1] و ضمن اینکه همین میزان هم پیامدهای خود را به‌صورت پدیده‌های وخیم آب‌وهوایی مانند خشکسالی‌ها و سیل‌ها و توفان‌ها نشان داده است، اگر هرچه سریعتر این روند کند و سپس متوقف نشود، گرمایش زمین به سرعت به نقطه بدون بازگشت می رسد و زندگی بر روی زمین به لحاظ مخاطرات طبیعی بسیار دشوار می‌شود. گذار انرژی، مهم‌ترین راه حل برای این مشکل است.

[1] https://news.un.org/en/story/۱۱۴۵۴۵۷/۰۱/۲۰۲۴

۲) امنیت انرژی: توانایی تامین انرژی به شکلِ با ثبات و با قیمت در دسترس، یکی از مهم‌ترین کارویژه‌های دولت‌ها در دنیای امروز بوده و به لحاظ اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و حتی نظامی اهمیت بسیار بالایی دارد. انرژی‌های فسیلی به دلیل ماهیت خود و به‌ویژه برای کشورهایی که به واردات آن وابسته هستند، به لحاظ امنیت انرژی آسیب‌زا هستند. در مقابل، گذار انرژی با ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر که تمام جوامع از نوعی از آن بهره‌مند هستند و ماهیت وارداتی نیز ندارد، این مشکل را برطرف کرده است. ثبات قیمتی در انرژی‌های نو یک نکته مثبت دیگر به سود امنیت انرژی است.

۳) توسعه پایدار: این یکی دیگر از کلیدواژه‌های دنیای امروز است که به گذار انرژی مرتبط می‌شود. توسعه پایدار در حقیقت شکلی مسئولانه و سازگار با محیط‌زیست از توسعه اقتصادی است که طی آن به ابعاد زیست‌محیطی، انسانی و اخلاقی توجه بیشتری می‌شود. توسعه پایدار با آلایندگی، مصرف بی‌رویه منابع محدود، بی‌عدالتی و نابرابری مخالفت می‌کند و یک توسعه انسان مدار و سازگار با زیست بوم را تبلیغ می‌کند که سه رکن اصلی دارد: رشد اقتصادی، فراگیری اجتماعی و محافظت از محیط‌زیست.[۱] مشخص است که گذار انرژی، در سطوح مختلفی با توسعه پایدار مرتبط می‌شود: از یک سو انرژی‌های تجدیدپذیر، زیست‌بوم را بسیار کمتر از انرژی‌های فسیلی تخریب کرده و از منابع غیرقابل جایگزین آن استفاده می‌کنند و از سوی دیگر، امکان بیشتری را برای عدالت توزیعی در حوزه انرژی فراهم می‌کنند. همچنین، فقدان آلودگی هوا به معنای مرگ‌ومیر کمتر و زندگی سالم‌تر است.

گذار انرژی به دلایل بالا یک واقعیت گریزناپذیر دنیای معاصر است و با خود فرصت‌ها و البته چالش‌هایی را به همراه آورده است. از جمله این چالش‌ها، کاهش اهمیت انرژی‌های فسیلی است که به طور مشخص متوجه کشورهای تولیدکننده نفت و گاز و زغال‌سنگ می‌شود.[۲] بااین‌حال، فرصت‌هایی که گذار انرژی برای جوامع به وجود می‌آورد چشمگیر و بسیار فراتر از مضرات آن هستند. مهم‌ترین فایده آن این است که با همراهی با آن، گرمایش جهانی که یکی از مهم‌ترین تهدیدات علیه کل جامعه بشری است، کند می‌شود. همچنین، امکان توسعه پایدار، رفع ناترازی‌های انرژی با روش‌های مدرن و غیرمتمرکز و پاک، عمل به تعهدات بین‌المللی برابر با کنوانسیون‌های لازم‌الاجرا، بهبود امنیت انرژی در تمام سطوح و پیوستار[۳] بیشتر در جامعه بین‌المللی و بهره‌برداری از امکانات این پیوستار در حوزه‌های مختلفی چون فناوری، مدیریت، دیپلماسی و منابع مالی برای سرمایه‌گذاری در بخش انرژی، از این جمله هستند.[۴]

بخش دوم: گذار انرژی جهانی[۵]

[1] https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2023/08/what-is-sustainable-development/

[2] See: Siân Bradley (2020), Transparency in Transition: Climate Change, Energy Transition and the EITI, Chatham House, p. 4, https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2020-06-15-transparency-in-transition-eiti-bradley.pdf

[3] integration

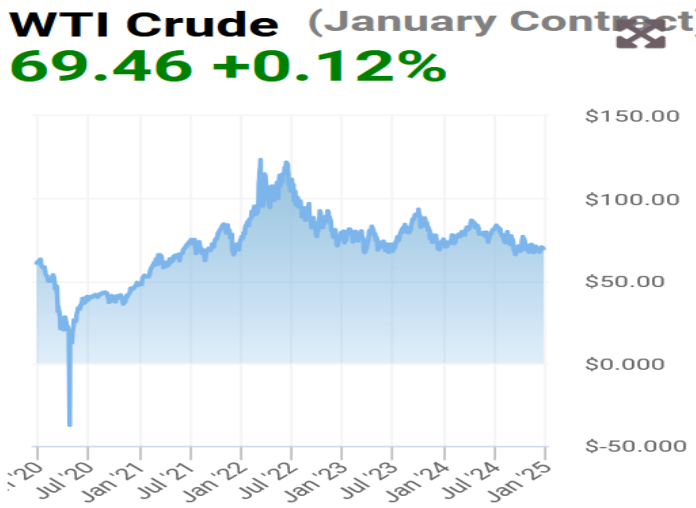
[4] EITI International Secretariat. 2021. "Preparing for the energy transition: Key questions for countries dependent on oil, gas and mining." Retrieved on 2 December from: https://eiti.org/sites/default/files/attachments/en_eiti_policy_brief_preparing_for_the_energy_transition.pdf

[5] https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary

درآمد

وضعیت بازار انرژی در سطح جهان در حال حاضر نسبت به سال‌های قبل کمی ثبات پیدا کرده است. بهای انرژی‌های فسیلی نسبت به قله آن در سال ۲۰۲۲ کاهش پیدا کرده است. با اینکه بحران اوکراین و نیز بحران غزه و ایران–اسرائیل همگی تاثیرهای منفی در بازار انرژی داشتند، هیچکدام به اندازه‌ای که در ابتدا تصور می‌رفت نه در امنیت انرژی و نه بهای انرژی موثر نبودند. در لحظهٔ نگارش این گزارش، همچنان هر دو بحران در جریان هستند و احتمال گسترش تنش‌ها نیز وجود دارد، ولی مولفه‌های کلان بازار انرژی‌های فسیلی، به طور مشخص نفت خام، نسبت به ماه آوریل ۲۰۲۴ همچنان نزولی است (تصویر پایین).[۱] روندها نسبت به تابستان ۲۰۲۲ و تابستان ۲۰۲۳ نیز نزولی هستند (سال‌های ابتدایی و اوج گیری بحران اوکراین و بحران غزه). از جمله نتایجی که می‌توان از این امر گرفت کاهش اثرپذیری بازار انرژی از ژئوپولتیک است.

تصویر ۶ – روند نزولی نسبی بهای نفت خام از ژوئیه ۲۰۲۲ تا ژانویه ۲۰۲۵ به رغم بحران‌های ژئوپولتیکی



منبع: oil price

در حال حاضر و درحالی‌که تورم جهانی بالا و شرایط اقتصاد جهانی تا حدی متزلزل است، دمای سطح کره زمین ۱٫۲ تا ۱٫۵ درجه گرم‌تر از دوران پیشاصنعتی بوده و این امر، نرخ موج‌های گرمایی و شرایط وخیم آب‌وهوایی را به شدت افزایش داده است. بااین‌حال، میزان گازهای گلخانه‌ای هنوز به قله خود نرسیده[۲] و همه اینها، باتوجه‌به تسلط انرژی‌های فسیلی در سبد مصرفی انرژی جهانی، به معنای این است که شرایط رو به وخامت دارد تا بهبود. بخش انرژی، همچنان بانی ۹۰ درصد از آلودگی هوایی است که جمعیت زمین مجبور به تنفس آن هستند؛ چیزی که سالیانه موجب بیش از ۶ میلیون مرگ‌ومیر پیش از موعد می‌شود. فرایند گسترش دسترسی به الکتریسیته و سوخت پاک برای پخت‌وپز نیز کند و در برخی کشورها اصولا متوقف شده است.[۳]

[1] https://oilprice.com/oil-price-charts/

[۲] نقطه‌ای که بعد از آن روند کاهشی می‌شود.

[3] https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary

بر خلاف این روندهای منفی و ناامیدکننده، بخش‌های دیگری از اقتصاد انرژی، مقدمات یک گذار مثبت و امیدبخش را به نمایش گذاشته است. این گذار با خودروهای الکتریکی[1] (EVs) و سلول‌های فوتوولتاییک خورشیدی[2] (PVs) میسر و مشخص شده است که در طول این گزارش به طور مفصل به آنها و نقش آنها در گذار انرژی پرداخته شده است.

سرمایه‌گذاری در انرژی پاک نسبت به سال ۲۰۲۰ چهل درصد افزایش پیدا کرده است که خود یک مولفه بسیار تعیین‌کننده به شمار می‌رود. در واقع، گسترش سریع استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر طی یک دهه گذشته سه رانه اصلی داشته است: تقویت امنیت انرژی، اهمیت آن برای کربن‌زدایی و بهبود وضعیت فناوری.

امنیت انرژی، به معنای تضمین تامین انرژی به اندازه تقاضای داخلی با قیمت در دسترس مصرف‌کنندگان، یکی از ارکان توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در بازه زمانی موردبحث بوده است. انرژی‌های تجدیدپذیر به هر میزان که در کشوری گسترش پیدا کنند، به همان اندازه معادل با خودکفایی و درون‌زایی عرضه انرژی برای آن کشور هستند و این امر به‌ویژه برای واردکنندگان سوخت یکی از مهم‌ترین مولفه‌های تامین‌کننده اهداف امنیت انرژی است.

تعهدات کربن‌زدایی دومین ستون گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر طی یک دهه اخیر هستند که به‌ویژه بعد از پیمان پاریس در ۲۰۱۶، دستورالعمل‌های روشنی به کشورها برای کاهش کربن تولیدی ارائه داد و این امر، تنها با جایگزینی انرژی‌های خورشیدی، بادی و دیگر انرژی‌های پاک با انرژی‌های فسیلی امکان پذیر است. در بخش‌های آینده، جزئیات این روند شرح داده خواهد شد.

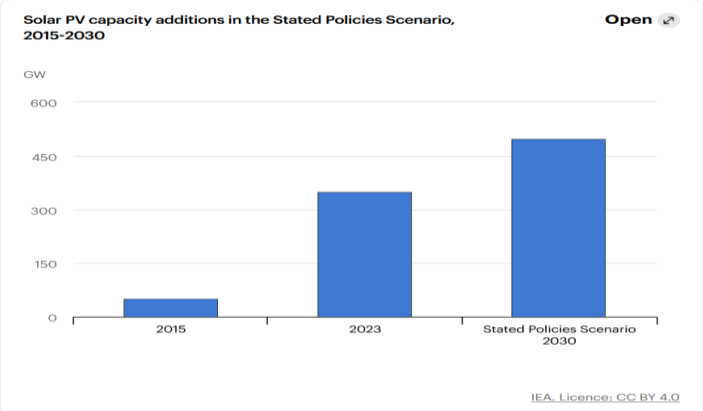
توسعه فناوری موتور محرکه اصلی گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است. باوجود سابقه و تاریخ طولانی برخی روش‌های استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر مانند خورشید و باد، به دلایل فناورانه این روش‌ها نمی‌توانسته به شکل موثری مورداستفاده روزمره بشر قرار بگیرد. این امر به‌ویژه در حوزه باتری‌های الکتریکی و سلول‌های جذب نور بیش از دیگر بخش‌ها اهمیت داشته است. به‌عنوان‌مثال، تولید خودروهایی با پیشران الکتریکی اصلا جدید نیست، اما سرعت و شتاب بالا و نیز زمان معقول حرکت با یک‌بار شارژ، امر بسیار جدیدی است. هرچند تمام فناوری‌های مرتبط با فناوری‌های نو به یک اندازه پیشرفت نکرده‌اند، همان‌گونه که گفته شد، در بخش توسعهٔ فناوری‌های انرژی، سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک و خودروهای الکتریکی (EVs & PVs) بار اصلی را بر دوش داشتند. به‌عنوان یک مثال، در سال ۲۰۲۰، از هر بیست و پنج خودرویی که در جهان فروخته شد، یک خودرو الکتریکی بود؛ در سال ۲۰۲۳ این عدد به یک خودروی الکتریکی در هر ۵ خودرو رسید که رشدی شگفت‌انگیز تنها طی سه سال را به نمایش می‌گذارد.[3]

در سال ۲۰۲۳، معادل ظرفیت ۵۰۰ گیگاوات، ژنراتورهای مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان به کار گرفته شده و معادل روزانه یک میلیارد دلار روی توسعه انرژی خورشیدی هزینه شده است. افزایش ظرفیت تولید اجزا کلیدی

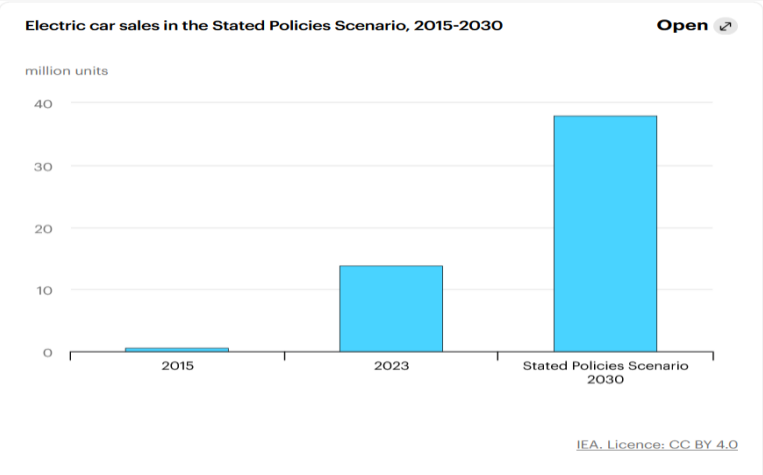
[1] Electric Vehicles
[2] Photovoltaic cells
[3] https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/executive-summary

انرژی‌های پاک، به‌ویژه سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک و باتری‌های خودروهای برقی با سرعت زیادی درحال‌توسعه است (تصاویر ۵ و ۶).[1]

تصویر ۷- ظرفیت افزوده سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک تا سال ۲۰۳۰ بر مبنای سناریوهای سیاست‌گذاری



تصویر ۸- فروش خودروهای الکتریکی تا سال ۲۰۳۰ بر مبنای سناریوهای اظهار شده در سیاست‌گذاری‌ها



۱)پیمان پاریس

موافقت‌نامه پاریس که در این گزارش به‌تناوب به آن ارجاع داده می‌شود، به طور خلاصه یک معاهده الزام‌آور بین‌المللی است که توسط ۱۹۶ کشور و نهاد طی کنفرانس تغییرات آب‌وهوایی سازمان ملل متحد در پاریس، فرانسه و در سال ۲۰۱۵ تایید و از سال ۲۰۱۶ اجرایی شد. موجزترین تعریف اهداف این موافقت نامه از این قرار است: «توقف افزایش دمای میانگین جهانی [در نقطه] کمتر از ۲ درجه بالاتر از سطح دوران پیشاانقلاب صنعتی» و تلاش برای «محدود

[1] Ibid

کردن افزایش دما به ۱٫۵ درجه بیشتر از سطح دوران پیشاصنعتی». پنل بینادولتی سازمان ملل بعدتر در کنفرانس این هدف‌گذاری را تا حدی تعدیل کرد و به جای دو درجه، ۱٫۵ درجه را آستانه مخاطره قرار داده و عبور از آن را موجب تشدید تغییرات وخیم آب‌وهوایی از جمله سیل و خشکسالی‌های شدید و متناوب، موج های شدید گرمایی و باران‌های سیل‌آسا دانست. برای محدود کردن گرمایش جهانی به ۱٫۵ درجه، لازم است تا پیش از سال ۲۰۲۵ آلاینده‌های گلخانه‌ای به قله خود برسند و نیز تا ۲۰۳۰، حداقل ۴۳ درصد کاهش پیدا کنند.

ساختار: مبنای عملکرد موافقت‌نامه پاریس، اصلاحات ساختاری اجتماعی و اقتصادی در بازه‌های زمانی ۵ساله است. از سال ۲۰۲۰، کشورها برنامه‌های ملی خود برای مقابله با تغییرات آب‌وهوایی، موسوم به NDCs[1] را ثبت می‌کنند و مبنای ارزیابی‌ها و برنامه‌ریزی‌های بازۀ زمانی پنج‌ساله بعدی معین می‌شود. هر بازه، از بازۀ قبلی معیارهای بالاتر و سخت‌گیرانه‌تری دارد. در همین راستا، موقعیت و تفاوت‌های کشورها تا حد زیادی در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌ها به رسمیت شناخته شده است؛ به‌عنوان‌مثال، هند که یکی از کلان‌ترین اهداف موافقت‌نامۀ پاریس است، به جای ۲۰۵۰ متعهد شده است تا سال ۲۰۷۰ به آلایندگی خالص صفر (Net Zero) برسد.

کشورها در NDCs اقدامات خود را برای کاهش گازهای گلخانه‌ای با دیگر کشورها به اشتراک می‌گذارند. از سوی دیگر برای مشخص‌شدن بهتر تلاش‌ها، موافقت‌نامه پاریس از کشورها می‌خواهد تا گزارش‌های دیگری موسوم به «توسعه استراتژی‌های بلندمدت آلودگی‌های گازهای گلخانه‌ای کمتر» [2] (LT-LEDS) را نیز برای ارائه یک افق بلندمدت از مجموع NDCs تنظیم و ارائه کنند. بر خلاف NDCs، گزارش‌های بلندمدت اجباری نیستند. کشورهای عضو پیمان علاوه بر اقدامات انفرادی، از سه راه مجموعه اعضا را به‌عنوان یک جامعه مشترک برای رسیدن به چشم‌انداز موردنظر، یاری می‌کنند: مالی، فنی، ظرفیت‌سازی. موافقت‌نامه پاریس چارچوبی برای پشتیبانی در این حوزه‌ها ارائه می‌کند تا بازیگرانی که به آن نیاز دارند، از توانایی‌های دیگر اعضا استفاده کنند. برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، کشورها نیازمند سرمایه‌گذاری گسترده در پروژه‌های کلان هستند و کشورهای توسعه‌یافته، نقش مهمی در فراهم‌کردن کمک‌های مالی به کشورهای دیگر ایفا می‌کنند. همچنین، «سازوکار فناوری»[3] موافقت‌نامه پاریس به شکل مشابهی فناوری‌های لازم را برای پروژه‌های موردنیاز کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش تولید کربن جهت استفاده کشورهای کمتر توسعه‌یافته فراهم می‌کند. ظرفیت‌سازی نیز به شکل مشابهی با کمک کشورهای پیشرفته‌تر، به کشورهای درحال‌توسعه انتقال پیدا می‌کند. پیمان پاریس همچنین یک چارچوب گسترش شفافیت (ETF) دارد که اعضا در قالب آن اقدامات و دستاوردهای خود را با بقیه به اشتراک می‌گذارند. توصیه‌های پیمان پاریس به کشورها بر اساس همین گزارش‌ها تهیه می‌شود.

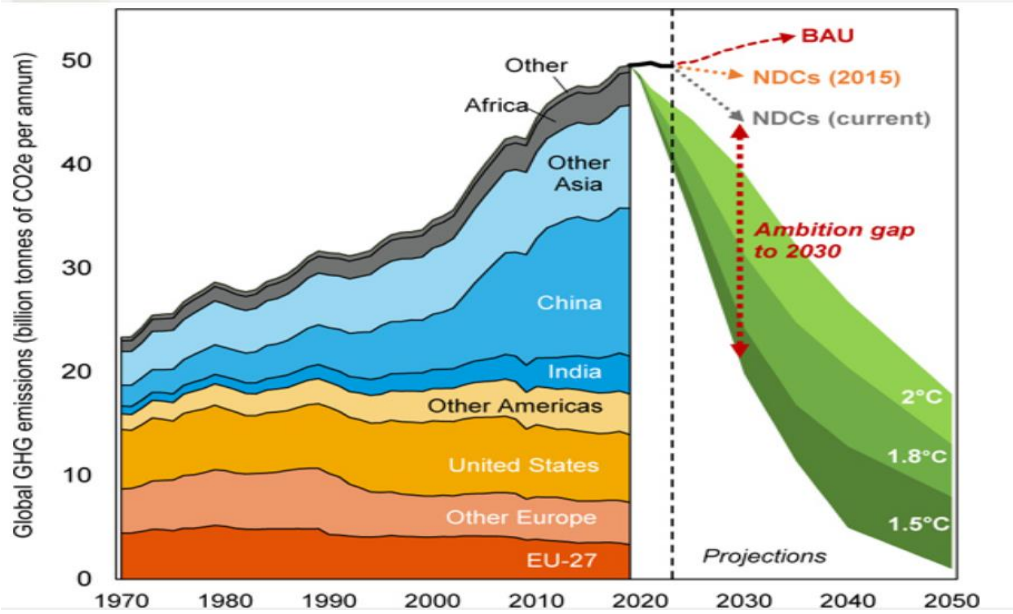
در نتیجه اقدامات کشورها در موافقت‌نامه پاریس، راه‌حل‌های کربن – صفر[4] در تمام بخش‌های اقتصادی رواج یافته و به رقابت‌پذیری دست پیدا کرده است. این روند، در بخش الکتریسیته و حمل‌ونقل بیش از دیگر بخش‌ها قابل‌مشاهده

[1] Nationally Determined Contributions
[2] Long-term low greenhouse gas emission development strategies
[3] Technology Mechanism
[4] فعالیت‌های اقتصادی که هیچ‌گونه کربنی وارد جو نمی‌کنند.

است و پیش‌گامان این حوزه‌ها، فرصت‌های شغلی و اقتصادی بیشتری به دست آورده‌اند. شرکت‌ها سال‌به‌سال دستاوردهای بیشتری در نزدیک‌شدن به اهداف کربن‌زدایی کسب می‌کنند. در حال حاضر، کربن‌زدایی در ۲۵ درصد بخش‌های اقتصادی محقق شده و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰، رقابت‌پذیری برای کسب‌وکارها و فعالیت های سازگار با کربن‌زدایی به ۷۵ درصد بخش‌های اقتصادی سرایت پیدا کند.[1]

باوجود اقدامات مثبت کشورها، همچنان گسل‌های بزرگی میان اهداف کربن‌زدایی پیمان پاریس و NDCs کشورها وجود دارد. بنابر ارزیابی صندوق بین‌المللی پول، درحالی‌که لازم است کشورها تا سال ۲۰۳۰ تولید کربن خود را ۲۵ تا ۵۰ درصد نسبت به سال ۲۰۱۹ کاهش دهند، در حال حاضر این کاهش فقط ۱۱ درصد است. نقشه پایین (تصویر ۹) سهم کشورها و مناطق از تولیدکربن و وضعیت تولید کربن و دما در سناریوهای وضعی موجود (BAU) و سناریوی پیشرفت NDCs مصوب ۲۰۱۵ و نیز NDCs فعالی به نمایش می‌گذارد. سهم بالای چین به طور مشخص، سهم بالای ایالات‌متحده، اروپا و هند در مقایسه با دیگر کشورها و مناطق در این تصویر مشخص است. چین به‌تنهایی بیش از مجموع هند و بقیه آسیا کربن تولید می‌کند و اتحادیه اروپا، به رغم تمام پیشرفت‌ها در انرژی‌های تجدیدپذیر، همچنان بیش از آفریقا کربن تولید می‌کند.[2]

تصویر ۹– سهم کشورها و مناطق از تولید کربن بر مبنای سناریوهای گوناگون



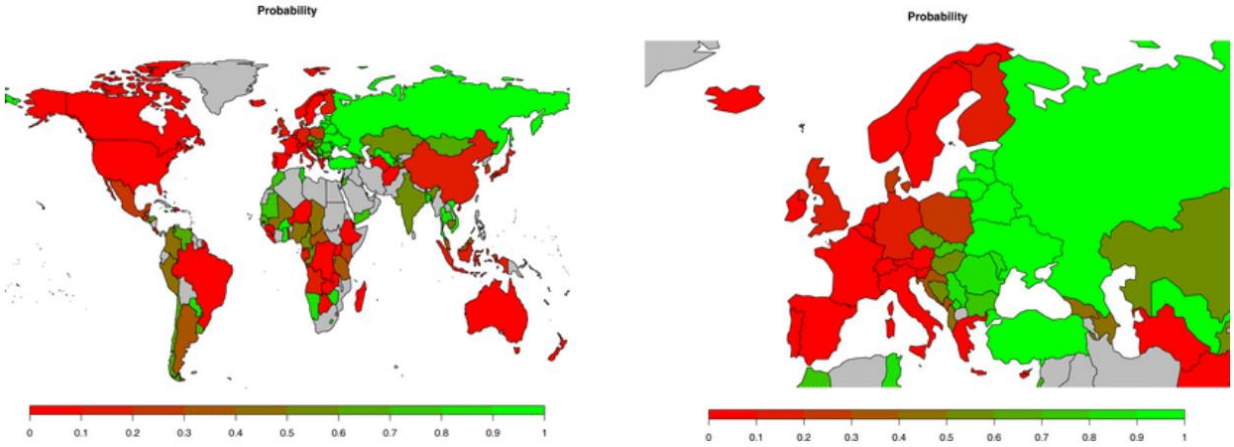
منبع: IMF

تصویر شماره ۱۰ نیز که نتیجه یک پژوهش دانشگاهی است، احتمال دستیابی کشورهای جهان (سمت چپ) و کشورهای اروپایی به تفکیک (سمت راست) به اهداف خود در کربن‌زدایی تا سال ۲۰۳۰ بر مبنای NDCs را نشان می‌دهد. هرچه رنگ کشور در این نقشه به قرمز نزدیک‌تر باشد، احتمال دستیابی به تعهدات کمتر و هرچه به سبز

[1] UNFCCC
[2] https://www.elibrary.imf.org/view/journals/066/2023/002/article-A001-en.xml#

نزدیک‌تر باشد، احتمال آن بیشتر است. همان‌گونه که مشخص است، به جز روسیه، اروپای شرقی، ترکیه، تاجیکستان و برخی کشورهای کوچک دیگر در آفریقا و آمریکای لاتین، بقیه کشورها شانس متوسط و کمی برای رسیدن به اهداف اعلامی دارند و به جز هند که شانس متوسطی دارد، دیگر آلاینده‌های بزرگ از قبیل ایالات‌متحده، چین، برزیل، و اروپای غربی شانسی نزدیک به صفر دارند. نبود داده و عدم عضویت باعث شده تا ایران و بیشتر کشورهای خاورمیانه در این نقشه به رنگ خاکستری نمایش داده شوند.

تصویر ۱۰- شانس دستیابی کشورها به تعهدات خود در موافقت‌نامه پاریس



۲)خودروهای الکتریکی (EVs)، پیشران بخش حمل‌ونقل در گذار انرژی

پیش‌تر اشاره شد که یکی از ستون‌های اصلی و موفق‌ترین بخش‌ها هم در گذار انرژی و هم در کربن‌زدایی، خودروهای الکتریکی هستند. فروش خودروهای الکتریکی در سال ۲۰۲۳ رشد چشمگیری را تجربه کرد و در سرتاسر جهان به ۱۴ میلیون خودرو رسید، درحالی‌که کل خودروهای فروخته شده در این سال حدود ۷۵ میلیون خودرو بوده است. به‌این‌ترتیب، فروش خودروهای الکتریکی به ۱۸ درصد رسیده است و این در حالیست که تنها سه سال قبل، این میزان ۴ درصد بود. انتظار می‌رود فروش در سال ۲۰۲۴ به ۱۷ میلیون برسد که به معنای رشد سالانه ۲۰ درصدی فروش خودروهای برقی در بازه زمانی بحث شده است. با همین نرخ رشد، در سال ۲۰۳۰ فعالیت خودروهای برقی جهان به معنای صرفه‌جویی روزانه ۶ میلیون بشکه نفت خواهد بود. به همین دلیل است که خودروهای برقی کلید فناوری سبز در جریان گذار انرژی به شمار می‌روند و این امکان را فراهم می‌کنند تا کربن‌زدایی بخش حمل‌ونقل را که حدود ۱۵ درصد از آلایندگی های مرتبط با کربن جهان را ایجاد می‌کنند، محقق نمایند. بهبود عملکرد و دامنهٔ حرکتی و توان باتری‌های این خودروها، از مهم‌ترین عوامل رشد شگفت‌انگیز آنها طی سال‌های اخیر بوده و اگر رشد فعلی تداوم پیدا کند، بخش حمل‌ونقل به خوبی می‌تواند به اهداف قله ۲۰۳۰ و آلایندگی خالص صفر ۲۰۵۰ برسد. بااین‌حال، این رشد هنوز موانع ساختاری عمده‌ای را در پیش روی خود می‌بیند که از جمله می‌توان به ضعف ایستگاه‌های شارژ و نیز بهای تمام شده بالای آنها اشاره کرد. چین، اروپا و ایالات‌متحده کماکان بازیگران اصلی

این حوزه باقی خواهند ماند. افزایش سرمایه‌گذاری در این حوزه و به‌ویژه مشارکت داوطلبانه بخش خصوصی باتوجه‌به سودآوری این بخش، توسعه و پیشرفت فناوری‌ها به‌ویژه در حوزهٔ باتری‌های الکتریکی که هنوز تنها حلقهٔ ضعیف خودروهای الکتریکی است و بالاخره؛ پشتیبانی سیاست‌های دولتی در بسیاری از نقاط جهان، رانه‌های اصلی گسترش خودروهای الکتریکی هستند.[۱]

بااین‌حال برخی از کارشناسان در مورد اهمیت نقش این خودروها در آینده تردیدهایی دارند. یکی از نقاط تردید این است که سیاست‌گذاری‌های نهادهای درگیر چندان عملیاتی به نظر نمی‌رسد. به‌عنوان‌مثال، آژانس حمایت از محیط‌زیست پیشنهاد داده تا دو سوم خودروهای جدیدی که در ۲۰۳۵ به فروش می‌روند، الکتریکی باشند، درحالی‌که سهم فعلی EVs از بازار آمریکا تنها ۷٫۶ درصد است. کانادا، اتحادیه اروپا و بریتانیا نیز برنامه دارند تا سال ۲۰۳۵ تمام خودروهای مسافربری کشور الکتریکی باشند. مسئله دیگر مشکلات فناورانه و زیرساختی است، که همان‌گونه که اشاره شد، در عین دستاوردهای شگرف هنوز محل اشکال هستند و زیرساخت‌های شارژ و دامنه حرکتی پایین در راس این اشکالات هستند. همچنین، امکان سازگاری صنایع در بخش‌های مختلف زنجیره تولید و تامین خودروهای احتراقی در این زمان کوتاه، یکی دیگر از نقاط تردید در این برنامه‌های جاه‌طلبانه جدید است.[۲]

۳) سلول‌های خورشیدی (PVs)، معجزه برق‌رسانی و کربن‌زدایی در گذار انرژی

نیروگاه‌های خورشیدی نامتصل به شبکه یکی از ارزان‌ترین و رایج‌ترین راه‌حل‌ها برای گسترش دسترسی به انرژی الکتریسیته است. طبق گزارش بانک جهانی، در سال ۲۰۲۳، ۵۶۱ میلیون نفر از طریق این نیروگاه‌ها به انرژی الکتریسیته دسترسی داشتند و این نیروگاه‌های خانگی خورشیدی تولید انرژی الکتریسیته، ۵۵ درصد از دسترسی‌های جدید به برق در آفریقای جنوب صحرا که یکی از محدودترین دسترسی‌ها را به انرژی الکتریسیته در سطح جهان داشته، فراهم کرده است. این نیروگاه‌ها، می‌توانند به‌عنوان ارزان‌ترین راه‌حل برای دسترسی ۳۹۸ میلیون نفر جدید به انرژی الکتریسیته تا سال ۲۰۳۰ را فراهم کنند که تقریبا معادل با افزایش جمعیت جهانی تا این سال است. [۳]

بنابراین، انرژی برق خورشیدی پتانسیل این را دارد که حداقل دو مورد از دغدغه‌های مورد اشاره در کلان‌روند جهانی انرژی، یعنی گرمایش زمین و افزایش جمعیت را به شکل موثری برطرف نماید. درحالی‌که یکی از چالش‌های این منبع انرژی دستیابی به سرمایه‌گذاری و تامین مالی در سطح خرد است، در سطح کلان سازمان‌های بین‌المللی بودجه‌های چشمگیری برای سرمایه‌گذاری در این بخش اختصاص داده‌اند و از جمله بانک جهانی در سال ۲۰۲۴ به میزان ۶۶۰ میلیون دلار برای این منظور تامین مالی کرده است. بخش عمده این وام‌ها در قالب طرح ۳۰۰ به کشورهای آفریقایی اختصاص داده شد. [۴]

---

[1] https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles

[2] World Economic Forum

[3] Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Off-Grid Solar Market Trends Report 2024: Outlook (English). Washington, D.C. : World Bank Group. P.13. Retrieved on 2 December 2024 from: https://www.esmap.org/Off-Grid_Solar_Market_Trends_Report_۲۰۲۴

[4] Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Off-Grid Solar Market Trends Report 2024: Outlook (English). Washington, D.C. : World Bank Group. P.15. Retrieved on 2 December 2024 from: https://www.esmap.org/Off-Grid_Solar_Market_Trends_Report_۲۰۲۴

نکته مهم این است که تنها در کسب‌وکارها در سطح جهان، جایگزینی ژنراتورهای دیزلی با نیروگاه‌های خورشیدی نامتصل به شبکه موجب صرفه‌جویی بین ۶,۳ تا ۱۲,۵ میلیارد دلار در هزینه‌های سالیانه سوخت و نیز کاهش ورود ۸,۳ تا ۱۶,۶ میلیون تن دی‌اکسیدکربن به جو می‌شود. در مورد مدارس و مراکز بهداشتی، تخمین‌ها حاکی از آن است که با استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی نامتصل به ترتیب ۱۰ هزار دلار و ۳۰ هزار دلار در سال در هزینه‌های سوخت به‌ازای هر مدرسه یا مرکز بهداشتی صرفه‌جویی و ۰,۹ میلیون مترمکعب میزان تولید دی‌اکسیدکربن کاهش می‌یابد. [۱]

بر مبنای گزارش سالیانه SDG7 نیز شیوه‌های غیرمتمرکز تولید الکتریسیته که همگی در چارچوب انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و بادی دسته‌بندی می‌شوند، تنها امکان گسترش دسترسی به الکتریسیته به میزان اهداف تعیین شده در این گزارش هستند. این شیوه‌ها امکان این را دارند که با سرمایه‌گذاری کمتر و زیرساخت‌های محدودتر، برای گروه بزرگ‌تری از مردم، به‌ویژه کسانی که در مناطق کوهستانی یا بیابانی دور از دسترسی زندگی می‌کنند، دسترسی به الکتریسیته آن هم با استفاده از روش‌های پاک را فراهم آورند. بر مبنای تخمین آژانس بین‌المللی انرژی، تنها در سال ۲۰۲۲ میزان ۲,۵ میلیون خانوار با استفاده از سیستم‌های خورشیدی خانگی خارج از شبکه به الکتریسیته دسترسی پیدا کردند. بانک جهانی تخمین زده است که در همین سال تنها چراغ‌های مبتنی بر سیستم‌های خورشیدی خارج از شبکه به ۴۹۰ میلیون نفر روشنایی رسانده‌اند. همچنین، بر مبنای محاسبات همین نهاد، حدود ۴۷ میلیون نفر از ۱۹۰۰۰ نیروگاه کوچک در سطح جهان برق دریافت کرده‌اند.[۲] این راه‌حل‌های غیرمتمرکز برای دسترسی به الکتریسیته پاک و خانگی یا در مقیاس کوچک، جایگزین‌های ارزان‌قیمتی برای سیستم‌های متمرکز هستند که زیرساخت‌های زیادی نیاز دارند و به شکل گسترده و روزافزونی در جهان در حال به کارگیری هستند. امتیازهای تولید برق خورشیدی غیرمتمرکز و غیرمتصل به شبکه از قرار زیر است:

–برای وضعیت‌های جغرافیایی پیچیده و دشوار و دور از دسترس بسیار مناسب‌اند.

–سرمایه اولیه پایین‌تری نیاز دارند.

–مناسب برای سرزمین‌های با تراکم جمعیتی اندک که تقاضا کم و بنابراین، ناسازگار با منطق اقتصادی پروژه‌های بزرگ هستند.

– هزینه‌ها و پیچیدگی‌های فنی نگهداری و پشتیبانی از شبکه توزیع را ندارند.

– سرعت بهره‌برداری در آنها بسیار بالا است.

–بخش خصوصی و سرمایه‌های خرد امکان مشارکت بیشتری در آنها دارند.

[1] Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP). Off-Grid Solar Market Trends Report 2024: Outlook (English). Washington, D.C. : World Bank Group. P.16. Retrieved on 2 December 2024 from: https://www.esmap.org/Off-Grid_Solar_Market_Trends_Report_۲۰۲۴

[2] WorldBank, IEA, IRENA, UNStats, & WHO. (2024). Tracking SDG7: The progress Report. P.11. https://www.esmap.org/Tracking_SDG۷_The_Progress_Report_۲۰۲۴

۴) گذار انرژی جهانی: عبور از کربن[۱]

روند کلی گذار انرژی در سطح جهان طی یک دهه اخیر بیانگر این است که با یک شیب ملایم ولی چشمگیر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر می‌شود و از مصرف انرژی‌های فسیلی کاسته می‌شود. در این مسیر به طور مشخص، برای تولید الکتریسیته که به طور روزافزونی به‌عنوان منبع کلیدی انرژی جوامع بشری موردتوجه قرار می‌گیرد، سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک جایگزین می‌شود. بر اساس گزارش بانک جهانی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در مصرف نهایی انرژی در سطح جهان از ۱۶,۷ درصد در سال ۲۰۱۵ به ۱۸,۷ درصد در سال ۲۰۲۱ رسیده است که یک افزایش دو درصدی را نشان می‌دهد. همچنین، شاخص شدت انرژی[۲] نیز کاهش یافته و از ۶,۴ میلیون ژول بر دلار در سال ۲۰۱۵ به ۴,۶ میلیون ژول بر دلار در سال ۲۰۲۱ رسیده است که این امر نیز به معنای افزایش کارایی انرژی است. یک شاخص بسیار مهم در این حوزه که روندهای کلی را بیش از شاخص‌های گذشته هم به نمایش می‌گذارد، مقدار ظرفیت ژنراتورهای برقی نصب شده‌ای است که با انرژی‌های تجدیدپذیر کار می‌کنند. طی تنها هفت سال، یعنی از ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۲، میزان این شاخص نزدیک به دو برابر شده و از سرانه ۲۵۰ وات به سرانه ۴۲۵ وات رسیده است. [۳]

بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، ۴۸ کشور به دسترسی صد درصد به الکتریسیته دست یافته‌اند، ولی همان‌گونه که اشاره شد، این میزان گسترش در همه نقاط جهان به یک اندازه نبوده است. بیشترین رشد دسترسی بین ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۲ در آسیای مرکزی و جنوب آسیا مشاهده شده است، جایی که سالیانه به طور میانگین ۴۰,۱ میلیون دسترسی جدید ایجاد شده است و این تقریبا دو برابر افزایش جمعیت در این مناطق است. در آفریقای جنوب صحرا، یکی دیگر از نقاط با دسترسی پایین، میزان دسترسی جدید تقریبا به اندازه رشد جمعیت بوده است و این منطقه همچنان یکی از نقاط با کسری انرژی الکتریسیته بالا در جهان است. در آمریکای لاتین نیز ۱۸ کشور در بازه زمانی یاد شده به دسترسی همگانی به الکتریسیته نایل آمدند. گسترش دسترسی به الکتریسیته همچنین در نقاط روستایی و شهری به یک اندازه نبوده است. در نقاط شهری، دسترسی جهانی به الکتریسیته از ۹۶ درصد در سال ۲۰۱۰ به ۹۸ درصد در سال ۲۰۲۲ رسید که از رشد جمعیت در این نقاط بیشتر بوده است. چالش اصلی در رسیدن به دسترسی ۱۰۰ درصد در این نقاط به دلیل اقامتگاه‌های پیرامونی غیررسمی در اطراف نقاط شهری است که به دلیل محدودیت های قانونی و زیرساختی، دسترسی کمتری به الکتریسیته دارند. در مقابل، کمبود دسترسی در نقاط روستایی از ۸۸۶ میلیون در سال ۲۰۱۰ به ۵۶۲ میلیون در سال ۲۰۲۲ رسید که بیشترین بهبود در آسیای مرکزی و جنوبی و بدترین

---

[۱] مبنای اصلی این قسمت، گزارش سالیانه گروه توسعهٔ پایدار انرژی سال ۲۰۲۴ است. گزارش سالیانهٔ گروه توسعه پایدار انرژی، وابسته به برنامه توسعه پایدار ۲۰۳۰ یکی از معتبرترین و مهم‌ترین گزارش های روندشناسی سالیانه در حوزه انرژی است که از سال ۲۰۱۸ به صورت مشترک توسط پنج نهاد معتبر بین‌المللی شامل آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA)، شاخهٔ آمار سازمان ملل (UNSD)، بانک جهانی و سازمان بهداشت جهانی (WHO) تهیه می‌شود.

[2] Energy Intensity که به معنای میزان واحد انرژی مصرف شده برای یک واحد تولید ناخالص داخلی است

[3] WorldBank, IEA, IRENA, UNStats, & WHO. (2024). Tracking SDG7:The progress Report. P.10. https://www.esmap.org/Tracking_SDG۷_The_Progress_Report_۲۰۲۴

وضعیت نیز در آفریقای جنوب صحرا بود که کسری دسترسی در آن از ۳۷۶ میلیون در واقع به ۴۷۳ میلیون افزایش پیدا کرد. [۱]

انرژی‌های تجدیدپذیر

در سال ۲۰۲۱ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از مصرف کل نهایی انرژی [۲] ۱۸,۷ درصد بود که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن [۳] تنها ۱۲,۵ درصد بود. هرچند این درصد بسیار اندک بوده و در واقع با اهداف و تعهدات پذیرفته شده در معاهدات و برنامه‌های آب‌وهوایی سازگار نیست، بااین‌حال یک نکته مثبت، رشد ۳۰ درصدی سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن از مصرف کل نهایی انرژی طی بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ است که منابع نوظهور تولید الکتریسیته از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه در روش‌های غیرمتمرکز، سهم اصلی را از این افزایش چشمگیر داشته اند.

روندها در بخش‌ها

برای حفظ هدف‌گذاری‌های تعیین شده در برنامه‌های کاهش گرمایش جهانی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سه بخش اصلی الکتریسیته، گرمایشی و حمل‌ونقل باید شتاب پیدا کند. الکتریسیته حاصل از منابع تجدیدپذیر یک‌سوم مصرف جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر و نیمی از منابع مدرن انرژی تجدیدپذیر را تامین می‌کند. در کل، استفاده از الکتریسیتهٔ حاصل از منابع تجدیدپذیر بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ تقریبا پنجاه درصد رشد داشته است که عمدتا وامدار توسعه استفاده از نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فوتوولتائیک (PV) بوده است. این افزایش، سهم الکتریسیته حاصل از منابع تجدیدپذیر از کل مصرف الکتریسیته را بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ پنج درصد افزایش داده و از ۲۳ درصد به ۲۸,۲ درصد رسانده است. در حوزهٔ گرمایشی، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۱ عبارت از ۲۳,۵ درصد بود، اما تقریبا نیمی از این مقدار حاصل سوخت‌های زیستی سنتی [۴] عمدتا در آفریقا و آسیا بوده است. در این دو بخش، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن در مجموع تنها ۱۰,۴ درصد از کل مصرف بوده است. بخش سوم، یعنی حمل‌ونقل، شاهد افزایش ۰,۹ درصدی بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ بوده‌ایم (از ۳,۵ به ۴,۴ درصد) که این افزایش نیز عمدتا مرهون گسترش استفاده از سوخت‌های زیستی مدرن [۵] است. بااین‌حال، گسترش استفاده از وسایل نقلیه الکتریکی سهم چشمگیری از این رشد دارد که در این بخش، استفاده از الکتریسیته حاصل از منابع تجدیدپذیر ۳۴ درصد رشد داشت (تقریبا یک پنجم رشد در سهم تجدیدپذیرها از کل مصرف انرژی حوزه حمل‌ونقل). [۶]

---

[۱] WorldBank, IEA, IRENA, UNStats, & WHO. (2024). Tracking SDG7:The progress Report. P.11. https://www.esmap.org/Tracking_SDG۷_The_Progress_Report_۲۰۲۴

[2] Total Final Energy Consumption TFEC

[۳] انرژی‌های تجدید پذیر منهای سوخت های زیستی.

[۴] Bio mass چوب، فضولات و مانند آن

[۵] Bio fuel اتانول و بیودیزل تولید شده از ضایعات گیاهی

[6] WorldBank, IEA, IRENA, UNStats, & WHO. (2024). Tracking SDG7:The progress Report. P.13. https://www.esmap.org/Tracking_SDG۷_The_Progress_Report_۲۰۲۴

توزیع جغرافیایی روندها

گسترش بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق مختلف بسته به وجود منابع، حمایت سیاست‌گذارانه، الگوهای مصرف و کارآمدی انرژی متفاوت بوده است. آمریکای لاتین و حوزه کارائیب بیشترین سهم مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر مدرن از مصرف کل نهایی انرژی در سطح جهان را با ۲۸ درصد در سال ۲۰۲۱ به نمایش گذاشته است. سه رکن اصلی این موفقیت از این قرار است:

۱)استفاده از انرژی‌های زیستی (Bio Energy) برای فرایندهای صنعتی؛
۲)استفاده از سوخت‌های زیستی مدرن (Bio Fuel) برای حمل‌ونقل؛
۳)استفاده گسترده از منابع الکتریسیته برق آبی (به دلیل ویژگی های جغرافیایی)

در میان کشورها، بریتانیا و اندونزی بیشترین رشد را در استفاده از منابع تجدیدپذیر مدرن به ترتیب با ۹ و ۷ درصد رشد به نمایش گذاشتند و به دنبال آنها، کشورهای چین، هند و آلمان با فاصلهٔ اندک و درصد رشد بین ۶ تا ۷ درصد قرار می‌گیرند.[۱]

در جلسه موسوم به اجماع امارات متحدهٔ عربی[۲]، ۲۳۰ کشور توافق کردند تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان را سه برابر کنند. این توافق نامه در قالب برنامه‌ها و هدف‌گذاری‌های ملی و بین‌المللی بازتاب یافته و با برنامه‌های سیاست گذارانه موثر مورد پشتیبانی قرار گرفته است. بااین‌حال، بسیاری از کشورهای داخل و خارج از این توافق که عمدتا کشورهای درحال‌توسعه هستند، از منابع مالی و ظرفیت های فناورانه لازم برای این هدف‌گذاری‌ها برخوردار نیستند و پیشبرد این اجتماع در سطح مورد انتظار، نیاز به همراهی بین‌المللی دارد.[۳]

کارآمدی و بهینه‌سازی انرژی

تلاش‌های جهانی برای کاهش کربن و مقابله با گرمایش جهانی در حوزه انرژی تنها وابسته به بهبود شاخص‌های بهره‌برداری از منابع تجدیدپذیر نیست. یکی از بخش‌های مهم روند جهانی انرژی در سال‌های پیش رو، مربوط به حوزه بهینه‌سازی و کارآمدی انرژی است. هدف‌گذاری برنامه SDG7.3 برای این بخش، دوبرابر کردن نرخ کارآمدی انرژی در سطح جهان و رسیدن به نرخ بهبود در شدت انرژی سالیانه ۲٫۶ درصد بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ (دوبرابر نرخ دو دهه قبل از آن) است. بااین‌حال، به دلیل اینکه در تمام سال‌های دهه اول به جز ۲۰۱۵، نرخ رشد کمتر از میزان مورد توافق بوده است، در دهه دوم و سال‌های باقی‌مانده تا مهلت ۲۰۳۰ باید این برنامه با سرعت بیشتری، یعنی سالیانه ۳٫۸ درصد به‌پیش برود تا با پیش‌بینی‌ها و هدف‌گذاری‌های COP28 و سیاست آلایندگی خالص صفر ۲۰۵۰ آژانس بین‌المللی انرژی سازگار باشد.

---

[1] Ibid.
[2] UAE Consensus or COP28 Dubai
[3] WorldBank, IEA, IRENA, UNStats, & WHO. (2024). Tracking SDG7:The progress Report. P.13. https://www.esmap.org/Tracking_SDG۷_The_Progress_Report_۲۰۲۴

روندهای منطقه‌ای کارآمدی انرژی در دوران پساکرونا سرنوشت ناهمگونی را به نمایش می‌گذارد. باوجود افزایش مصرف انرژی در این دوران، همه مناطق بهبود در شاخص شدت انرژی را تجربه کرده‌اند که در این میان، منطقه اقیانوسیه با نرخ شگفت‌انگیز ۷ درصد، شاخص شدت انرژی خود را بهبود بخشید، درحالی‌که اروپا و آمریکای شمالی با رشد اندک ۰,۲ درصد، چشم‌انداز ناامیدکننده‌ای به نمایش گذاشتند. بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ تعداد ۱۴ کشور از ۲۰ کشور عمده تامین‌کننده انرژی، بهبود شدت انرژی را تجربه کرده‌اند ولی تنها سه کشور، یعنی چین، بریتانیا و اندونزی از ۲,۶ درصد هدف‌گذاری فراتر رفتند. این مجموعه تا قبل از سال ۲۰۲۱ کشورهای ژاپن و آلمان را نیز در بر می‌گرفت. شش کشور، شامل مکزیک، فرانسه، اندونزی، ژاپن، ترکیه و ایتالیا شدت انرژی خود را در فاصله سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ دو برابر میزان آن حدفاصل ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ بهبود بخشیدند. این نکته بسیار مهمی است که نشان می‌دهد کشورهایی با این گوناگونی درآمدی و توسعه یافتگی امکان رسیدن به پیشرفت های چشمگیر در حوزه کارآمدی انرژی را دارند.[1]

در مجموع، روند کلی اهداف برنامهٔ SDG7 در بخش‌های مرور شده به‌قرار زیر است: (بخش‌های سرمایه‌گذاری و سوخت پاک برای آشپزی از این مجموعه کنار گذاشته شده است)

-گسترش دستیابی به الکتریسیته بین سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ با اختلال مواجه شده است و داده‌های اولیه از سال ۲۰۲۳ توسط آژانس بین‌المللی انرژی حاکی از آن است که شمار افرادی که در سطح جهان دسترسی به الکتریسیته دارند به یک روند نزولی بازگشته است. حتی تا سال ۲۰۳۰ هم هنوز ۶۶۰ میلیون نفر به الکتریسیته دسترسی نخواهند داشت که ۸۵ درصد آنها در آفریقای جنوب صحرا زندگی می‌کنند.

-انتظار می‌رود گسترش چشمگیر الکتریسیته تولید شده از منابع تجدیدپذیر ادامه پیدا کند و تا سال ۲۰۲۵، طبق روند فعلی، تجدیدپذیرها فراتر از زغال‌سنگ به مهم‌ترین منبع تولید انرژی در سطح جهان تبدیل شوند. در اجماع امارات، ۱۳۰ کشور متعهد شدند که میزان ظرفیت برق تجدیدپذیر در سطح جهان را در سال ۲۰۳۰ به میزان سه برابر سال ۲۰۲۲ برسانند. آژانس بین‌المللی انرژی تخمین زده است که حتی با روند فعلی هم این هدف‌گذاری تا ۸۰ درصد تامین خواهد شد. بااین‌حال، آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر درخواست فشار بیشتر برای پر کردن بخش آخر این فاصله را کرده و پیش‌بینی نموده است رسیدن به ۱۰۰ درصد هدف‌گذاری با همکاری‌های بین‌المللی و پشتیبانی مالی امکان پذیر است. برای رسیدن به هدف آلایندگی خالص صفر ۲۰۵۰ آژانس بین‌المللی انرژی و هدف ۱,۵ درجه آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی‌های مدرن تجدیدپذیر بایستی به میزان ۳۲ تا ۳۵ درصد کل انرژی نهایی مصرفی را در بر بگیرد. این در حالی است که با ادامه روند فعلی، این میزان تنها ۲۳ درصد خواهد بود.

- فشار جهانی برای بهبود کارآمدی انرژی به یک نقطه عطف رسیده است که ناشی از افزایش هزینه‌های انرژی و دغدغه‌های مرتبط با امنیت انرژی است. بااین‌حال، تخمین سال ۲۰۲۳ بیانگر این است که تنها ۱,۳ درصد بهبود

[1] WorldBank, IEA, IRENA, UNStats, & WHO. (2024). Tracking SDG7:The progress Report. P.14. https://www.esmap.org/Tracking_SDG۷_The_Progress_Report_۲۰۲۴

شاخص شدت انرژی حاصل شده است و این، تا هدف‌گذاری نرخ سالیانه ۳٫۸ برنامه SDG7 فاصله زیادی دارد. دو برابر کردن این نرخ نیازمند سرمایه‌گذاری چشمگیر و سیاست‌گذاری جاه‌طلبانه‌تری است.[۱]

مهم‌ترین روند کلی در حوزه انرژی در مورد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید الکتریسیته است. یک آمار از دهه نود بیانگر افت‌وخیز زیاد در این حوزه است که تا میانه دهه ۲۰۱۰، در بهترین حالت می‌توان روند جهانی در این حوزه را شکننده توصیف کرد. به بیان دیگر، جایگاه انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان یک روند پر فراز و نشیب را طی کرده است و بر خلاف تصور، همیشه رو به رشد نبوده است. در واقعیت، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از تولید الکتریسیته در سال ۲۰۱۰ (۱۹٫۵۶ درصد) تازه به سطح سال ۱۹۹۰ (۱۹٫۳۶) رسید و طی سال‌های میانی دهه نود و ابتدایی دهه ۲۰۰۰، نزولی و یا با رشد بسیار اندک بوده است. این میزان، همان‌گونه که دیدم، در حال حاضر حدود ۳۰ درصد است.[۲]

مورد مطالعاتی: هند

مورد هند یکی از کشورهایی است که برای این گزارش اهمیت زیادی دارد و ازاین‌رو، بخشی به بررسی آن اختصاص داده شده است. دلیل اهمیت هند برای تحلیل حاضر این است که هند اولا یکی از خریداران تاریخی نفت ایران بوده است و نیز سال‌ها در مورد صادرات گاز به این کشور و همکاری‌ها در این حوزه مذاکرات صورت گرفته است. ثانیا، هند بزرگ‌ترین اقتصاد با رشد بالای جهان تا ۳۰ سال آینده خواهد بود و ازاین‌رو، شناخت روندهای مصرف و سیاست‌های انرژی آن برای تمام بازیگران دیگر، به‌ویژه تولیدکنندگان انرژی اهمیت بالایی دارد. ثالثا، هند به لحاظ سطح توسعه‌یافتگی، در مقایسه با بازیگران دیگری مانند چین و اروپا فاصله کمتری با ایران دارد و در نتیجه، تجربه‌ها و برنامه‌های این کشور می‌تواند منبع بهتری برای دستگاه سیاست‌گذاری ایران باشد.

کشور هندوستان در حال حاضر سومین مصرف‌کننده بزرگ انرژی است و این در حالی است که در میان راه توسعه بوده و سرعت رشد اقتصادی، بهبود استانداردهای زندگی، رشد جمعیت و ضرورت الکتریکی‌سازی اقتصاد آن، به‌ویژه در بخش حمل‌ونقل، باعث می‌شود که تا میانه سده جاری میلادی، کماکان رشد تقاضای آن برای انرژی با نرخی بالا ادامه داشته باشد. در بخش الکتریسیته که مهم‌ترین بخش برای اهداف بالا به شمار می‌رود، پیش‌بینی‌ها مبنی بر این است که تا حدود سال ۲۰۵۰، هند برای حفظ سرعت رشد خود در بخش‌های یاد شده، نیازمند است تا تولید الکتریسیته خود را پنج برابر کند.

از سوی دیگر، در حال حاضر هند حدود ۶۰ درصد از الکتریسیته خود را از منبع زغال‌سنگ تهیه می‌کند که باتوجه‌به آلایندگیِ بالا، در تعارض مستقیم با اهداف کربن‌زدایی و تعهدات این کشور در حوزه رسیدن به کربن خالص صفر تا سال ۲۰۷۰ قرار دارد.[۳] در این راستا، این کشور هدف‌گذاری ۵۰۰ گیگا وات الکتریسیته از منبع غیرفسیلی برای

---

[1] >a href='https://www.macrotrends.net/global-metrics/countries/wld/world/renewable-energy-statistics<'World Renewable Energy />۱۹۹۰-۲۰۲۴a>. www.macrotrends.net. Retrieved.۲۰۲۴-۱۲-۱۰

[2] https://www.macrotrends.net/global-metrics/countries/wld/world/renewable-energy-statistics

[۳] هدف کلی پیمان پاریس رسیدن به کربن خالص صفر تا ۲۰۵۰ است، ولی تعهد هند تا سال ۲۰۷۰ تعریف شده است.

پاسخگویی به افزایش جمعیت و رشد اقتصادی را در دستور کار قرار داده است. به این منظور، دهه ۲۰۲۰ برای هند بسیار سرنوشت ساز بوده و کاهش سهم زغال‌سنگ و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر هدف اصلی بخش انرژی این کشور هستند. از چند سال پیش، نهاد ETC هند که با نظارت موسسه منابع و انرژی این کشور تشکیل شده است، عهده دار تنظیم گذار انرژی هند بوده و نخستین هدف‌گذاری آن، در سال ۲۰۱۹ و با مبنا قرار دادن دو برابر کردن تولید برق هند تا سال ۲۰۳۰ در حالی بوده است که ۴۵ درصد ظرفیت تولید از منابع غیرفسیلی باشد. باوجود تردیدهای اولیه این هدف‌گذاری به سرعت تبدیل به سیاست‌گذاری رسمی کشور شد. روندها بیانگر این است که برخی از بخش‌ها حتی از این مقدار هم فراتر خواهند رفت. این نهاد در حال حاضر در حال کار بر روی استراتژ ی های پس از ۲۰۳۰، با تمرکز بر کربن‌زدایی بیشتر و گسترش سهم تجدیدپذیرها به‌ویژه با تمرکز بر بخش صنعت است.[۱]

بر اساس ارزیابی بانک توسعه آسیایی، بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ هند ظرفیت تولید برق خود را تا ۲۵۰ درصد افزایش داد. قدم بعدی، جایگزینی تدریجی انرژی‌های فسیلی با منابع تجدیدپذیر در بخش صنعت است. گذار انرژی در هند می‌تواند سطح زندگی را بهبود بخشیده، تولید شغل بیشتری نموده (تخمین آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر این است که تا سال ۲۰۵۰، بخش تولید انرژی تجدیدپذیر ۴۳ میلیون شغل جدید در دنیا ایجاد می‌کند) و به اصطلاح سیاست گذارهای هندی، با استفاده از سلول‌های خورشیدی سقفی فوتوولتائیک، تولید انرژی را «دموکراتیزه» کند. این امر، یک هدف اخلاقی کلیدی برای دولت هند به وجود آورده که عبارت از «عادلانه‌سازی» گذار انرژی در این کشور است.[۲] مشخص است که این گذار انرژی علاوه بر دموکراتیزه کردن، نیازمند پشتیبانی بیشتر دولت از گروه‌ها و جوامعی است که از این تغییرات آسیب می بینند. استفاده از هیدروژن سبز برای ذخیرهٔ انرژی در این بخش اهمیت زیادی دارد و دولت هند با تعیین استراتژی‌ها و نقشه راه در قالب شهرها و پارک‌های خورشیدی، مأموریت ملی هیدروژن سبز[۳] و گذرگاه انرژی سبز[۴] و نیز تعریف انگیزه‌ها و مشوق‌ها برای بخش‌های مختلف[۵] تلاش می‌کند تا هرچه سریع‌تر به این هدف برسد. به‌این‌ترتیب، هند که یکی از آلاینده‌ترین بخش‌های تولید الکتریسیته را در دنیا دارد، در جریان سریع‌ترین رشد صنعتی تاریخ موفق خواهد شد تا یکی از عظیم‌ترین گذارها به انرژی پاک را امکان پذیر نماید.[۶]

لازم به یادآوری است که در حال حاضر، هشتاد درصد از نیاز انرژی هند به‌واسط سه سوخت تامین می‌شود: زغال‌سنگ، نفت و سوخت زیستی جامد. زغال‌سنگ، مبنای توسعه تولید الکتریسیته و صنعت طی دهه‌های اخیر بوده است.

---

[1] https://www.energy-transitions.org/region/india/

[۲] اعلامیهٔ گذار عادلانه در کنفرانس تغیرات آب و هوایی سازمان ملل متحد در اسکاتلند (COP26) تصویب شد و مبنای آن اطمینان از این است که هیچ گروه و شخصی در گذار انرژی فراموش نشده و پشت سر گذاشته نشود و به طور مشخص، شغل ها و زندگی هایی که به فعالیت های پرکربن وابسته بودند، حذف نشوند.

[3] National Green Hydrogen Mission

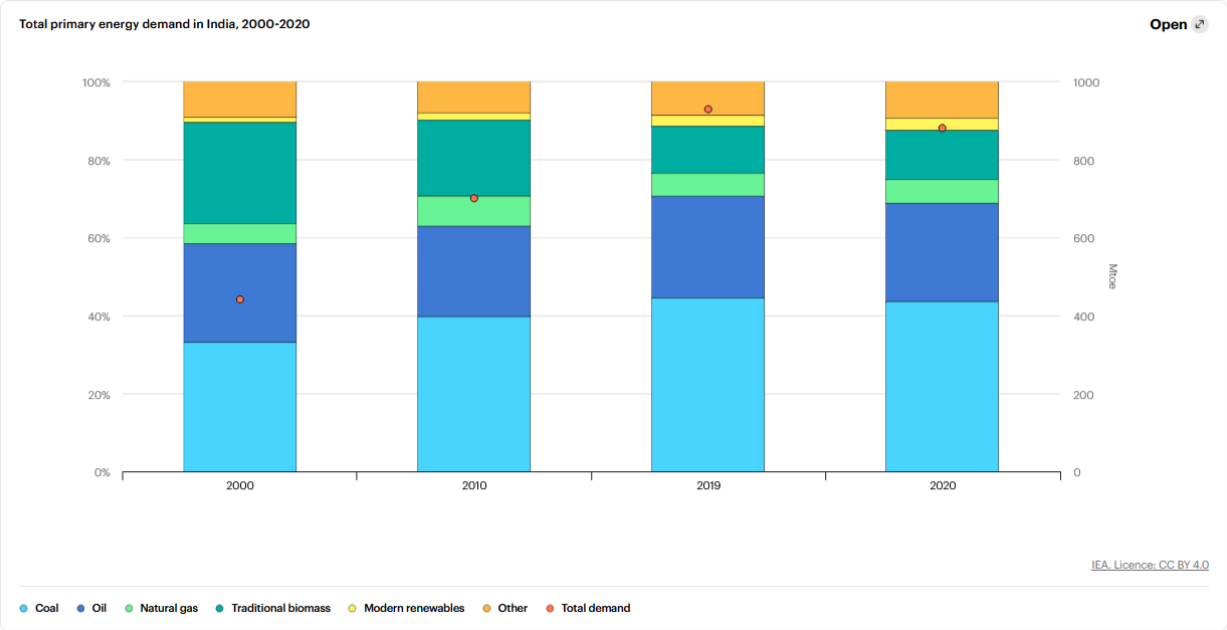
[4] Green Energy Corridor

[5] PLI Production-linked Incentives

[6] Pradeep Tharakan, and Praveen Manikpuri. 2023. Asian Development Bank Report on India's Energy Transition. Retrieved on 19 December 2024 from: https://www.adb.org/news/features/ensuring-just-transition-key-india-energy-transition-goals

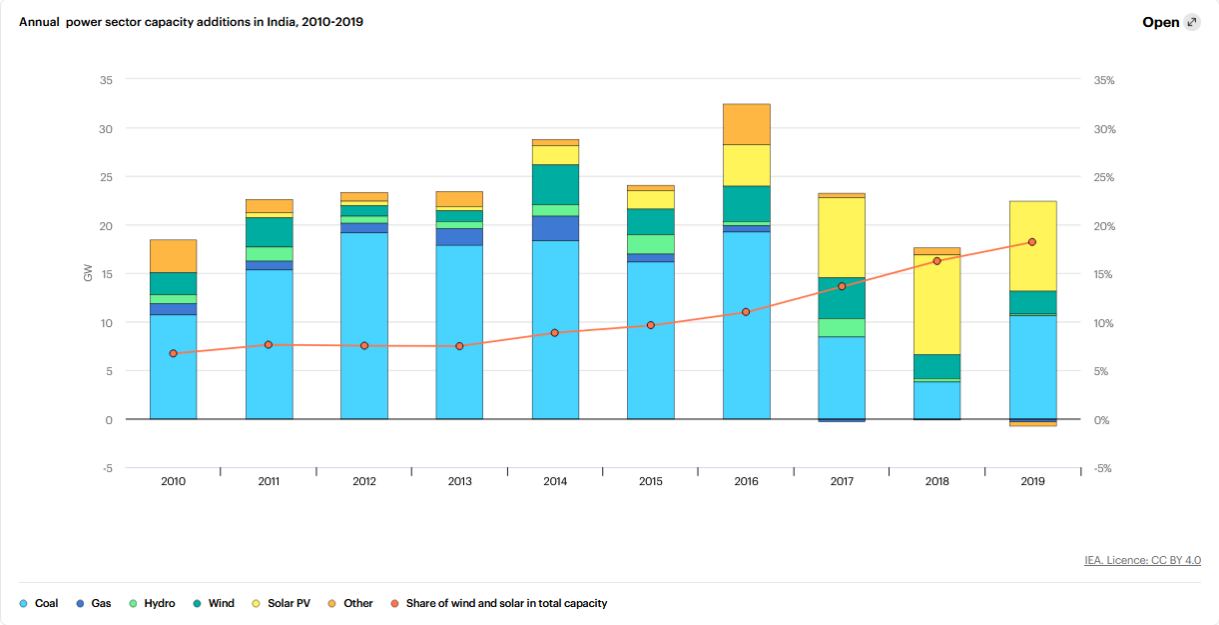
واردات و مصرف نفت طی دهه‌های اخیر رشد بسیاری پیدا کرده است که بخش عمده آن ناشی از گسترش بخش حمل‌ونقل و رشد سریع استفاده از خودروهای شخصی است. سوخت زیستی جامد عمدتا شامل چوب می‌شود و هنوز بخش مهمی از انرژی، به‌ویژه در بخش خانه‌داری (پخت‌وپز) را تامین می‌کند، هرچند این میزان در حال کاهش است. تصویر ۱۱ میزان تقاضای انرژی اولیه نهایی در هند را حد فاصل سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که افزایش هم‌زمان سهم زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر را، در کنار کاهش معنادار سوخت‌های زیستی، به نمایش می‌گذارد. به عبارت دیگر، این تصویر نشانگر گسترش بسیار اندک درصد تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر در عین ثبات نسبی درصد تقاضا برای انرژی‌های فسیلی و کاهش اندک درصد تقاضا برای انرژی سنتی سوخت زیستی است.

تصویر ۱۱- میزان تقاضا انرژی اولیه نهایی در هند



تصویر ۱۲ نیز سهم انواع انرژی از تولید برق در هند را نشان می‌دهد. این تصویر، درکنار دیگر نکات، یک نکته مهم برای سیاست‌گذار ایرانی دارد: سهم گاز طبیعی از تولید ظرفیت جدید الکتریسیته در هند طی یک دهۀ اخیر به شدت کاهشی و تقریبا به‌سوی صفر میل کرده است و این امر، بیانگر کاهش تقاضای گاز هند در این بخش است (هرچند تقاضا در بخش‌های دیگر می‌تواند ثابت مانده و یا حتی افزایش پیدا کرده باشد). نکتۀ مهم دیگر که ناظر بر درس‌هایی است که می‌توان از تجربه هند داشت، توسعه مداوم و چشمگیر سهم انرژی خورشیدی از ایجاد ظرفیت‌های تولید جدید الکتریسیته است که طی یک دهه اخیر تقریبا همیشه رشد کرده است و از سهم ناچیز ۰٫۵ گیگاواتی سال ۲۰۱۱ به سهم ۹٫۳ گیگاواتی در سال ۲۰۱۹ رسید، که با فاصلۀ اندکی از زغال‌سنگ قرار دارد که برای دهه ها بزرگ‌ترین منبع تولید برق در هند به شمار می‌رفته است.

تصویر ۱۲- انواع انرژی از تولید برق در هند



هند سومین آلاینده بزرگ CO_2 در جهان است و به طور مشخص، شدت کربن آن در بخش برق با اختلاف بالای میانگین جهانی است. یکی از ابعاد این سطح بالا از آلایندگی در هند به سلامت عمومی و بازتاب اجتماعی آن بازمی‌گردد، به‌گونه‌ای که در سال ۲۰۱۹ بیش از یک میلیون مرگ مرتبط با آلودگی هوا گزارش شده است.[1]

دهلی‌نو یک سیاست‌گذاری عمیق، چندوجهی و چندجانبه را در حوزه گذار انرژی به نمایش گذاشته است که در سطوح مختلف پژوهشی، اداری و حکومتی تنظیم و دنبال می‌شود. این کشور چندین سناریو برای گذار انرژی طراحی و با داده‌های دقیق هدف‌گذاری کرده است که هرکدام وجهی و بخشی از عرضه و تقاضای انرژی در این کشور و نیز روندهای جهانی و تعهدات بین‌المللی در حوزه انرژی را به نمایش می‌گذارد. سناریوهایی مانند سناریوی پایه، سناریوی کم‌کربن، سناریوی بدون سوخت فسیلی، سناریوی تداوم وضع موجود هم در بخش تقاضا و هم عرضه برخی از این موارد هستند. این سناریوها تا کنون با فاصله‌های نسبتا کمی با واقعیت، در روی زمین پیاده‌سازی هم شده‌اند و صرفا تصویرسازی‌های آرمانی نبوده‌اند. شرح و توضیح این سناریوهای مختلف مربوط به این مباحث این گزارش نیست و هدف از اشاره به آنها، تنها از سر مقایسه با معدود اسناد بالادستی و روندهای سیاست‌گذاری داخلی است.

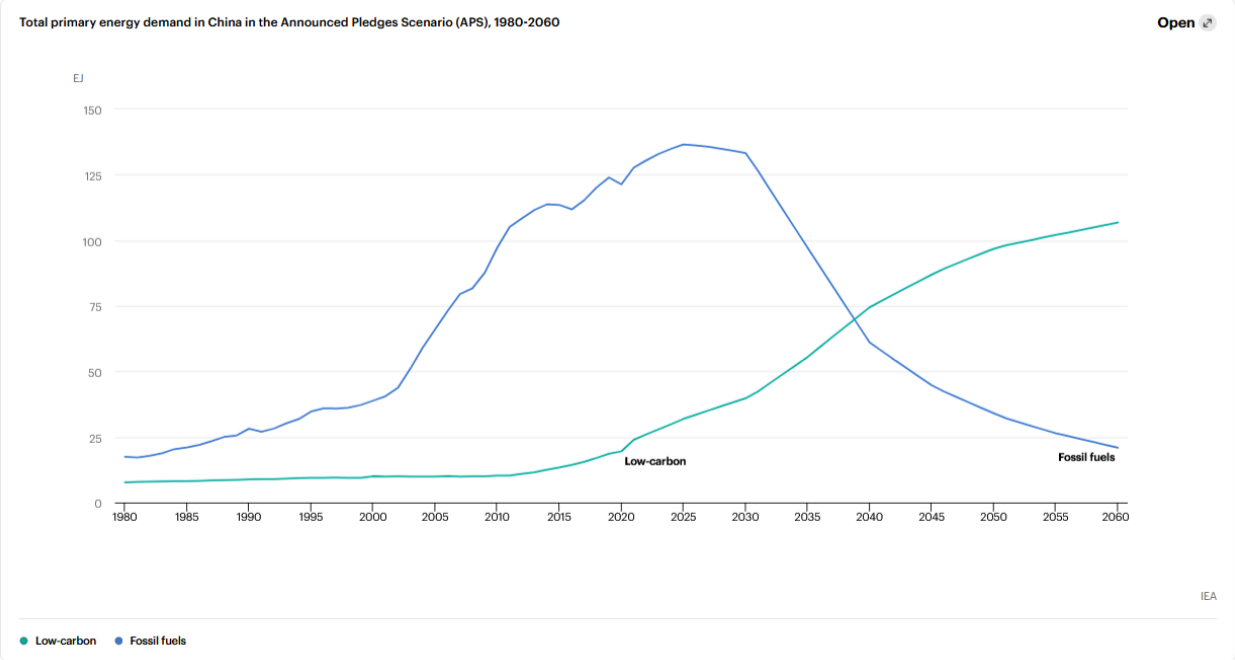
مورد مطالعاتی: چین

چین به‌عنوان دومین اقتصاد بزرگ جهان که به‌تنهایی حدود یک‌سوم (۳۱ درصد در ۲۰۲۳) دی‌اکسیدکربن دنیا را تولید می‌کند، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده انرژی نیز هست. حدود ۹۰ درصد تولید دی‌اکسیدکربن چین در بخش انرژی این

[1] India Energy Outlook. 2021. International Energy Agency. Retrieved on December 10, 2024 from: https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021/energy-in-india-today

کشور صورت می‌گیرد که نتیجه دهه‌ها تلاش برای گسترش سهم شهروندان فقیر از سبد انرژی کشور است. مصرف انرژی چین از سال ۲۰۰۵ تا کنون دو برابر شده است، اما شدت انرژی کاهش چشمگیری داشته است. در حال حاضر، ۶۰ درصد تولید برق چین توسط زغال‌سنگ انجام می‌شود و هنوز هم نیروگاه‌های مبتنی بر زغال‌سنگ در این کشور ساخته می‌شوند، اما هم‌زمان، تولید ظرفیت جدید نیروگاه‌های فوتوولتائیک در چین از هر کشور دیگری بیشتر است. این کشور، درحالی‌که دومین مصرف‌کنندهٔ بزرگ نفت در جهان است، ۷۰ درصد ظرفیت تولید باتری‌های الکتریکی خودروها در جهان را نیز در اختیار دارد. تولید بالای صنایع آلاینده‌ای مانند سیمان و فولاد در چین روی دیگر ماجرا است؛ چین در حالی نصف تولید فولاد و سیمان دنیا را در اختیار دارد که تولید دی‌اکسیدکربن فقط همین دو صنعت در چین، از تولید کل دی‌اکسیدکربن اتحادیه اروپا بیشتر است. بااین‌حال، برنامه‌های جاه طلبانه دولت چین برای کاهش مصرف انرژی‌های فسیلی و توسعه انرژی‌های نو، این کشور را به خوبی در مسیر اهداف موافقت‌نامه پاریس قرار می‌دهد؛ امری که در تصویر زیر قابل‌مشاهده است.[1]

تصویر ۱۳- تقاضا نهایی انرژی اولیه در چین بر مبنای سناریوی اعلامی دولت: مقایسه انرژی‌های کم کربن و فسیلی



این رویکرد جاه‌طلبانه در سیاست‌گذاری کلان کشور نیز قابل‌مشاهده است. در سال ۲۰۲۰ شی جین پینگ اعلام کرد که برنامه چین رسیدن به قله تولید گاز دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۳۰ و رسیدن به کربن صفر تا قبل از ۲۰۶۰ است، چیزی که کمابیش به برنامه جهانی موافقت‌نامه پاریس نزدیک است و در صورتی که دیگر تولیدکنندگان بزرگ دی‌اکسیدکربن نیز مسیر مشابهی را پیش بروند، یک امید واقعی برای پیشگیری از فاجعه زیست‌محیطی گرمایش زمین وجود دارد. در پیامد وضعیت موجود چین و تعهد آینده این کشور، چین به یکی از مهم‌ترین و جالب‌ترین موارد مورد مطالعه در ارتباط با مفهوم گذار انرژی تبدیل شده است. از سوی دیگر، چین بزرگ‌ترین خریدار نفت ایران،

[1] https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-carbon-neutrality-in-china/executive-summary

بزرگ‌ترین شریک تجاری کشور و یکی از مهم‌ترین شرکای سیاسی تهران است؛ بنابراین، توجه به برخی جزئیات رویکرد چین به موضوع گذار انرژی از اهمیت برخوردار است.

سند «گذار انرژی چین»، منتشره از سوی دفتر شورای دولتی اطلاعات جمهوری خلق چین، در سال ۲۰۲۴ برخی از مهم‌ترین ابعاد نگاه چین به گذار انرژی و استراتژی‌های آن در قبال این دگرگونی را در بر دارد. سند یاد شده مفصل است و خارج از حوصلهٔ پژوهش حاضر است. بااین‌حال، یک مرور کلی از این سند، اطلاعات زیر را به دست می‌دهد:

- استراتژی جدید امنیت انرژی چین در سال ۲۰۱۴ توسط شی ارائه شد که شامل اصلاحات گسترده در بخش‌های مختلف انرژی در همکاری کامل با نهادها و بازیگران بین‌المللی بود. (۲)
- چین گذار انرژی را یک مسیر تضمینی برای بهبود سطح زندگی مردم و توسعه پایدار از طریق هارمونی بین رشد اقتصادی و طبیعت می‌داند. (۳)
- چین به الگوهای گذار انرژی که توسط دیگر کشورهای درحال‌توسعه به شکل مستقل دنبال می‌شود احترام می‌گذارد. (۳)
- گذار انرژی، تنها مسیر روبه‌جلو است. (۴)
- پنج اصل گذار انرژی در چین از این قرارند: اولویت بخشیدن به خلق، تعقیب توسعه سبز و کم‌کربن، خدمت به توسعه ملی، افزایش سرعت نوآوری‌ها، گسترش همکاری و گشایش. (۵–۶)
- سهم انرژی‌های پاک از مصرف کل چین در سال ۲۰۲۳ برابر با ۲۶,۴ درصد بود که ۱۰,۹ درصد بالاتر از سال ۲۰۱۳ بود. در همین بازه، مصرف زغال‌سنگ ۱۲,۱ درصد کاهش داشت. در سال ۲۰۲۳، ظرفیت تولیدی الکتریسیته چین به ۲۹۲۰ گیگاوات رسید که ۱۷۰۰ گیگاوات آن انرژی‌های پاک بودند (۵۸,۲ درصد). در همین سال تولید برق از منابع پاک ۳۸۰۰ تراوات بر ساعت بود که ۳۹,۷ درصد از کل تولید الکتریسیته کشور بود. طی یک دهه منتهی به ۲۰۲۳، انرژی حاصل از منابع پاک مسئول بیش از ۵۰ درصد از افزایش مصرف نهایی انرژی بوده است. (۶)
- گشایش بازار و صنعت انرژی چین برای همکاری‌های بین‌المللی و نیروهای خارجی یکی از مهم‌ترین سیاست‌های دولت برای گذار انرژی بوده است. (۶)
- گذار انرژی به چین اجازه داده است تا سیاست امنیت انرژی خود را تغییر داده و کنترل بیشتری بر منابع انرژی خود داشته باشد. (۶)
- استفاده از سلول‌های فتوولتائیک خانگی در مناطق روستایی طی یک دهه منتهی به توان تولیدی ۱۲۰ گیگاوات برای ۵,۵ میلیون خانوار رسید که علاوه بر گسترش دسترسی به الکتریسیته در مناطق دور از شبکه، به افزایش درآمد کشاورزان به میزان ۱,۵ میلیارد دلار و تولید ۲ میلیون شغل جدید در سال انجامید. (۷)
- خودروهای برقی نقش مهمی در گذار انرژی چین ایفا کرده‌اند. برای یک ارزیابی کلی، تعداد جایگاه‌های شارژ خودروهای برقی از ۱۰۰۰۰۰ جایگاه در سال ۲۰۱۳ به ۸,۶ میلیون در ۲۰۲۳ رسید. (۷)

- طی بازه زمانی یاد شده، انرژی مصرفی برای هر واحد GDP (شدت انرژی) ۲۶ درصد کاهش یافته است. (۸)
- در سال ۲۰۲۳، سهم چین از سرمایه‌گذاری در گذار انرژی از ۶۷۶ میلیارد دلار گذشت و این کشور را به بزرگ‌ترین سرمایه‌گذار در این بخش تبدیل کرد. چین در قالب گشایش و همکاری، با بیش از ۱۰۰ کشور در این حوزه همکاری کرده است. (۸)
- گذار از کنترل دولتی بر مصرف انرژی به کنترل دولتی بر تولید آلایندگی کربن و شدت انرژی. این نسل جدید نظارت دولتی در حوزه انرژی و مدیریت انرژی است. (۹)
- بهره‌وری انرژی در ساختمان‌سازی یکی از ارکان مهم گذار انرژی چین، به‌عنوان میزبان بزرگ‌ترین روند شهرنشینی دنیا، بوده است و کلیه ساختمان‌های جدید در این کشور با معیارهای سخت‌گیرانه بهره‌وری انرژی ساخته می‌شوند. متراژ این ساختمان‌ها از ۳۲,۶۸ میلیارد مترمربع در سال ۲۰۲۳ عبور کرد (معادل با ۶۴ درصد مساحت کل خانه‌های شهری). توسعه ساختمان‌هایی با مصرف انرژی نزدیک به صفر یکی از ابعاد این طرح است که ۴۳,۷ میلیون مترمربع ساختمان را شامل می‌شود. (۱۱)
- المپیک زمستانی ۲۰۲۲ پکن و بازی های آسیایی ۲۰۲۳ هانژو با ۱۰۰ درصد الکتریسیته پاک برگزار شدند. (۱۳)
- استفاده از انرژی‌های پاک حتی برای تولید انرژی‌های سنتی نفت، گاز و زغال‌سنگ یکی از حوزه‌های موردتوجه دولت بوده است. به‌این‌ترتیب، دولت مثلا با استفاده یک نیروگاه خورشیدی – بادی ۱۵۰ مگاواتی ساحلی، انرژی لازم برای تولید وانتقال محصول سکوی نفتی جیلین (JILIN) را فراهم می‌کند.[1] (۲۱-۲۰)

بخش سوم: گذار انرژی در منطقه

درآمد:

شاخص‌های انرژی در خاورمیانه از دو جهت برای این گزارش اهمیت دارند. نخست اینکه همان‌گونه که در ابتدای گزارش اشاره شد، از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های گذار انرژی جهانی، پیامدهای آن برای تولیدکنندگان سنتی انرژی‌های فسیلی است. هم‌زمان با گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر و در کنار تمام فرصت‌ها و امکاناتی که این گذار برای شهروندان و کشورها فراهم می‌کند، مشکلات اقتصادی و بیکاری‌های ناشی از کاهش اهمیت انرژی‌های فسیلی می‌تواند برای کشورهای تولیدکنندهٔ نفت، گاز و زغال‌سنگ چشمگیر باشد. ازآنجاکه بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و صاحبان ذخایر انرژی‌های فسیلی در خاورمیانه هستند، بررسی دقیق‌تر گذار انرژی در این منطقه می‌تواند روشنگر واکنش عملی کشورهای این منطقه به این دگرگونی بنیادین باشد و این امر هم برای گذار موفق انرژی و هم تحلیل پیامدهای آن از اهمیت بالایی برخوردار است. دوم، کشورهایی که در منطقهٔ خاورمیانه و به طور مشخص

[1] The State Council Information Office of the People's Republic of China. 2024. China's Energy Transition. Retrieved on 10 December from: https://english.www.gov.cn/archive/whitepaper/202408/29/content_WS66d012e8c6d0868f4e8ea52e.html

خلیج‌فارس قرار گرفته‌اند، به لحاظ جایگاهشان در بازارهای انرژی فسیلی رقیب ایران و به لحاظ مرتبه توسعه‌یافتگی، کم یا زیاد هم‌ارز ایران و ازاین‌حیث، قابل‌مقایسه با ایران هستند (هرچند این امر می‌تواند زیاد به درازا نکشد). هم شناخت رقیب قاعدهٔ عقلانی است و هم تجربه بازیگران هم‌ارز مهم، بنابراین بخش خاورمیانه برای این گزارش از اهمیت بالایی برخوردار است. برای تکمیل این مبحث، دو بازیگر اصلی خاورمیانه، یعنی امارات و عربستان سعودی به طور مستقل و به‌عنوان مطالعه موردی بحث شده است.

الف) شاخص‌های منطقه خاورمیانه: خاورمیانه نقشی اساس در عملکرد بازارهای جهانی انرژی دارد. این منطقه دربرگیرنده پنج کشور از ۱۰ تولیدکننده بزرگ نفت جهان – عربستان سعودی، عراق، امارات متحده عربی، ایران و کویت – و سه کشور – ایران، قطر و عربستان سعودی – از ۲۰ تولیدکننده بزرگ گاز دنیا است.

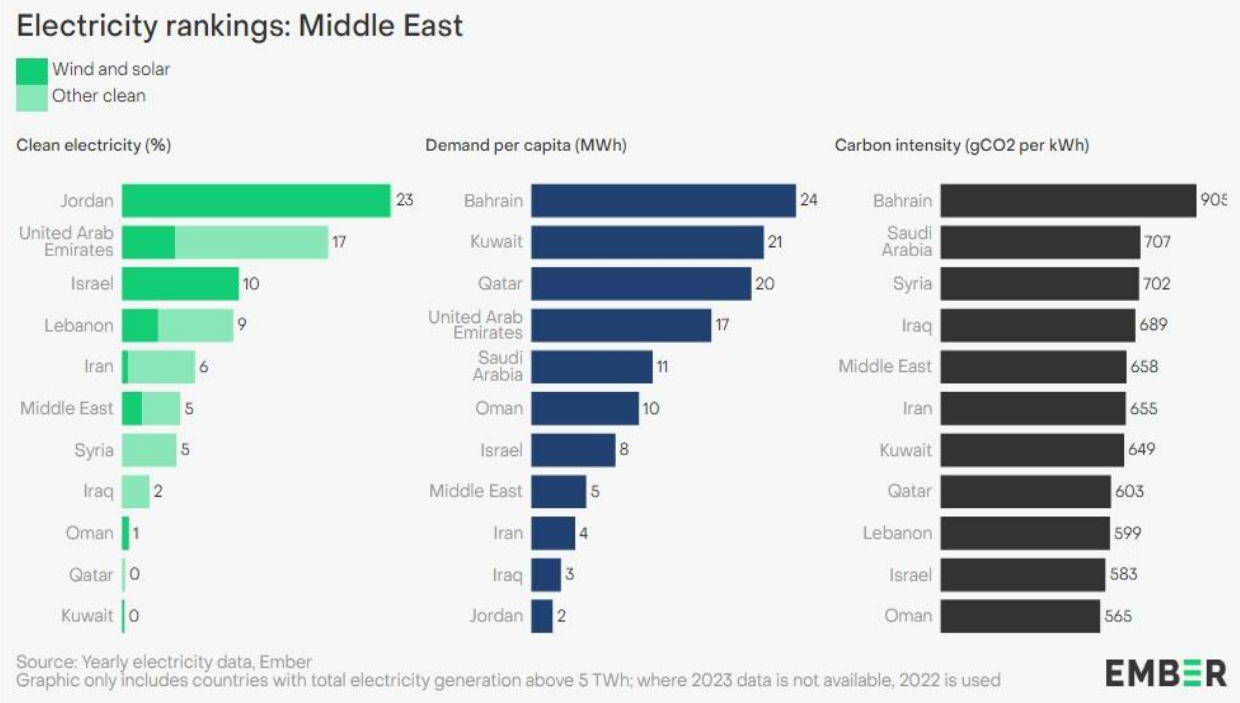
کشورهای خاورمیانه با چالش‌های مهم انرژی و آب‌وهوا روبه‌رو هستند. توسعه اقتصادی و رشد جمعیت منطقه تقاضای فزاینده داخلی نفت و گاز را در پی داشته است. باتوجه‌به ویژگی‌های اقلیمی منطقه و روندهای آب‌وهوایی کنونی، تقاضا برای خنک‌کننده‌ها و تاسیسات شیرین‌سازی آب به طور قابل‌توجهی افزایش‌یافته است و این روند فزاینده ادامه خواهد داشت. حدود ۹۵ درصد از برق تولیدشده در خاورمیانه از گاز طبیعی و نفت تامین می‌شود و از این نظر منطقه بالاترین سهم در جهان را به خود اختصاص داده است.

کشورهای خاورمیانه برای تامین انرژی موردنیاز خود، تقریبا به طور انحصاری بر گاز، نفت و به میزان اندکی زغال‌سنگ متکی هستند. در سال ۲۰۲۳ حدود ۷۶ درصد انرژی مورد نیاز از گاز و ۱۸ درصد از سایر سوخت‌های فسیلی تامین شده است. معدودی از کشورهای خاورمیانه گام‌های مهمی برای بهره‌گیری از انرژی‌های پاک برای تولید برق برداشته‌اند. ضریب انتشار کربن[1] در منطقه بسیار بالا است؛ به گونه‌ای که در سال ۲۰۲۳، به طور میانگین برای تولید هر کیلووات ساعت برق معادل ۶۵۸ گرم دی‌اکسیدکربن وارد جو شده است؛ این در حالی است که میانگین جهانی این میزان برابر با ۴۸۰ گرم به‌ازای هر کیلووات ساعت است.

[1] Carbon Intensity/ Emission Intensity

درحالی‌که حدود ۱۶ درصد از برق حاصل از گاز جهان به خاورمیانه تعلق دارد –ایران، امارات، کویت و عراق بالاترین جایگاه‌ها را در میان کشورهای منطقه به خود اختصاص داده‌اند– علی‌رغم ویژگی‌های اقلیمی، خاورمیانه یکی از معدود مناطق جغرافیایی جهان است که بهره‌گیری از انرژی پاک برای تولید برق چندان پیشرفتی نداشته است؛ به‌طوری‌که تنها پنج درصد از کل انرژی موردنیاز خاورمیانه از این منابع تأمین شده و در این میان، سهم انرژی باد و خورشید تنها دو درصد بوده است. سهم باد و خورشید در سبد تولید برق کشورهای بحرین، ایران، عراق، کویت، لبنان، عمان، قطر و عربستان سعودی کمتر از یک درصد بوده است؛ این در حالی است که به‌ویژه در کشورهای خلیج فارس برنامه‌های توسعه‌ای بر افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق موردنیاز تاکید دارد. به‌عنوان‌مثال سند چشم‌انداز ۲۰۳۰ عربستان سعودی تامین ۵۰ درصد برق موردنیاز کشور از منابع تجدیدپذیر را

تصویر ۱۴– انرژی‌های پاک در سبد انرژی، سرانه تقاضا و ضریب انتشار در کشورهای منتخب خاورمیانه



به‌عنوان یکی از اهداف مهم بخش انرژی تعیین کرده است که یکی از سریع‌ترین نرخ‌های رشد بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در سطح جهان است. در مقابل هشت کشور یاد شده، بر اساس آمارهای سال ۲۰۲۳، اردن موفق به

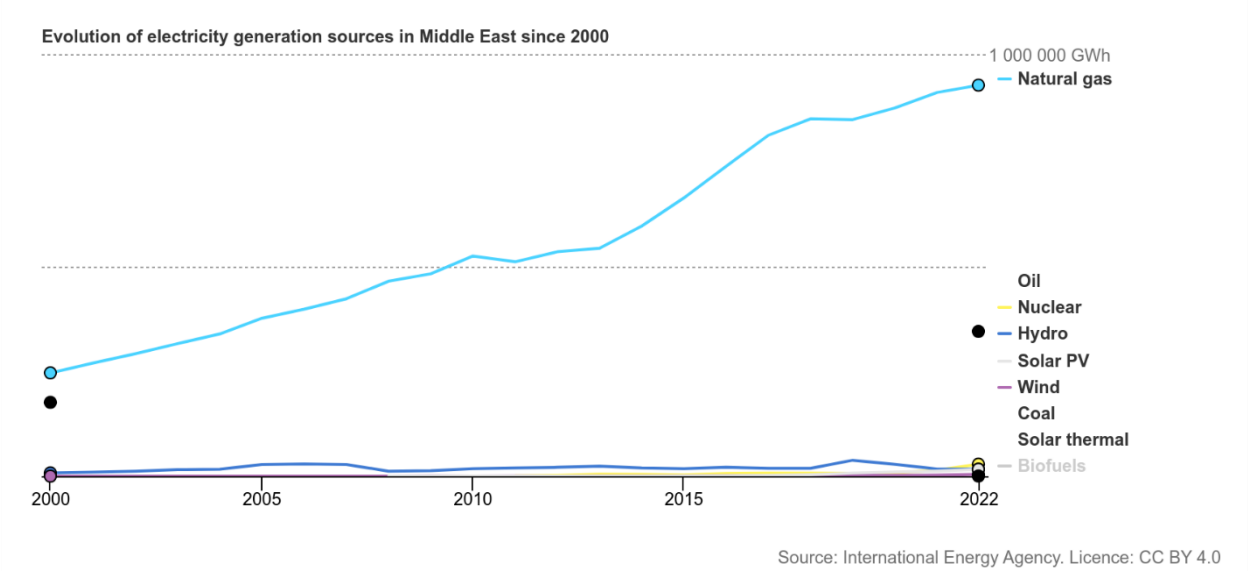
تولید ۲۳ درصد از برق موردنیاز خود از انرژی حاصل از خورشد و باد شده است.[1]

۱) برق

[1] EMBER

بر اساس آمارهای سال ۲۰۲۲ آژانس بین‌المللی انرژی[1] ۶۹,۳ درصد از کل تولید برق خاورمیانه با بهره‌گیری از گاز طبیعی تولید می‌شود. پس از گاز طبیعی، نفت با ۲۵,۷ درصد، انرژی هسته‌ای با ۲,۱ درصد جایگاه‌های بعدی را به

نمودار ۱- روند تحول منابع انرژی در خاورمیانه

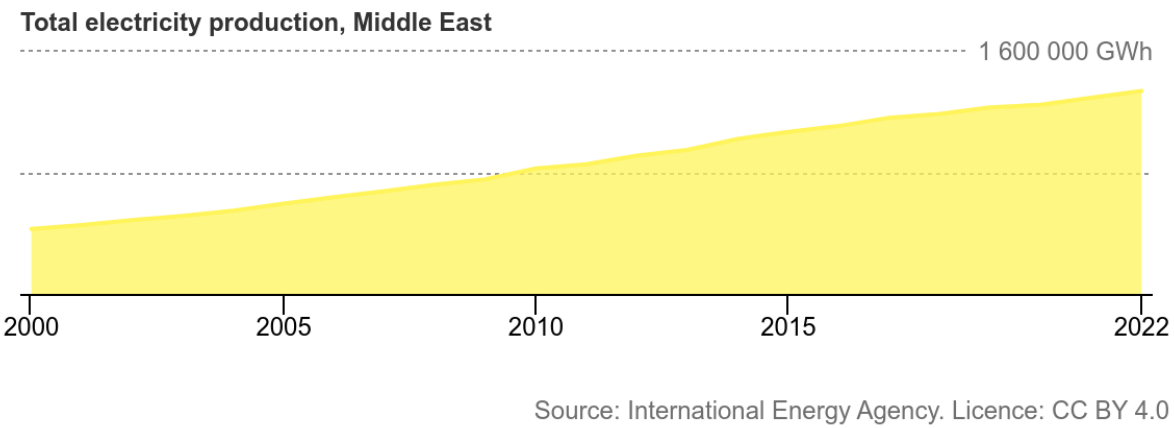


خود اختصاص داده‌اند و مجموع سهم آب، باد، انرژی خورشیدی، زیست‌سوخت[2] و زغال‌سنگ در تولید برق برابر با ۲,۹ درصد است.[3]

همچنین در سال ۲۰۲۲ کل برق تولیدی خاورمیانه برابر با ۱۳۴۱ تراوات ساعت بوده است که ۲۱۲ درصد رشد را در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. در این میان سهم عربستان سعودی از کل تولید برق خاورمیانه برابر با ۳۱,۲، ایران ۲۷,۴، امارات ۱۱,۶، عراق ۱۰، کویت ۶,۲ قطر ۴,۱، عمان ۳,۲، اردن ۱,۷، سوریه ۱,۵ و لبنان ۰,۳ درصد بوده است.[4]

[1] International Energy Agency (IEA)
[2] Biofuel
[3] IEA
[4] ibid

نمودار ۲ – رشد تولید برق در خاورمیانه



در سال ۲۰۲۲ سرانه مصرف برق[۱] در خاورمیانه برابر با ۴,۹۶ گیگاوات ساعت است که ۹۶ درصد افزایش را در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. این رقم برای قطر ۱۹,۱، کویت ۱۷,۸، امارات ۱۵,۶، عربستان سعودی ۱۰,۴، عمان ۸,۴، ایران ۳,۷، اردن ۱,۷، عراق ۱,۳، لبنان ۰,۷ و سوریه ۰,۷ گیگاوات ساعت است.[۲]

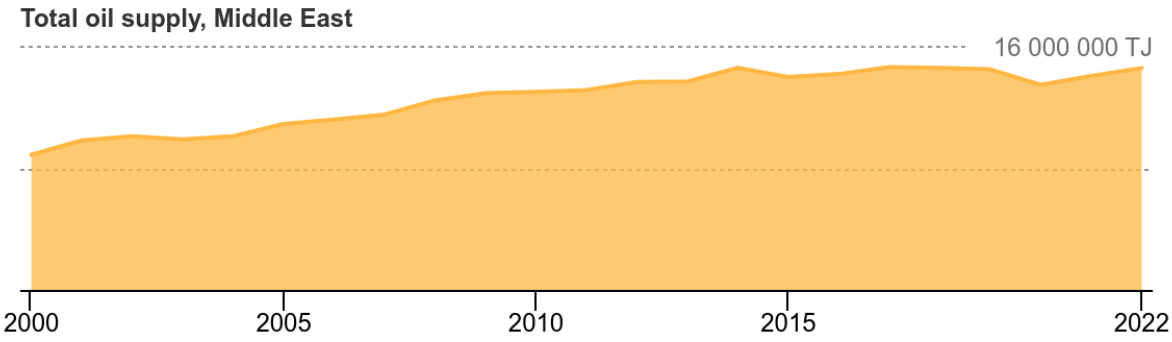
[۱] رشد تقاضای برق در بسیاری از اقتصادهای پیشرفته به دلیل تلاش‌ها برای افزایش بهره‌وری انرژی و توسعه فعالیت‌های اقتصادی کم‌مصرف انرژی، مانند خدمات، کند یا حتی معکوس شده است؛ با این حال این تقاضا در بسیاری از کشورهای در حال توسعه و بازارهای نوظهور به سرعت در حال رشد است.

[2] ibid

۲) نفت

سهم نفت در تامین انرژی خاورمیانه برابر با ۴۱,۹ درصد در سال ۲۰۲۲ بوده است؛ این رقم معادل ۴,۰۷ تراوات ساعت (۱۴,۶ میلیون تراژول) بوده است. در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ سهم نفت در تامین انرژی خاورمیانه ۶۴ درصد افزایش‌یافته است. در این میان سهم عربستان سعودی از کل تولید نفت خاورمیانه برابر ۴۴,۴، ایران ۲۱,۹، عراق

نمودار ۳- روند تولید نفت در خاورمیانه



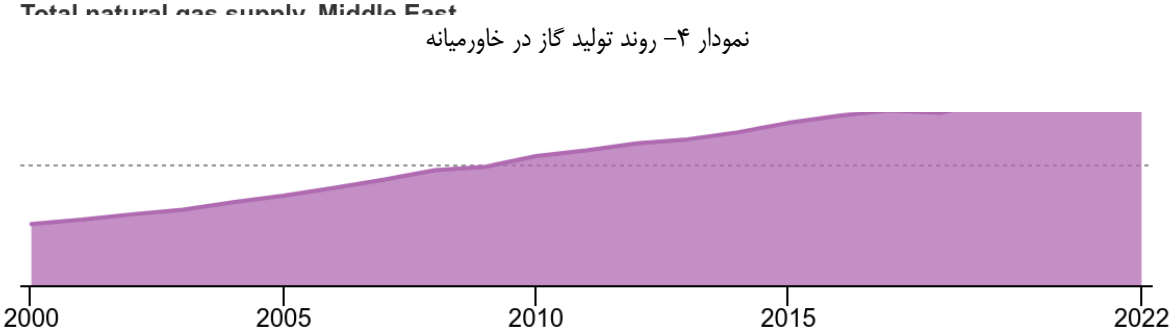
Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

۱۳، امارات ۶,۴، کویت ۶,۱، سوریه ۲,۳، قطر ۱,۶، اردن ۱,۱، عمان ۰,۹ و لبنان ۰,۹ درصد بوده است. [1]

۳) گاز طبیعی

سهم گاز در تامین انرژی خاورمیانه برابر با ۵۶,۲ درصد در سال ۲۰۲۲ بوده است؛ این رقم معادل ۵,۴ تراوات ساعت (۱۹,۶ میلیون تراژول) بوده است که افزایش ۲۲۳ درصدی را در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. در این میان سهم ایران از کل تولید گاز خاورمیانه برابر ۴۴,۷، عربستان سعودی ۱۸,۴، امارات ۱۱,۵، قطر ۸,۲، عمان ۵,۲، کویت ۴,۴، عراق ۳,۴، اردن ۰,۷و سوریه ۰,۵ درصد بوده است.[2]

نمودار ۴- روند تولید گاز در خاورمیانه



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

[1] IEA
[2] IEA

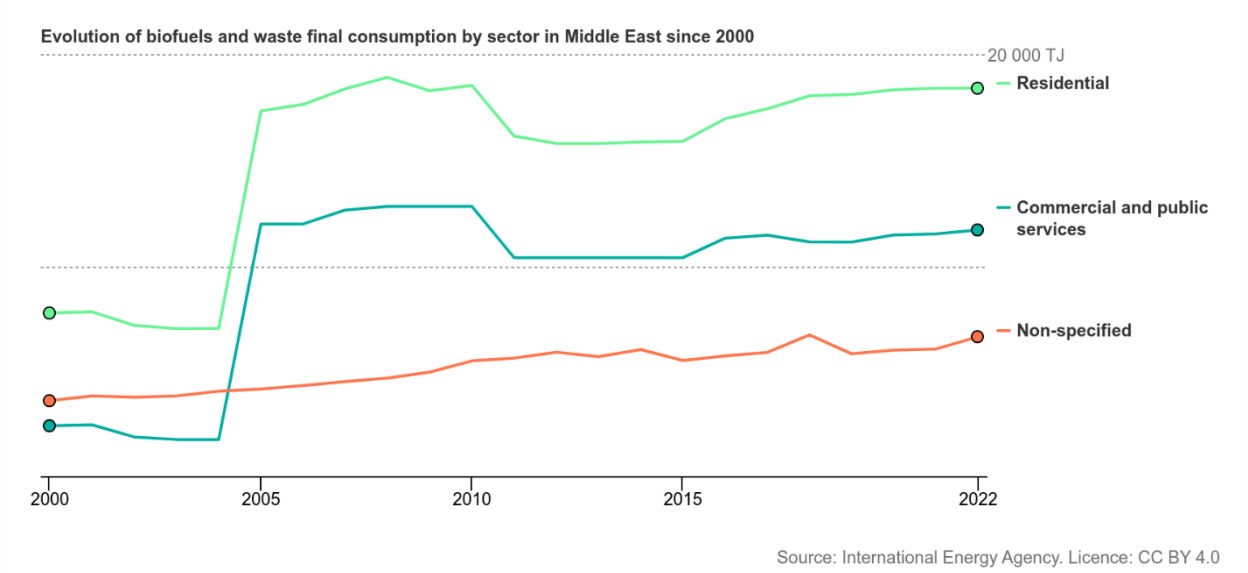
در سال ۲۰۲۲ مجموع تولید گاز منطقه معادل ۲۴,۳ میلیون تراژول (۶,۷ تراوات ساعت) بوده است که ۲۵۳ درصد رشد را در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. از این مجموع، سهم ایران برابر با ۳۸,۸، قطر ۲۶، عربستان سعودی ۱۴,۹، امارات ۷,۶، عمان ۶,۳، بحرین ۲,۴، کویت ۲,۴، عراق ۱,۴، سوریه ۰,۴ و اردن صفر درصد بوده است.

۴) انرژی‌های تجدیدپذیر

در سال ۲۰۲۱، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در مصرف نهایی انرژی در خاورمیانه برابر با ۰,۷۳ درصد بود که افزایش ۱۰۳ درصدی را در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. در این سال سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در اردن برابر با ۱۰,۵، لبنان ۳,۹، یمن ۳,۶، سوریه ۱,۱، امارات ۱، ایران ۰,۷، عمان ۰,۱، عربستان سعودی ۰,۰۸ و کویت ۰,۰۷ درصد بوده است.[1]

در سال ۲۰۲۲ برابر با ۳۶۷۹۵ تراژول انرژی از منابع زیست‌سوخت در کل خاورمیانه تولید شده است که بخش مسکونی با ۵۰ درصد بزرگ‌ترین مصرف‌کننده این انرژی بوده است. پس از بخش مسکونی، بخش عمومی و تجاری با ۳۱,۸ درصد در جایگاه دوم قرار دارد و ۱۸ درصد از انرژی حاصل از زیست‌سوخت‌ها در سایر بخش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. نمودار زیر روند مصرف این نوع از انرژی را در بخش‌های مختلف در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.[2]

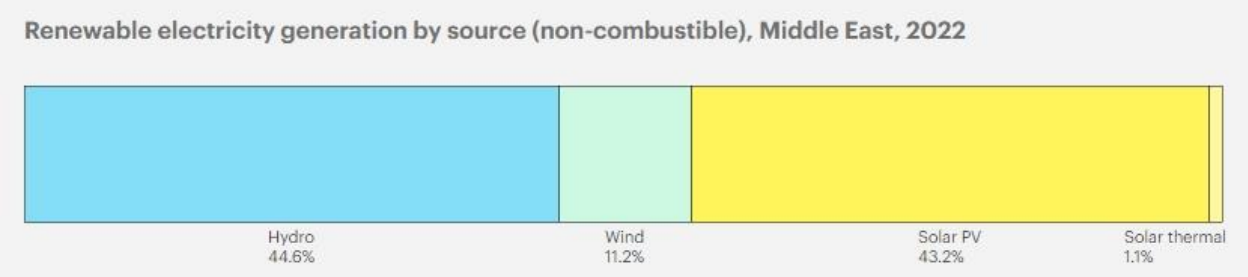
نمودار ۵- روند مصرف بخش‌ها از برق تولید شده از زیست توده در خاورمیانه



[1] IEA
[2] ibid

در خصوص منابع تجدیدپذیر غیرسوختی سهم انرژی حاصل از آب در خاورمیانه ۴۵ درصد، انرژی خورشیدی فتوولتائیک[1] ۴۳ درصد، باد ۱۱,۲ درصد و انرژی حرارتی خورشیدی[2] ۱,۱ درصد بوده است.[3]

نمودار ۶- انرژی‌های تجدیدپذیر غیرسوختنی از کل برق تجدیدپذیر در خاورمیانه



Source: International Energy Agency. License CC BY 4.0

انرژی‌های تجدیدپذیر در امارات

استراتژی انرژی امارات ۲۰۵۰[4]در سال ۲۰۱۷ به عنوان اولین استراتژی یکپارچه انرژی در این کشور معرفی شد که مبتنی بر تعادل عرضه و تقاضا با تعهدات زیست محیطی و ایجاد یک محیط اقتصادی مساعد برای رشد است. این برنامه در پی سه برابر کردن سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی امارات تا سال ۲۰۳۰ از طریق افزایش سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک به ۲۰۰ میلیارد درهم، افزایش ظرفیت انرژی پاک نصب شده از ۱۴,۲ گیگاوات به ۱۹,۸ گیگاوات تا سال ۲۰۳۰ و افزایش سهم ظرفیت انرژی پاک نصب شده در کل انرژی به ۳۰ درصد تا سال ۲۰۳۰ است. در همین راستا امارات تلاش دارد تا سال ۲۰۵۰ حدود ۴۴ درصد از برق مورد نیاز خود را از انرژی‌های تجدیدپذیر، ۳۸ درصد گاز، ۱۲ درصد زغال‌سنگ پاک[5] و ۶ درصد انرژی هسته‌ای تأمین کند.

مجموع ظرفیت نیروگاه خورشیدی نصب شده در امارات پس از آغاز به کار نیروگاه خورشیدی الظفره با ظرفیت ۲ گیگاوات در سال ۲۰۲۳، بیش از ۵ گیگاوات رسیده است؛ در حال حاضر ۸,۳ درصد از برق امارات با بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، تأمین می‌شود؛ این رقم در سال ۲۰۲۲ برابر با ۴۰۵ و در سال ۲۰۱۴ معادل ۰,۳ درصد بوده است. نیروگاه خورشیدی الظفره که یکی از بزرگ‌ترین نیروگاه‌های فتوولتائیک جهان محسوب می‌شود در ۳۵ کیلومتری ابوظبی قرار دارد و با بهره‌گیری از چهار میلیون پنل خورشیدی دو طرفه قادر به تأمین برق مورد نیاز ۲۰۰ هزار خانه و کاهش ۲,۴ میلیون تنی انتشار کربن در سال است[6]

انرژی تجدیدپذیر در عربستان سعودی

[1] Solar Photovoltaics (PV)
[2] Solar thermal energy (STE)
[3] ibid
[4] UAE Energy Strategy 2050
[5] زغال سنگ پاک عموما به تکنولوژی جمع‌آوری کربن ناشی از سوزاندن زغال سنگ و ذخیره آن در محفظه‌های زیرزمینی سنگ متخلخل اشاره دارد.
[6] MASDAR

قرارداد ساخت نخستین نیروگاه فتوولتائیک عربستان سعودی در شهر سکاکا در سال ۲۰۱۸ به امضا رسید؛ این نیروگاه که در سال ۲۰۱۹ به شبکه سراسری کشور متصل شد، با بهره‌گیری از ۱,۲ میلیون پنل خورشیدی، برابر با ۳۰۰ مگاوات برق تولید می‌کند و قادر به تأمین برق مورد نیاز ۴۵ هزار خانه است؛ همچین این نیروگاه انتشار کربن را سالانه ۵۰۰ هزار تن کاهش می‌دهد. همچنین مطابق قرارداد، تعرفه این نیروگاه معادل ۸,۷ هلله[۱] به ازای هر کیلووات ساعت برق است که در زمان خود یک رکورد جهانی محسوب می‌شد.

نیروگاه سکاکا در کنار سایر پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر عربستان (نیروگاه بادی دومه الجندل، نیروگاه‌های مدینه، سدیر، القریات، شعیبه، جده، رابغ و رفحاء) مهم‌ترین پروژه‌های عربستان در قالب سند چشم‌انداز ۲۰۳۰ هستند که تأمین ۵۰ درصد از انرژی مورد نیاز کشور از منابع تجدیدپذیر و افزایش ظرفیت این نیروگاه‌ها به ۱۳۰ گیگاوات را به عنوان یک هدف ملی تعیین کرده است. در این میان سهم انرژی خورشیدی برابر با ۵۸,۷ گیگاوات برق و سهم انرژی باد ۴۰ گیگاوات در نظر گرفته شده است[۲].

انرژی اتمی

بدون درنظرگرفتن برنامه هسته‌ای عراق و لیبی، موضوع بهره‌گیری از انرژی اتمی در سبد تولید انرژی کشورهای عرب خاورمیانه، نخستین‌بار در سال ۱۹۹۴ در اجلاس اتحادیه عرب مطرح شد؛ در سال ۲۰۰۶ این اتحادیه ضمن تاکید بر ضرورت به کارگیری انرژی هسته‌ای برای تولید انرژی خواستار تلاش مشترک اعضا برای ایجاد پروژه رآکتور مشترک منطقه‌ای شد. در همین سال مقام‌های شورای همکاری خلیج فارس اعلام کردند که این شورا در حال بررسی امکان ایجاد یک برنامه هسته‌ای مشترک است. در حال حاضر تمامی کشورهای عرب خاورمیانه و شمال آفریقا دارای برنامه هسته‌ای با سطوح پیشرفت متفاوت هستند.[۳]

مصر برنامه‌های خود برای ساخت چهار رآکتور هسته‌ای را در سال ۲۰۱۵ اعلام کرد؛ بر اساس این برنامه‌ها نخستین نیروگاه هسته‌ای مصر با ظرفیت ۱۱۰۰ مگاوات در شهر الضبعه با همکاری روسیه در حال ساخت است. تحقق برنامه‌های مصر برای ساخت راکتورهای موردنیاز این کشور را قادر به تولید ۴۴۰۰ مگاوات برق هسته‌ای تا سال ۲۰۳۴ خواهد کرد.[۴]

امارات به‌عنوان موفق‌ترین کشور منطقه در حوزه تولید برق هسته‌ای از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ موفق به امضای قراردادهای ساخت نیروگاه «براکه» در ابوظبی، با یک شرکت کره‌ای[۵] شد؛ نیروگاه هسته‌ای براکه با ظرفیت ۵۶۰۰ مگاوات، شامل چهار رآکتور هسته‌ای است. این راکتورها که در عملیات ساخت آن‌ها از سال ۲۰۱۲ آغاز شد، در فاصله سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ همگی به بهره‌برداری تجاری رسیده‌اند.[۶]

---

[۱] هر ریال سعودی معادل با ۱۰۰ هلله است.

[2] Center on Global Energy Policy (CGEP)

[3] IAEA

[4] Nuclear Power in Egypt

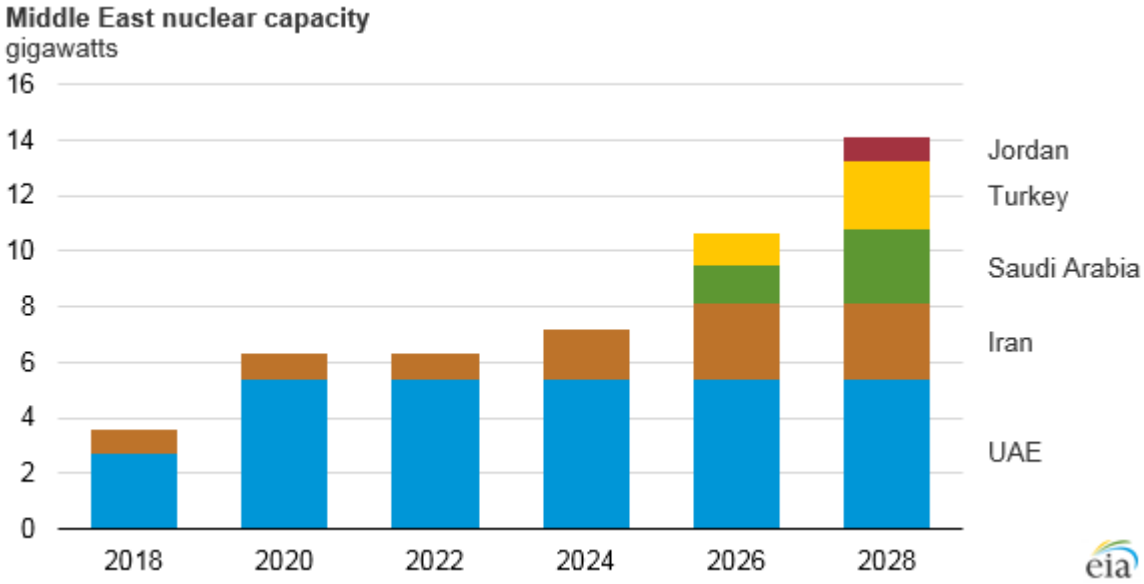
[5] Korea Electric Power Corporation

[6] Emirates Nuclear Energy Company

همچنین علاوه بر لیبی و الجزایر که موفق به امضای توافق‌نامه‌های اولیه با فرانسه، روسیه و ایالات‌متحده برای ایجاد برنامه هسته‌ای شده‌اند، اردن پس از بهره‌برداری از نخستین رآکتور تحقیقاتی خود در سال ۲۰۱۶، در همکاری با شرکت‌های کره‌ای و چینی در حال ساخت چهار رآکتور هسته‌ای مجموعا به ظرفیت ۵۰۰۰ مگاوات است که قرار است تا سال ۲۰۳۰ به بهره‌برداری برسد.[1] به‌علاوه، عربستان نیز قرارداد ساخت نخستین نیروگاه هسته‌ای خود را در سال ۲۰۱۸ با کنسرسیومی از شرکت‌هایی از ایالات‌متحده، فرانسه، چین، روسیه و کره جنوبی به امضا رسانده است.

بر مبنای برنامه‌های اعلام شده کشورهای خاورمیانه برای تولید برق هسته‌ای، انتظار می‌رود ظرفیت تولید برق هسته‌ای در خاورمیانه از ۳,۶ گیگاوات در سال ۲۰۱۸ به ۱۴,۱ گیگاوات تا سال ۲۰۲۸ افزایش یابد. نمودار زیر وضعیت کنونی

نمودار ۷- سهم کشورهای خاورمیانه از تولید برق هسته‌ای تا سال ۲۰۲۸



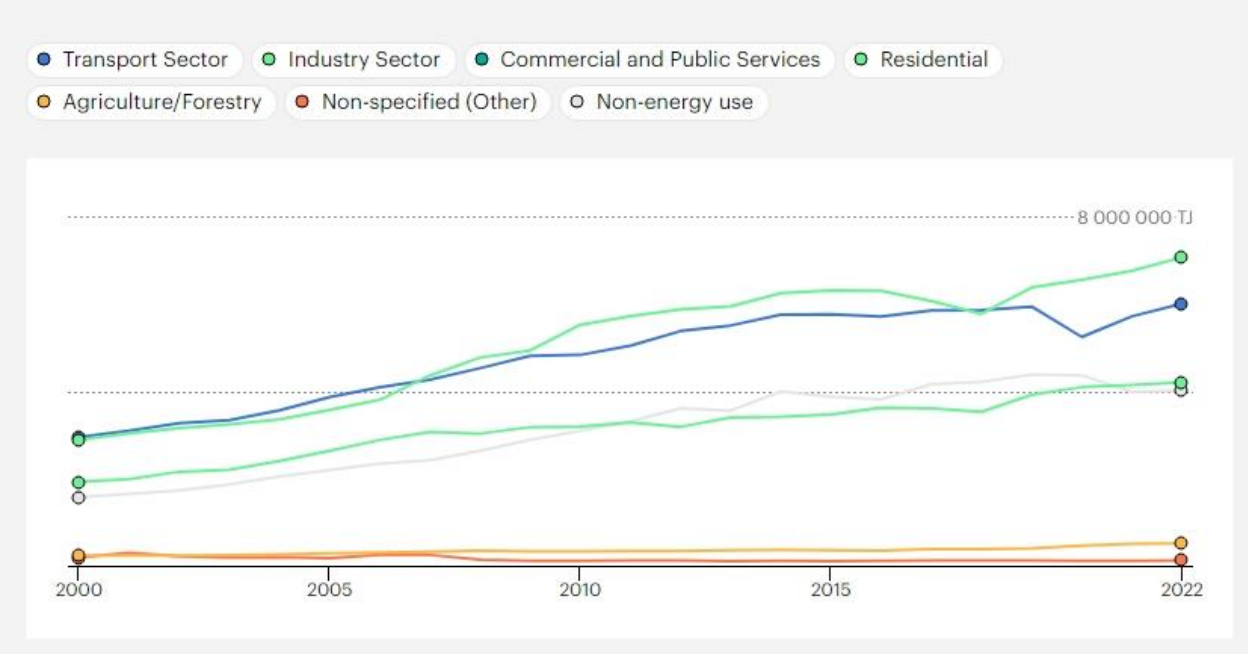
و آینده انرژی هسته‌ای در خاورمیانه را تا سال ۲۰۲۸ نشان می‌دهد.[2]

تقاضا و بهره‌وری

در حوزه مصرف، بخش صنعت با قرارگرفتن در رتبه نخست، ۳۰ درصد از کل انرژی در خاورمیانه را به خود اختصاص داده است. همچنین بخش‌های حمل‌ونقل و خانگی با جذب ۲۵ و ۱۸ درصد از کل، در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. نمودار زیر روند مصرف انرژی را در بخش‌های مختلف اقتصاد نشان می‌دهد.[3]

[1] World Nuclear Association
[2] US Energy Information Administration (EIA)
[3] IEA

نمودار ۸ – سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی در خاورمیانه



Source: International Energy Agency. Licence CC BY 4.0

همچنین در حوزه مصرف انرژی بخش‌های مختلف در خاورمیانه، گاز طبیعی با ۷۰ درصد، بیشترین سهم را در تامین انرژی مصرفی در بخش صنعت به خود اختصاص داده است و پس از آن محصولات نفتی با ۱۶,۳ درصد و برق با ۱۲,۷ درصد قرار دارند. در بخش حمل‌ونقل محصولات نفتی ۹۴,۵ درصد و گاز طبیعی ۵,۴ درصد را به خود اختصاص

نمودار ۹– سهم حامل‌های انرژی در تامین نیاز بخش‌های صنعت، حمل و نقل و خانگی در خاورمیانه

Source: International Energy Agency. License CC BY 4.0

داده است. در بخش خانگی سهم گاز طبیعی ۵۲، برق ۳۵ و محصولات نفتی ۱۲ درصد بوده است. نمودارهای زیر سهم حامل‌های انرژی در تامین انرژی در بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد.

یکی از روش‌های تعیین بازده انرژی در یک منطقه، بررسی کل عرضه انرژی به‌ازای هر واحد خروجی اقتصادی است. این بررسی می‌تواند علاوه بر نشان‌دادن بازده انرژی، ساختار اقتصاد را نیز با وضوح بیشتری نشان دهد. بر اساس آمارهای سال ۲۰۲۲، کل عرضه انرژی به‌ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی (بر اساس برابری قدرت خرید)[1] در خاورمیانه ۳۸۰۳,۵ مگاژول بر هزار دلار آمریکا[2] بوده است که افزایش ۷ درصدی را در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.[3] در همین سال، این شاخص برای بحرین ۹۴۶۲,۲، کویت ۹۲۹۴,۷، ایران ۹۰۴۳,۵، قطر ۷۳۶۸,۷، عمان ۶۹۵۰، عراق ۵۹۸۷، عربستان سعودی ۵۴۷۴,۷، امارات ۴۸۵۶,۷، اردن ۳۵۵۸,۸ و لبنان ۲۳۸۶,۵ بوده است.[4]

بخش چهارم: ایران

گذار انرژی در ایران چه پیامدهایی برای بخش انرژی ایران به همراه داشته است، دارد و یا خواهد داشت؟ پیش از طرح و پاسخ به این پرسش، ضرورت دارد که ابتدا دو مسئله مورد بررسی قرار بگیرد؛ نخست اینکه اصولا نسبت شاخص‌های انرژی ایران با گذار انرژی در جهان که در بخش دوم و منطقه که در بخش سوم توضیح داده شد، به چه ترتیبی است؟ دوم، نظام سیاست‌گذاری کشور در این حوزه چه سیاست‌ها و برنامه‌هایی را برای آینده کشور ترسیم کرده است؟ با جستجوی پاسخ برای دو سوال دوم، در واقع یک توصیف وضعیت از حال بخش انرژی ایران ارائه خواهد شد که پیش‌شرط پرداختن به رابطه گذار انرژی جهانی و بخش انرژی ایران است. البته مورد اخیر، یک مسئله پیچیده، طولانی و نیازمند داده‌های عمیق‌تر و گسترده‌تر است، ولی یک روندپژوهی کلی که دستور کار این گزارش است، با استفاده از داده‌های موجود میسر خواهد بود.

۱) نگاهی کلی به شاخص‌های انرژی در ایران

در سال ۲۰۲۲ سهم سوخت‌های فسیلی در تولید برق ایران حدود ۹۴ درصد بود که در این میان ۷۹ درصد (۲۹۴ تراوات ساعت) از گاز، ۱۵ درصد (۵۴ تراوات ساعت) از سایر سوخت‌های فسیلی و ۰,۲ درصد (۰,۷ تراوات ساعت) از زغال‌سنگ تولید شده است. سهم برق آبی در سبد تولید برق ایران برابر با ۴,۵ درصد (۱۷ تراوات ساعت) و سهم

[1] purchasing power parity

[2] بر اساس ارزش دلار در سال ۲۰۱۵

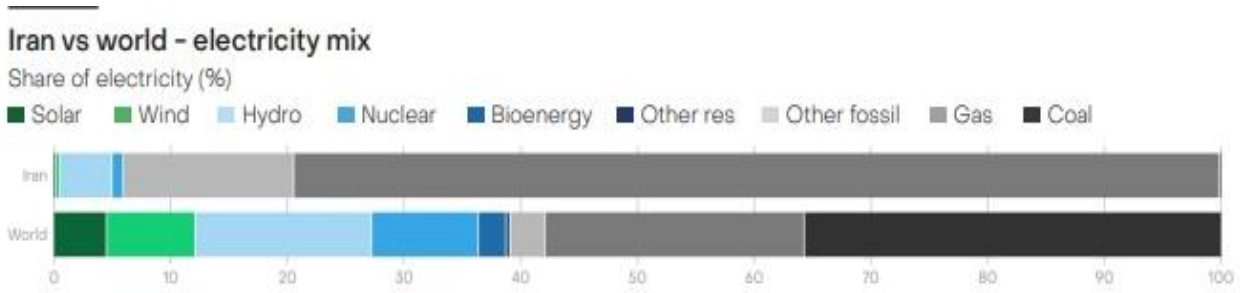
[3] ibid

[4] ibid

برق هسته‌ای برابر با یک درصد (۳,۵ تراوات) بوده است. در همین سال سهم انرژی حاصل از باد و خورشید در تولید برق موردنیاز کشور تنها ۰,۵ درصد (۱,۸ تراوات ساعت) بوده است.[1]

در سال ۲۰۲۲، بخش تولید برق ایران با اختصاص ۱,۵ درصد (۱۸۳ میلیون تن) از کل انتشار دی‌اکسیدکربن جهان به خود، در در جایگاه دهم شاخص ضریب انتشار کربن جهان قرار گرفته است. علاوه بر سهم پایین منابع پاک، سطح

نمودار ۱۰- مقایسه سهم حامل‌ها در تولید برق در ایران و جهان

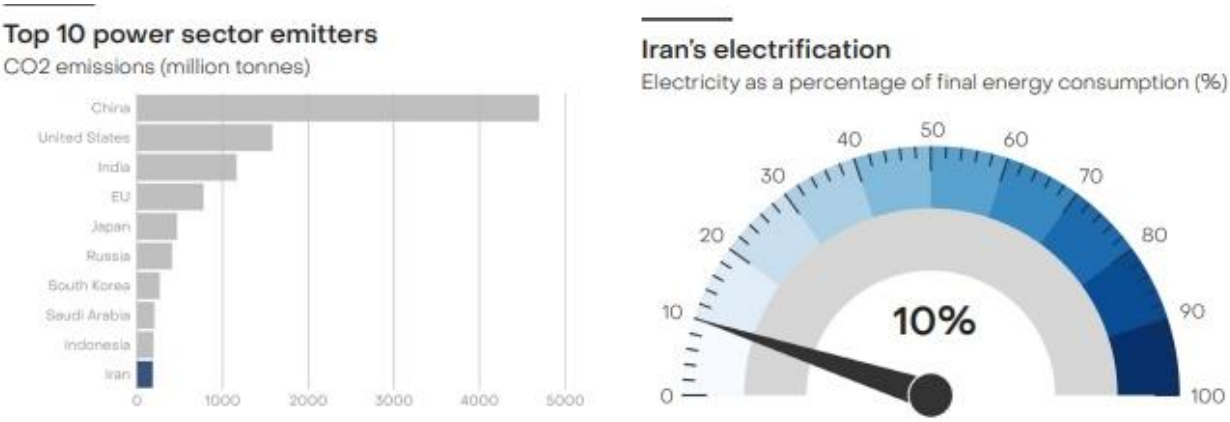


Source: International Energy Agency. License CC BY 4.0

تکنولوژیک و فرسودگی زیرساخت‌های تولید انرژی در این وضعیت سهم داشته است؛ به‌طوری‌که بر اساس آمارهای سال ۲۰۲۲ ضریب انتشار در بخش تولید برق ایران برابر با ۴۹۴ گرم دی‌اکسیدکربن به‌ازای هر کیلووات ساعت (۵۸ گرم بالاتر از میانگین جهانی) بوده است.

تقاضای سرانه سالانه برق در ایران برابر ۴,۲ مگاوات ساعت ارزیابی شده است که بالاتر از میانگین جهانی معادل ۳,۶ مگاوات ساعت است. همچنین سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای (۲,۱ تن دی‌اکسیدکربن) در ایران بیش از ۳۱ درصد بالاتر از میانگین جهانی (۱,۶ تن) بوده است.

نمودار ۱۱- سهم برق در مصرف نهایی انرژی در ایران و مقایسه انتشار کربن در ایران با کشورهای منتخب جهان



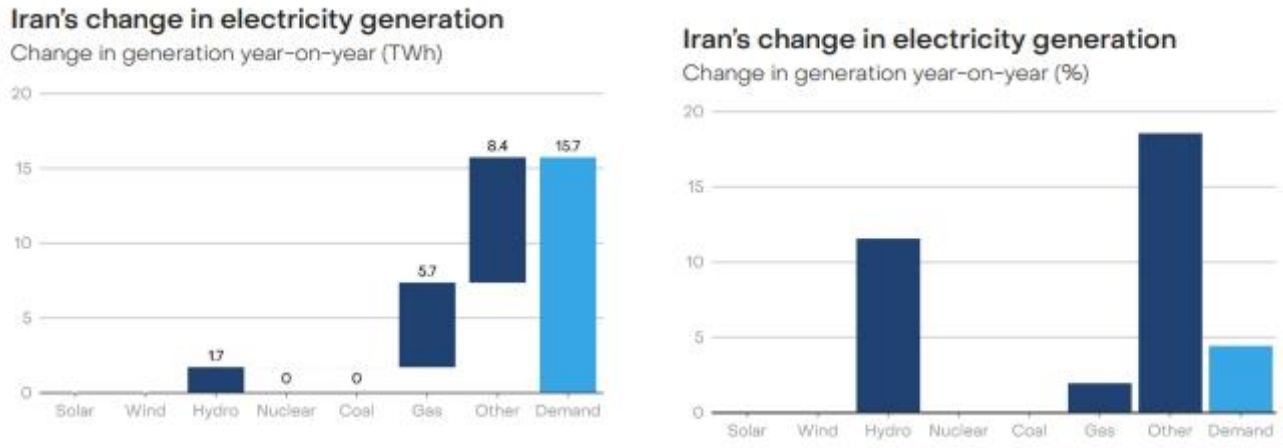
Source: Global Electricity Review 2023

[1] Global Electricity Review 2023, Available at: ember-energy.org/app/uploads/2024/11/Global-Electricity-Review-2023.pdf

در سال ۲۰۲۲ تقاضای برق در ایران به میزان ۴٫۴ درصد (۱۵٫۷ تراوات ساعت) افزایش‌یافته که به طور قابل‌توجهی بالاتر از افزایش تقاضای جهانی (۲٫۶ درصد) بوده است، هرچند این افزایش تفاوت چندانی با میانگین رشد تقاضای ایران در دوره ۲۰۲۱-۲۰۱۰ (معادل ۴ درصد) ندارد.

به دلیل وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی و افزایش تقاضا، انتشار دی‌اکسیدکربن ایران در سال ۲۰۲۲ به میزان ۳٫۸ درصد (۶٫۷ میلیون تن) افزایش یافت که بسیار بالاتر از افزایش انتشار ۱٫۳ درصدی در بخش برق جهانی بود.[1] در آن سال تولید برق از گاز با افزایش ۵٫۷ تراوات ساعت رشد (۲ درصد) بیشترین افزایش مطلق را تجربه کرد؛ درحالی‌که تولید برق از سایر سوخت‌های فسیلی با ۵٫۶ تراوات ساعت (۱۲ درصد) بیشترین درصد افزایش را داشتند. گاز و سایر سوخت‌های فسیلی مجموعا ۷۲ درصد از افزایش تقاضا را برآورده کردند؛ تولید برق آبی نیز در این سال ۱۲ درصد (۱٫۷ تراوات ساعت) رشد کرد که ۱۱ درصد از افزایش تقاضای برق را تامین کرد. ایران باقیمانده افزایش تقاضا (۱۷ درصد) را از طریق افزایش ۲٫۸ تراوات ساعتی واردات تامین کرد.

نمودار ۱۲- تغییرات مقدار و سهم منابع تولید برق در ایران



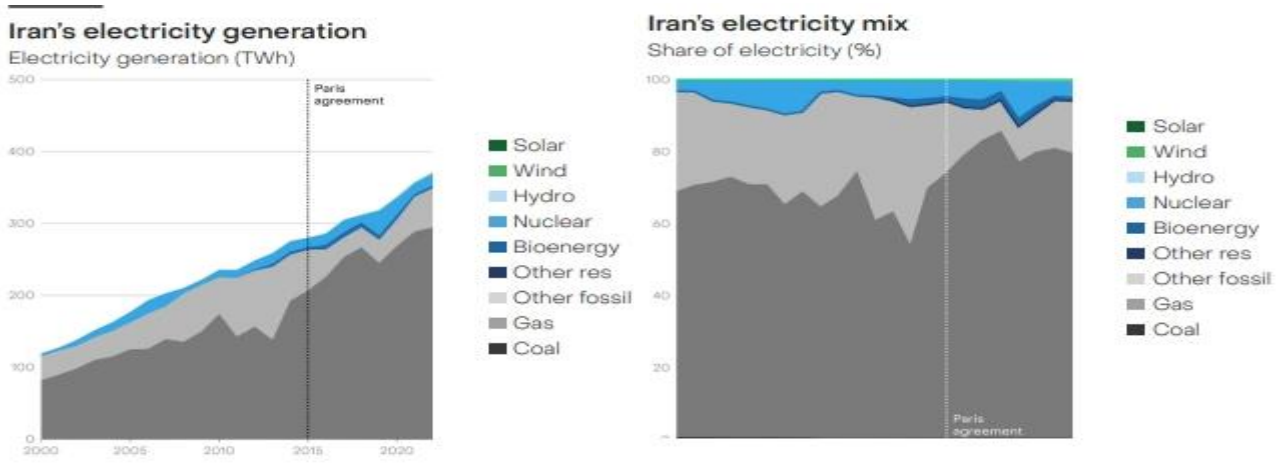
Source: Global Electricity Review 2023

تقاضای برق ایران در دو دهه گذشته ۲۱۲ درصد (۲۵۱ تراوات ساعت) رشد داشته است و از ۱۱۹ تراوات ساعت در سال ۲۰۰۰ به ۳۷۰ تراوات ساعت در سال ۲۰۲۲ رسیده است. ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن در سال ۲۰۲۲ (۴۹۴ گرم به‌ازای هر کیلووات ساعت) به دلیل افزایش بهره‌گیری از آب و باد و ورود انرژی خورشیدی به سبد انرژی ایران، کمی کمتر از سطح سال ۲۰۰۰ (۵۳۵ گرم) بوده است؛ بااین‌حال در مدت مشابه، به دلیل سلطه مطلق سوخت‌های فسیلی در تولید برق، کل انتشار دی‌اکسیدکربن سالانه در بخش برق ۱۸۷ درصد (۱۱۹ میلیون تن) افزایش‌یافته است.

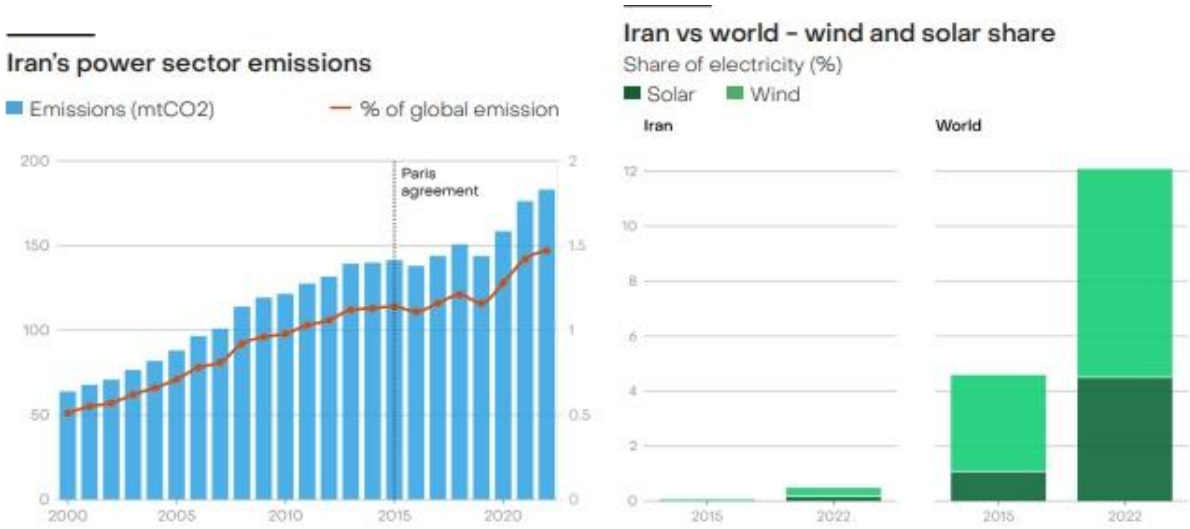
[1] ibid

از زمان توافق پاریس در سال ۲۰۱۵، انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش برق ایران ۲۹ درصد (۴۲ میلیون تن) افزایش‌یافته است. افزایش تقاضا از سال ۲۰۱۵ عمدتاً با تولید برق از گاز تامین شده است که برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد برق ۴۲ درصد (۸۷ تراوات ساعت) افزایش‌یافته است. در همان زمان، برق آبی ۲۵ درصد (۳,۴ تراوات ساعت) و برق هسته‌ای ۱,۱ درصد (۰,۰۴ تراوات ساعت) رشد کرده‌اند که منجر به کاهش ۳,۵ درصدی (۲

نمودار ۱۳- تغییرات سهم منابع تولید برق ایران



نمودار ۱۴- سهم باد و خورشید در تولید برق ایران و میزان انتشار کربن در بخش انرژی



Source: Global Electricity Review 2023

ایران تاکنون تاریخ مشخصی برای دستیابی به انتشار خالص صفر ارائه نکرده است. اگرچه برنامه‌هایی برای افزایش ۱۰ گیگاواتی تولید برق از منابع تجدیدپذیر بین سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۲۵ وجود دارد، اما وضعیت فعلی اقتصاد ایران، تحقق این برنامه‌ها را با ابهام‌های جدی روبه‌رو کرده است. گروهی از گزارشگران ویژه حقوق بشر سازمان ملل متحد در گزارشی با اشاره به وضعیت آلودگی هوا و تلفات انسانی ناشی از آن در ایران، تحریم‌های ایالات‌متحده را

[1] ibid

بزرگ‌ترین مانع توسعه انرژی‌های پاک در ایران دانسته‌اند. مطابق این گزارش تحریم‌ها شرکت‌های انرژی خارجی را وادار کرده است که پروژه‌های ساخت نیروگاه‌های خورشیدی بزرگ در ایران را – در مقیاسی که شرکت‌های داخلی قادر به انجام آن نیستند – کنار بگذارند. تحریم‌ها همچنین مانع مشارکت دانشمندان ایرانی در پروژه‌های تحقیقاتی مشترک محیط‌زیستی در خارج از کشور می‌شود و از دسترسی ایرانیان به پایگاه‌های اطلاعاتی آنلاین و دوره‌های آموزشی در مورد مسائل زیست‌محیطی و پایداری جلوگیری می‌کند؛ به عبارت دیگر تحریم‌های ایالات-متحده با سلب حق آموزش و بهره‌مندی از پیشرفت علمی مانع پیشرفت در حوزه‌های مربوط به محیط‌زیست در ایران می‌شود. این در حالی است که مجمع عمومی ملل متحد در ژوئیه ۲۰۲۲ قطعنامه‌ای را به تصویب رساند که حق بشر برای برخورداری از محیط‌زیست پاک، سالم و پایدار را به رسمیت می‌شناخت؛ قطعنامه‌ای که با حمایت ایالات‌متحده همراه بوده است.[۱]

۲) مرور اسناد بالادستی بخش انرژی

سند ملی راهبرد انرژی کشور[۲]، مهم‌ترین سند بالادستی کشور در زمینه انرژی محسوب می‌شود که خطوط کلی سیاست کلان انرژی کشور تا سال ۱۴۲۰ را مشخص کرده است. این سند ۲۶ چالش بخش انرژی کشور از جمله بالا بودن شدت انرژی و پایین بودن بهره‌وری، بالا بودن عمر مخازن نفت و گاز کشور و افت تولید طبیعی آن‌ها، نبود الگوی پالایشی مناسب در پالایشگاه‌های موجود کشور، بالا بودن تلفات در بخش‌های تولید، تبدیل و عرضه انرژی، محدودیت دسترسی به فناوری‌های نوین و تبعیت سیاست‌های صنعت نفت و گاز از میزان نیاز بودجه عمومی کشور را شناسایی و بنابر این چالش‌ها راهبردهای کلی بخش انرژی کشور را تا سال ۱۴۲۰ مشخص کرده است. بااین‌حال به جز موارد محدود همچون «کاهش شدت انرژی در کشور به نصف» و «افزایش حداقل پنج واحد درصد به ضریب بازیافت میادین نفتی»، سند فاقد هر گونه معیار کمی و سنجش‌پذیر برای بررسی میزان تحقق اهداف در افق ۱۴۲۰ است و عموما در کلیاتی همچون «حداکثرسازی، استفاده حداکثری، افزایش خوداتکایی و تنوع‌بخشی» متوقف شده است.

در بخش انرژی کشور، به تبع سند ملی راهبرد انرژی کشور، سایر اسناد خرد و بخشی همچون سند اهداف کلی توسعه بخش نفت و گاز،[۳] سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری سیستم‌های انتقال برق با ظرفیت بالا،[۴] سند راهبرد ملی و نقشهٔ راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی خورشیدی در ایران،[۵] سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی زمین‌گرمایی در ایران[۶] و سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعهٔ فناوری‌های مرتبط با انرژی زیست‌توده در ایران[۷] نیز در حد کلیات باقی مانده است و فاقد معیارهای ضروری تدوین اسناد ملی همچون شناسایی دقیق

---

[۱] Iran: US sanctions violating human rights of all living there, say UN experts

[۲] سازمان برنامه و بودجه

[۳] وزارت نفت

[۴] پژوهشگاه نیرو

تمامی اسناد منتشر شده پژوهشگاه نیرو به سفارش وزارت نیرو و کارفرمایی شرکت توانیر تدوین شده است.

[۵] پژوهشگاه نیرو

[۶] پژوهشگاه نیرو

[۷] پژوهشگاه نیرو

پتانسیل‌ها، میزان نیازها در افق طرح، سنجش‌پذیری میزان تحقق اهداف، موانع و چالش‌های پیش رو و شیوه تامین منابع به‌ویژه منابع مالی و دسترسی به تکنولوژی‌های موردنیاز هستند که به‌ویژه در شرایط تحریمی از اهمیت به سزایی برخوردار است.

برق

مطابق با آمارهای سال ۱۴۰۱، در سال‌های پس از ۱۳۵۷ مجموع قدرت نصب‌شده صنعت برق ۱۲,۹ برابر، تولید برق ۲۱,۱ برابر، طول خطوط انتقال و فوق توزیع ۹,۷ برابر، ظرفیت پست‌های انتقال و فوق توزیع ۱۶,۶ برابر، مصرف برق ۲۲,۴ برابر، تعداد مشترکان ۱۱,۷ برابر، طول خطوط فشار متوسط و ضعیف ۱۲,۳ برابر و تعداد روستاهای برخوردار از برق ۱۳,۴ برابر شده است؛ این در حالی است جمعیت کشور در این دوره تنها ۲,۴ برابر شده است. جدول زیر خلاصه وضعیت صنعت برق ایران در سال‌های منتخب را نشان می‌دهد.[۱]

شرح		واحد	۱۳۵۷	۱۳۶۷	۱۳۷۳	۱۳۷۸	۱۳۸۳	۱۳۸۹	۱۳۹۵	۱۴۰۱	متوسط رشد
قدرت	قدرت اسمی نیروگاه‌ها	MW	۷۰۲۴	۱۳۶۸۱	۲۰۴۱۳	۲۵۲۰۵	۳۷۳۰۰	۶۱۲۰۳	۷۶۴۲۸	۹۰۸۰۵	۶,۳
	میانگین قدرت عملی نیروگاه‌ها	MW	۶۳۶۲	۱۱۷۳۴	۱۹۳۲۶	۲۳۹۹۰	۳۳۸۰۱	۵۴۰۶۹	۶۶۵۹۸	۷۸۷۲۰	۶,۲
	حداکثر تقاضای هم زمان	MW	۳۶۴۳	۸۱۱۲	۱۴۴۲۴	۱۹۸۰۵	۲۹۲۶۷	۴۰۲۳۹	۵۳۱۹۸	۶۹۶۵۷	۷,۳
انرژی	مصرف داخلی نیروگاه‌ها	میلیون kWh	۸۳۵	۲۱۲۰	۳۶۱۶	۴۹۵۹	۷۱۱۳	۸۰۸۳	۸۲۸۴	۹۹۷۳	۶,۱
	تولید ویژه نیروگاه‌ها	میلیون kWh	۱۶۵۵۱	۴۱۶۵۵	۷۳۴۷۰	۱۰۲۲۴۸	۱۵۵۷۵۷	۲۲۴۹۱۱	۲۸۰۹۱۲	۳۵۷۴۶۰	۷,۶

[۱] ۵۶ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار (۱۳۴۶-۱۴۰۱)

	واردات	میلیون kWh			۳۴۰	۲۱۷۰	۳۰۱۵	۴۲۲۱	۴۰۴۱	
	صادرات	میلیون kWh			۱۹۷	۱۱۲۵	۱۸۳۷	۶۷۰۷	۶۶۸۰	۴۹۳۷	
	حداکثر تولید روزانه	میلیون kWh	۵۹	۱۳۴	۲۴۱	۳۶۰	۵۵۵	۸۵۱	۱۱۱۸	۱۳۴۵	۷,۷
	حداکثر موردنیاز روزانه	میلیون kWh	۶۰	۱۵۸	۲۳۹	۳۶۲	۵۶۵	۸۷۶	۱۱۲۷	۱۴۲۸	۷,۸
سوخت مصرفی	گاز	میلیون m^3	۱۳۸۰	۵۷۳۰	۱۲۵۴۱	۲۱۲۳۴	۳۲۶۸۱	۴۴۸۹۰	۶۱۷۸۲	۷۲۴۱۰	۹,۹
	گازوئیل	میلیون لیتر	۱۴۷۲	۱۵۱۷	۱۱۵۱	۱۰۷۳	۲۱۸۸	۵۹۱۹	۵۸۶۷	۱۰۵۶۹	۴,۸
	نفت کوره	میلیون لیتر	۱۰۱۵	۳۸۳۹	۵۸۸۷	۵۹۴۶	۵۷۳۶	۸۸۵۹	۴۴۸۴	۷۴۲۲	۴,۹
	متوسط راندمان واحدهای حرارتی	درصد	۲۶,۵	۳۰,۵	۳۲	۳۵,۱	۳۶,۵	۳۶,۶	۳۷,۸	۳۹,۱	۰,۳
توزیع	فروش برق	میلیون kWh	۱۴۱۴۵	۳۶۱۴۷	۶۳۶۲۵	۸۴۶۵۶	۱۲۴۴۶۶	۱۸۴۱۸۲	۲۳۷۴۳۶	۳۱۶۵۸۴	۷,۷
	تعداد مشترکین	هزار مشترک	۳۳۹۹	۸۸۲۶	۱۱۷۱۷	۱۴۸۷۵	۱۸۸۰۶	۲۵۶۹۳	۳۳۸۲۴	۳۹۶۲۰	۶

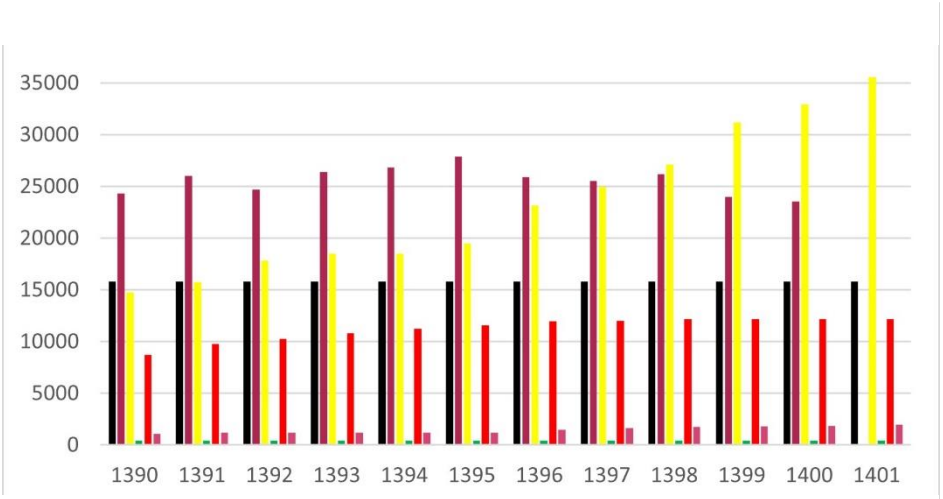
شاخص‌ها	متوسط مصرف مشترکین	kWh	۴۱۶۲	۴۰۹۶	۵۴۳۰	۵۶۹۱	۶۶۱۸	۷۱۶۹	۷۰۲۰	۷۹۹۰	۱,۶
	متوسط نرخ فروش بر حسب قیمت‌های جاری	ریال بر kWh	۲,۳	۵,۴	۳۲,۴	۸۰,۳	۱۵۱,۱	۲۰۸,۷	۶۶۲	۱۶۵۸	۱۷
	متوسط نرخ فروش بر حسب قیمت‌های ثابت ۱۳۹۵	ریال بر kWh	۱۶۶۴	۶۹۵	۱۳۱۹	۱۰۶۸	۱۰۳۹	۶۲۹	۶۶۲	۲۶۳	-۴,۳

همچنین تلفات کل برق در سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۴۰۱ به ترتیب برابر با ۱۲,۳، ۱۲,۰۷، ۱۱,۳۶، ۱۰,۹۸، ۱۰۳۲، ۹,۹۹، ۱۰,۲۶ و ۱۰,۳۱ درصد بوده است که به طور متوسط سالانه ۰,۲۸ کاهش یافته است.[1]

مجموع ظرفیت اسمی نیروگاه‌های کشور از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ از ۶۵۲۱۳ به ۹۰۸۰۵ مگاوات افزایش‌یافته است.

نمودار زیر این ظرفیت را به تفکیک نوع نیروگاه نشان می‌دهد:

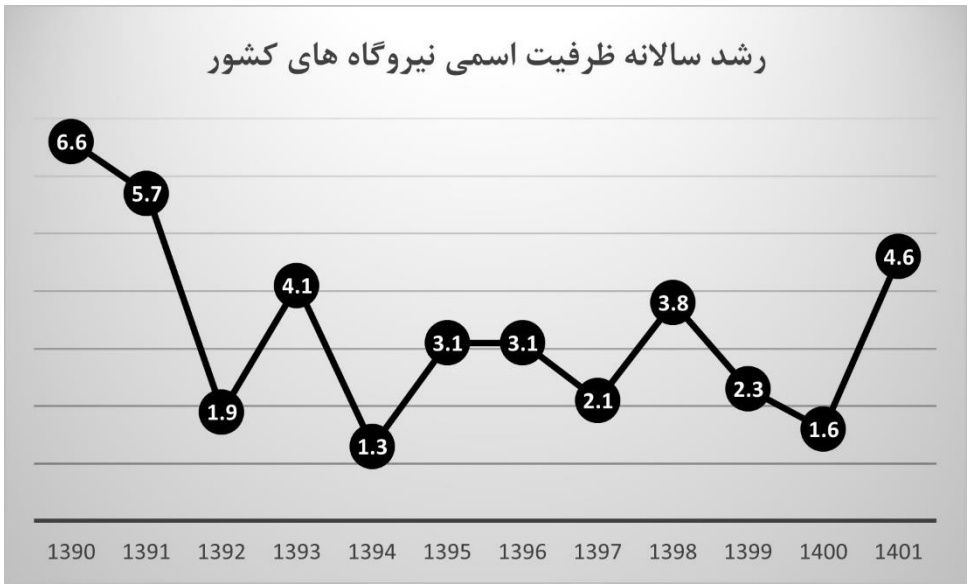
نمودار ۱۵- ظرفیت اسمی تولید برق از حامل‌های مختلف انرژی در نیروگاه‌های ایران



منبع: ۵۶ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار

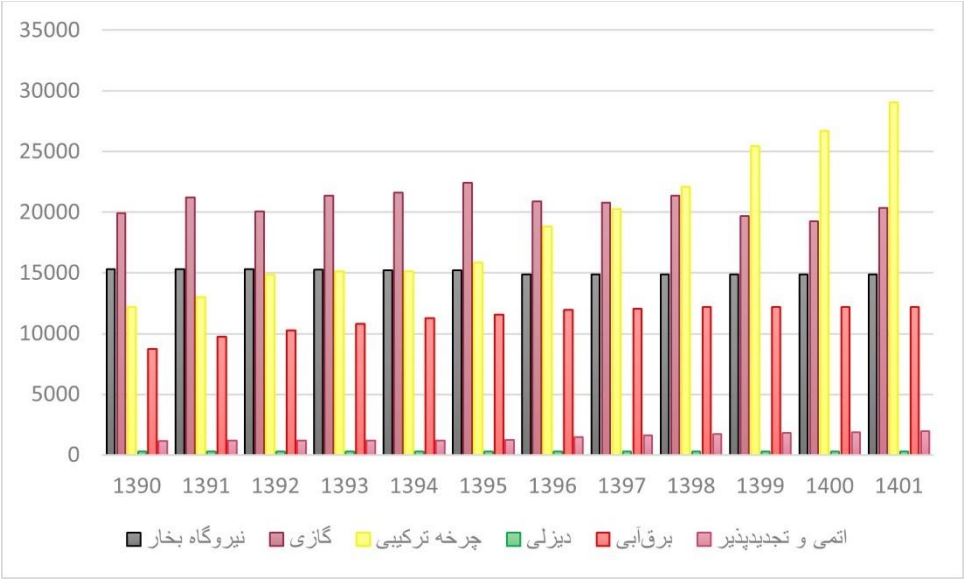
[1] همان

در خصوص رشد ظرفیت اسمی نیروگاه‌های کشور، نمودار زیر این رقم را به‌صورت سالانه نشان می‌دهد.[1]



همچنین ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۱ به تفکیک نوع نیروگاه‌ها در نمودار زیر نشان داده شده است:[2]

نمودار ۱۶- ظرفیت عملی تولید برق در نیروگاه‌های ایران



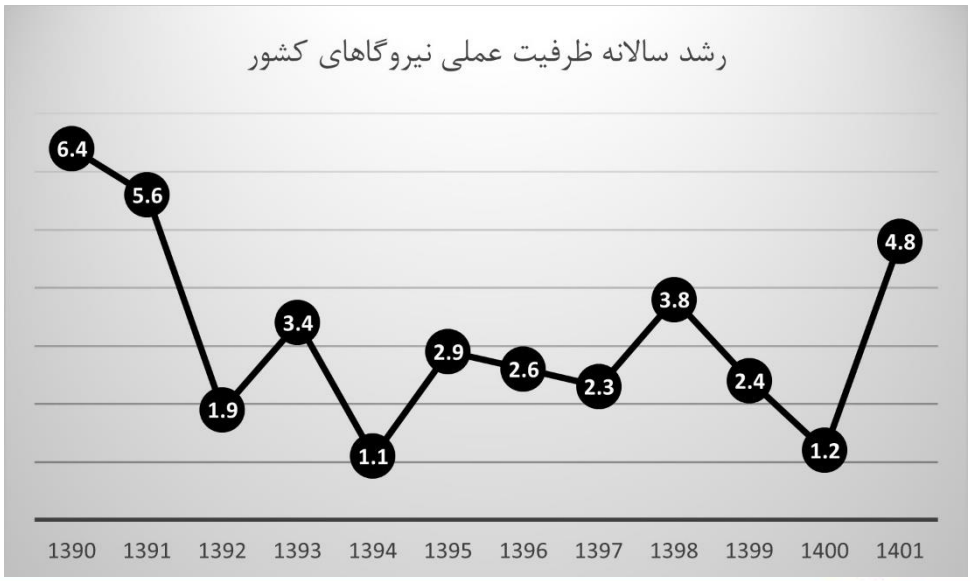
منبع: ۵۶ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار

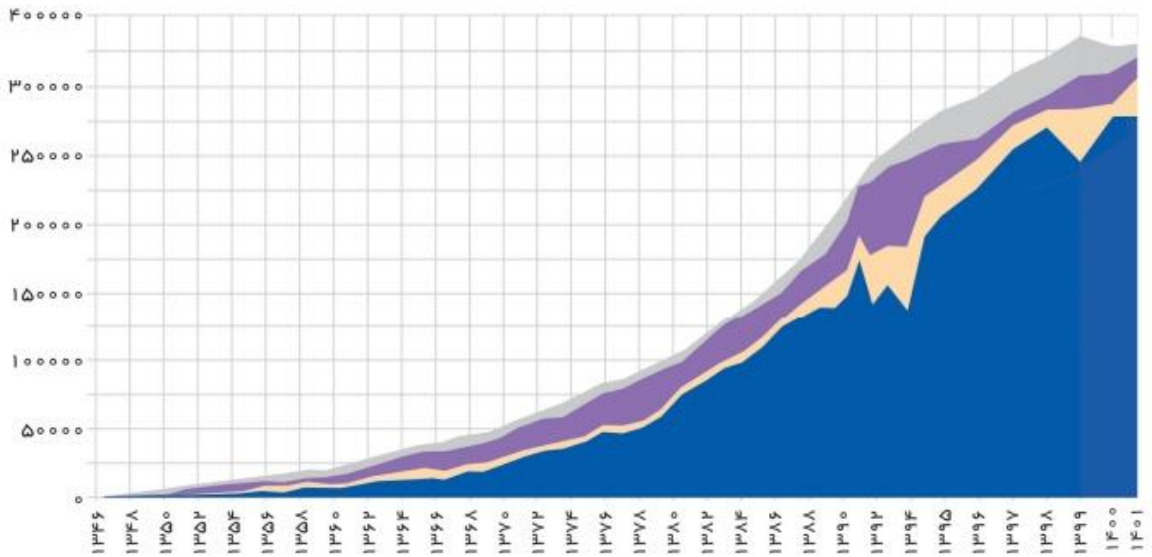
[1] همان

[2] همان

چنان که ملاحظه می‌شود تولید برق در نیروگاه چرخه ترکیبی در فاصله سال‌های مورد بررسی از افزایش قابل‌توجه داشته؛ به‌طوری‌که از سال ۱۳۹۸ این گونه از نیروگاه‌ها در جایگاه نخست قرار گرفته است. به‌علاوه روند رشد سالانه

نمودار ۱۷- رشد سالانه ظرفیت عملی تولید برق کل کشور

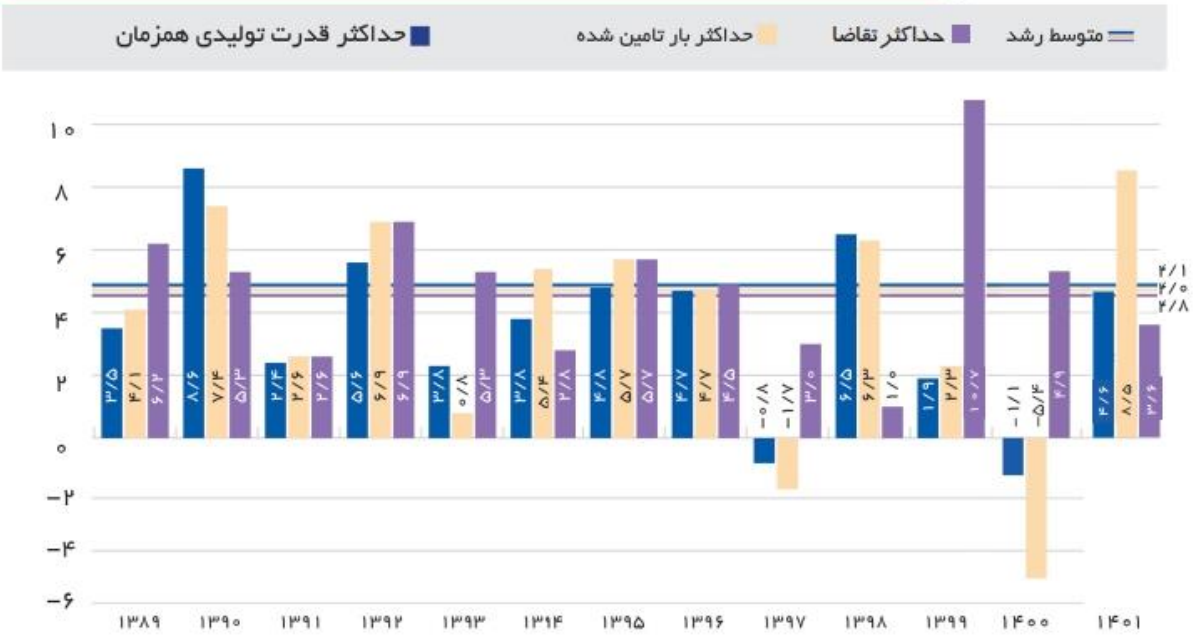




ظرفیت عملی تولید برق کل کشور در نمودار زیر نشان داده شده است.

آمارهای ارائه شده تصویری کلی از وضعیت صنعت برق ایران ارائه می‌دهد؛ نکته حائز اهمیت این است که هر چند در مورد انرژی، حداکثر تولید روزانه برق از سال ۵۷ تا ۱۴۰۱ با نرخ متوسط سالانه ۷,۷ رشد داشته است و این رقم برای حداکثر نیاز روزانه در همین دوره ۷,۸ بوده است و در همین حال دست‌کم از سال ۹۴ تلفات برق در فرایند تولید و توزیع کاهشی بوده است، در مورد قدرت نرخ رشد ظرفیت اسمی و عملی نیروگاه‌ها از سال ۵۷ تا ۱۴۰۱ به ترتیب ۶,۳ و ۶,۲ بوده، درحالی‌که این رقم برای حداکثر تقاضای هم‌زمان ۷,۳ بوده است. مقایسه رشد سالانه قدرت تولیدی، قدرت تامین شده و حداکثر تقاضا، تصویر روشن‌تری در این رابطه ارائه می‌دهد.

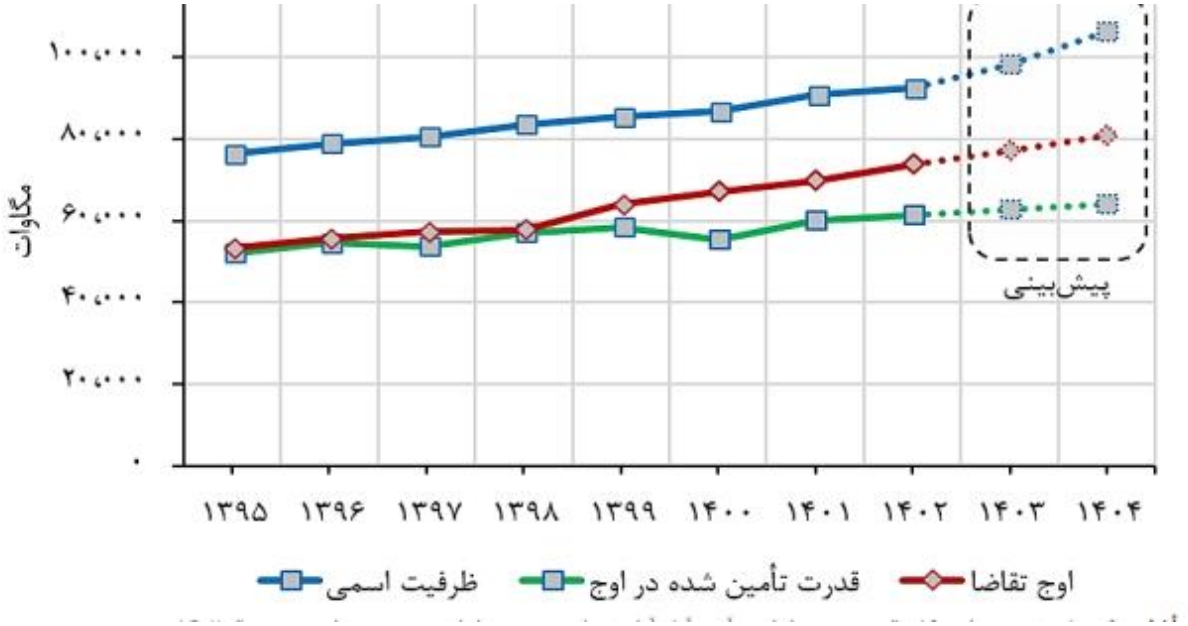
نمودار ۱۸– روند رشد سالیانه قدرت تولیدی، قدرت تامین شده و حداکثر تقاضا



در نتیجه این وضعیت روند ناترازی برق کشور که از سال ۱۳۹۲ آغاز شده بود، از سال ۱۴۰۰ شدت یافته و اختلاف میان تقاضای نقطه پیک مصرف و قدرت تأمین شده در سال ۱۴۰۲ به بیش از ۱۲ هزار و ۴۰۰ مگاوات رسیده است. روند رشد ظرفیت اسمی، قدرت تامین شده در اوج و حداکثر تقاضا در نمودار زیر مشخص شده است:[1]

[1] گزارش پایش شاخص‌های کلان بخش برق

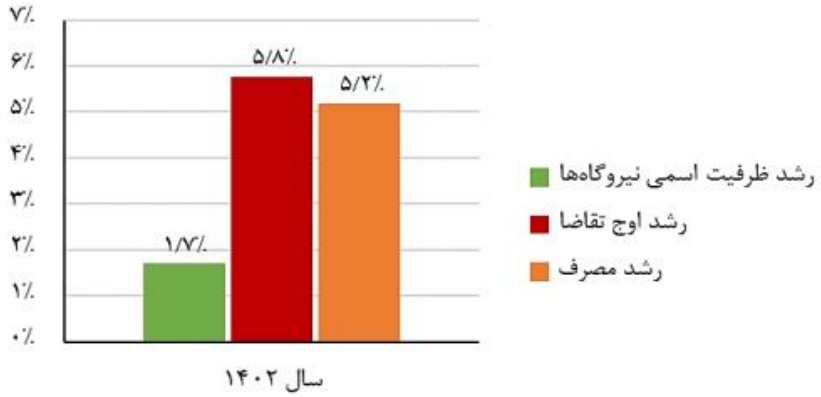
نمودار ۱۹-تغییرات اوج تقاضا، قدرت تامین شده و ظرفیت اسمی برق ایران از سال ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۴

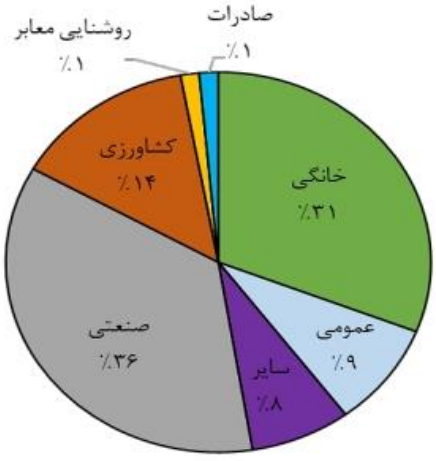


منبع: ۵۶ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار

این ارقام به‌علاوه مصرف در بخش‌های مختلف برای سال ۱۴۰۲ در دو نمودار زیر نشان داده شده است:

نمودار۲۰- تغییرات رشد اوج تقاضا و ظرفیت نیروگاه‌ها و سهم بخش‌های مختلف در مصرف برق در سال ۱۴۰۲





منبع: ۵۶ سال صنعت برق ایران در آیینه آمار

سوخت‌های فسیلی

الف) نفت

میادین نفتی ایران دارای چالش‌های متعددی هستند که در سند ملی راهبرد انرژی کشور به دو چالش بالابودن عمر مخازن نفت و گاز کشور و افت تولید طبیعی آن‌ها و همچنین پایین‌بودن ضریب بازیافت مخازن نفتی و عدم اجرای کامل طرح‌های افزایش برداشت (از جمله تحقق‌نیافتن کامل اهداف برنامه تزریق گاز به مخازن نفتی در سال‌های اخیر به دلیل کمبود گاز و افزایش مصرف) اشاره شده است. همچنین در این سند دولت مکلف به توسعه و بهره‌برداری حداکثری از کلیه میادین مشترک نفتی و گازی[1] در راستای حفظ منافع ملی کشور شده است.

تا پایان سال ۱۴۰۰ مجموع ذخایر قابل استحصال نفت خام، مایعات و میعانات گازی کشور به ترتیب معادل ۱۰۶,۷ و ۵۱,۳ و در مجموع ۱۵۸ میلیارد بشکه بوده که این میزان نسبت به سال قبل ۱,۱ میلیارد بشکه (۰,۷ درصد) کاهش داشته است.

ایران به‌منظور حفظ جایگاه خود در بازارهای بین‌المللی تلاش دارد ضمن افزایش فعالیت‌های اکتشافی در زمینه ذخایر متعارف، به ذخایر غیرمتعارف خود در مناطق البرز مرکزی، قالی کوه و زرد کوه استان لرستان و دشت مغان آذربایجان نیز توجه کند. تخمین زده می‌شود که ذخایر گسترده‌ای از شیل نفتی و شیل گازی در شمال و جنوب کشور وجود داشته باشد. با این هدف وزارت نفت در نظر دارد فعالیت‌های اکتشاف خود را در خصوص این منابع غیرمتعارف در سه زیر مجموعه شیل نفتی، شیل گازی و هیدرات‌های گازی دنبال کند.[2]

نفت خام تولیدی مناطق خشکی کشور ضمن تامین خوراک پالایشگاه‌های بندرعباس، آبادان، کرمانشاه، شیراز، اصفهان، اراک، تهران و تبریز جهت صادرات نیز استفاده می‌شود. همچنین نفت خام تولیدی مناطق دریایی بهرگان، خارک و سیری جهت صادرات و منطقه لاوان نیز پس از تأمین خوراک پالایشگاه لاوان صادر می‌شود. یکی از چالش‌های پیش روی صنعت نفت کشور بالابودن عمر مخازن نفتی و افزایش سهم تولید نفت سنگین و فوق سنگین در سبد تولید نفت خام کشور است. در ارتباط با صادرات نفت خام در سال ۱۴۰۰، فقدان امنیت تقاضا و نبود مشتریان راهبردی از جمله چالش‌ها معرفی شده است؛ بااین‌حال به واسطه تداوم تحریم‌های ایالات‌متحده علیه صنایع نفت و گاز ایران، آمارهای این حوزه محرمانه عنوان شده است.[3]

بخش پالایش نفت ایران توسط ۱۰ پالایشگاه داخلی با ظرفیت اسمی ۲۱۶۸ هزار بشکه نفت خام و میعانات گازی در روز به‌منظور تامین نیازهای انرژی داخلی کشور، تامین بخشی از خوراک صنایع و واحدهای پتروشیمی و صادرات

[1] به استثنای بحرین، ایران دارای میادین مشترک نفتی و گازی با تمام کشورهای حاشیه خلیج فارس از جمله عراق است.

[2] تخمین زده شده است که ایران در مجموع دارای ۱۵۸ میلیارد بشکه نفت شیل قابل برداشت است.

میزان نفت شیل به لحاظ فنی قابل برداشت در ۹ کشور نفت‌خیز جهان (میلیارد بشکه)								
ایالات متحده	ونزوئلا	عربستان سعودی	کانادا	ایران	عراق	کویت	امارات متحده عربی	روسیه
۹۸۲	۲۹۸	۲۶۸	۱۷۳	۱۵۸	۱۴۴	۱۰۴	۹۸	۸۰

source: Institute for Energy Research (IER): instituteforenergyresearch.org/topics/encyclopedia/oil-shale/

[3] ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۰

مقداری از فرآورده‌های مازاد بر مصرف داخلی فعالیت دارد. در سال ۱۴۰۰ عملکرد واقعی پالایشگاه‌های کشور ۲۱۵۹.۹ هزار بشکه نفت و میعانات گازی در روز بوده است.

در سال ۱۴۰۰ روزانه ۳۳۲.۲ میلیون لیتر انواع فرآورده نفتی در کشور تولید شده که حدود ۷۹.۵ درصد آن به تولید نفت گاز، بنزین موتور و نفت کوره سبک اختصاص داشته است. نفت سفید با ۰,۸۸، نفت کوره سنگین با ۰,۴۵، حلال‌ها با ۰,۴۴ و گاز مایع با ۰,۴۲ هزار مترمکعب در روز بیشترین کاهش و نفت کوره سبک با ۸,۱۹، بنزین با ۱,۹۲، نفتای سبک با ۱,۷۹ و نفت گاز با ۱,۷۶ هزار مترمکعب در روز بیشترین افزایش را نسبت به سال ۱۳۹۹ داشته‌اند.[۱] جدول زیر سهم مهم‌ترین فراورده‌های پالایشگاهی را در دو سال ۱۳۹۲ و ۱۴۰۰ مقایسه کرده است.

سال	گاز مایع	بنزین	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره سبک	نفت کوره سنگین	سایر فرآورده‌ها	جمع
۱۳۹۲	۳,۴	۲۰,۸	۴,۳	۳۳,۶	۸,۲	۱۸,۵	۱۱,۲	۱۰۰
۱۴۰۰	۳,۲	۲۸,۲	۱,۸	۳۱,۷	۱۹,۶	۰,۱	۱۵,۴	۱۰۰

در سند ملی راهبرد انرژی کشور به چالش نبود الگوی پالایشی مناسب در پالایشگاه‌های موجود و تولید فرآورده‌های با کیفیت پایین اشاره شده است. سند وزارت نفت را مکلف به ارتقای کمی و کیفی محصولات زنجیره نفت خام و گاز (پالایشی و پتروشیمیایی) با رویکرد ایجاد حداکثر ارزش افزوده از طریق ارتقای فناوری و تولید محصولات متناسب با استانداردهای روزآمد کرده است.

در حوزه ذخیره‌سازی نیز، در سال ۱۴۰۰ ظرفیت کل ذخیره‌سازی نفت و میعانات گازی در انبارهای پالایشگاهی برابر با ۲۴,۲ میلیون بشکه بوده است که افزایش ۳۶۱,۶ هزار بشکه‌ای را نسبت به سال پیش از آن نشان می‌دهد. در این سال ظرفیت ذخیره‌سازی انبارهای نفت خام پالایشگاهی به طور متوسط برای ۱۲,۱ روز کفایت می‌کرده است. این ظرفیت برای پالایشگاه لاوان کمتر از ۱۰ روز و برای سایر پالایشگاه‌ها بین ۱۰ تا ۲۱,۲ روز بوده است. همچنین در سال ۱۴۰۰ حجم کل ذخیره‌سازی فرآورده‌های نفتی در پالایشگاه‌های کشور بالغ بر ۵۰,۱ میلیون بشکه بوده است.[۲]

در بخش مصرف فراورده‌های نفتی، آمارهای سال ۱۴۰۰ نشان می‌دهد که مصرف بنزین به ۳۱۸۵۱,۴ میلیون لیتر رسیده که افزایش ۱۵ درصدی را نسبت به سال ۱۳۹۹ نشان می‌دهد؛[۳] در این سال بخش حمل‌ونقل ۹۹,۷ درصد از کل مصرف بنزین در کشور را به خود اختصاص داد. در سطح استانی، بیشترین مصرف بنزین مربوط به استان‌های تهران، اصفهان و خراسان رضوی و کمترین میزان مصرف بنزین مربوط به استان‌های ایلام، خراسان شمالی و کهگیلویه و بویراحمد بوده است.

---

[۱] همان

[۲] همان

[۳] باید به یاد داشت که سال ۱۴۰۰ سال پایان محدودیت‌های کرونایی بوده است.

مصرف نفت سفید در سال ۱۴۰۰ به ۱۷۲۵,۷ میلیون لیتر رسید که در مقایسه با سال پیش از آن ۱۹,۵ درصد کاهش داشته است. گسترش روزافزون مصرف گاز طبیعی در خانوارهای شهری و روستایی و نیز الکترونیکی شدن توزیع این فرآورده عمده‌ترین دلیل این کاهش بوده است. مصرف این فرآورده عمدتا در بخش‌های مصارف غیر انرژی به میزان ۲۴۹,۷، بخش خانگی ۲۰۱,۲ و بخش صنعتی ۲۴,۷ میلیون لیتر نسبت به سال قبل کاهش داشته است. در این سال بیشترین مصرف نفت سفید مربوط به استان‌های سیستان و بلوچستان، آذربایجان غربی و کرمانشاه و کمترین مصرف این فرآورده مربوط به استان‌های قم، بوشهر، هرمزگان و مرکزی بوده است.

مصرف نفت گاز نیز با ۳,۱ درصد افزایش نسبت به سال ۱۳۹۹ به ۳۸۴۱۰ میلیون لیتر رسید. مصرف این فرآورده در بخش‌های صنعتی (به استثنای مصارف صنایع بزرگ) به میزان ۲۸۲ میلیون، حمل‌ونقل ۱۳۰۱,۳ میلیون و نیروگاهی (نیروگاه‌های وزارت نیرو) ۱۹,۱ میلیون لیتر افزایش داشته است. بخش حمل‌ونقل در مجموع با سهمی حدود ۵۴,۹ درصد بزرگ‌ترین مصرف کننده نفت گاز کشور است. از جمله دلایل افزایش مصرف نفت گاز در سال مزبور می‌توان به افزایش مناطق توزیع نفت گاز یورو ۴، استفاده از خودروهای فرسوده و عدم جایگزینی آن‌ها و قاچاق این فرآورده اشاره کرد. در این سال بیشترین مصرف نفت گاز مربوط به استان‌های اصفهان، خراسان رضوی و کرمان و کمترین مصرف مربوط به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، ایلام و چهار محال و بختیاری بوده است.

همچنین در سال ۱۴۰۰ مصرف نفت کوره به ۸۵۱۵.۲ میلیون لیتر رسید که نسبت به سال گذشته به میزان ۱۹.۴ درصد افزایش داشته است. این امر عمدتا ناشی از افزایش مصرف نفت کوره در بخش‌های نیروگاهی و صنعتی بوده که نسبت به سال قبل به ترتیب به میزان ۸۷۹.۴ و ۵۲۶,۶ میلیون لیتر افزایش داشته است. در این سال نیروگاه ها با سهمی معادل ۷۹.۵ درصد بیشترین مصرف‌کننده نفت کوره بوده‌اند. در این سال بیشترین مصرف نفت کوره مربوط به استان‌های مازندران، همدان و قزوین و کمترین مصرف مربوط به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد، لرستان و البرز بوده است.

مصرف گاز مایع نیز در سال ۱۴۰۰ با ۷,۲ درصد کاهش نسبت به سال ۱۳۹۹ به ۳۳۶۲.۴ میلیون لیتر رسید. این کاهش عمدتا ناشی از کاهش مصرف گاز مایع در بخش‌های صنعتی-تجاری و خدماتی-عمومی بوده که نسبت به سال قبل به ترتیب به میزان ۴۱۳,۴ و ۹.۳ میلیون لیتر کاهش داشته‌اند. از دیگر عوامل کاهش مصرف گاز مایع می‌توان به روند کاهشی میزان عرضه گاز مایع به دلیل اجرای طرح‌های توزیع الکترونیکی و توسعه گازرسانی در کشور اشاره کرد. بخش خانگی با سهمی معادل ۹۶,۴ درصد بیشترین مصرف‌کننده گاز مایع در کشور بوده است؛ در سال ۱۴۰۰ بیشترین مصرف گاز مایع مربوط به استان‌های تهران، سیستان و بلوچستان و فارس و کمترین مصرف مربوط به استان‌های کهگیلویه و بویر احمد، ایلام و خراسان شمالی بوده است.[۱]

ب) گاز طبیعی

در سال ۱۴۰۰ تعداد ۲۱ میدان گازی شامل ۱۷ میدان گازی در مناطق خشکی (دو میدان شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب – سازندی، دو میدان شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب – گنبدی و ۱۳ میدان شرکت ملی مناطق مرکزی

[۱] همان

ایران – میادین مستقل گازی) و چهار میدان در مناطق دریایی (یک میدان شرکت نفت و گاز پارس، یک میدان شرکت نفت فلات قاره ایران – سازندی و دو میدان شرکت نفت فلات قاره ایران – میادین مستقل گازی) فعال بوده است.

در سال ۱۴۰۰ کل میزان ذخایر قابل‌استحصال گاز طبیعی به ۳۲.۶ تریلیون مترمکعب رسید که ۵۷,۹ درصد این ذخایر در مناطق دریایی و مابقی در مناطق خشکی قرار دارند. بر اساس آخرین آمار منتشر شده اوپک در سال ۲۰۲۱، روسیه با ۴۷,۸ تریلیون مترمکعب ذخایر گازطبیعی حدود ۲۳,۲ درصد از ذخایر گازطبیعی جهان را دراختیار دارد و جایگاه نخست کشورهای دارنده ذخایر گازی جهان را به خود اختصاص داده است و ایران پس از روسیه با حدود ۱۶,۵ درصد از ذخایر گاز طبیعی جهان جایگاه دوم را دارد.

یکی از چالش‌های بخش انرژی کشور پایین‌بودن ضریب بازیافت مخازن نفتی و عدم اجرای کامل طرح‌های ازدیاد برداشت از جمله عدم تحقق کامل اهداف برنامه تزریق گاز به مخازن نفتی، به دلیل کمبود گاز و افزایش مصرف بوده است. تزریق متناوب آب و گاز عمدتا در میادینی استفاده می‌شود که فشار داخلی مخزن به حدی پایین است که تولید هیدروکربن‌ها به لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست. وزارت نفت بر اساس قانون برنامه ششم توسعه اقتصادی کشور موظف است تمهیدات لازم برای افزایش یک‌درصدی ضریب بازیافت مخازن نفتی را اتخاذ کند که این امر مستلزم افزایش تزریق گاز و آب به مخازن نفتی است. علی‌رغم این موضوع، در سال ۱۴۰۰ میزان تزریق گاز و آب به ترتیب ۲۶,۳ میلیون مترمکعب گاز در روز و ۷۸,۷ میلیون بشکه آب در سال بوده است که نسبت به سال قبل به ترتیب ۱۳,۵ درصد (۴,۱ میلیون مترمکعب در روز) و ۱۱ درصد (۹.۷میلیون بشکه در سال) کاهش داشته است. [۱]

در ایران هشت پالایشگاه گاز شامل مجتمع پارس جنوبی، فجر، جم، پارسیان، هاشمی‌نژاد، بید بلند، سرخون و قشم، ایلام، مسجدسلیمان و چهار واحد نم‌زدایی شامل: نم‌زدایی گورزین، دالان، سراجه و شوریجه وجود دارد که خوراک این پالایشگاه‌ها و واحدها عمدتا از مخازن گاز نار و کنگان، مزدوران، شوریجه، گنبدلی، آغار، آغاجاری، نفت سفید، سرخون، گورزین و دالان سراجه، پارس جنوبی، تنگ بیجار، تابناک، شانول، وراوی و هما تأمین می‌شود. مجتمع گاز پارس جنوبی در سال ۱۴۰۰ شامل فازهای (۱)، (۲–۳)، (۵–۴)، (۶–۷–۸)، (۱۰–۹)، (۱۲)، (۱۳)، (۱۴)، (۱۶–۱۵)، (۱۷–۱۸)، (۱۹)، (۲۱–۲۰) و (۲۴ ۲۳ و ۲۲) بوده است. فاز ۱۴ این مجتمع نیز در اسفندماه سال ۱۴۰۰ به بهره‌برداری رسید.

ظرفیت اسمی پالایشگاه‌های گاز و واحدهای نم‌زدایی کشور در سال ۱۴۰۰ روزانه ۱۰۵۲.۸ میلیون مترمکعب بوده است که از این میزان ظرفیت پالایشی ۱۰۳۰.۸ میلیون مترمکعب در روز تحت مالکیت شرکت ملی گاز ایران و ۲۲ میلیون مترمکعب در روز در اختیار شرکت ملی نفت ایران است. از اهداف شرکت ملی گاز ایران در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ تولید و پالایش روزانه ۱۲۰۰ مترمکعب گاز طبیعی تعیین شده که ۸۵.۹ درصد این برنامه تحقق یافته است.

در سال ۱۴۰۰ مجموعا ۲۶۷,۸ میلیارد مترمکعب گاز وارد پالایشگاه‌های گاز کشور شده که ۸,۲ میلیارد مترمکعب آن صرف سوخت پالایشگاه‌ها، ۳,۷ میلیارد مترمکعب صرف گازهای اسیدی، ۲.۴ میلیارد مترمکعب در مشعل سوزانده

[۱] همان

شده و در نهایت پس از تولید گوگرد، مایعات گازی و اتان، بوتان، پروپان ۲۴۶٫۱ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی از پالایشگاه‌های گاز به خطوط انتقال ارسال شده است. در این سال ۹۱٫۹ درصد گاز تحویلی به خطوط لوله توسط پالایشگاه‌ها و مابقی آن توسط کارخانه‌های گاز و گاز مایع خوزستان و تاسیسات نم‌زدایی تامین شده است؛ در مجموع در سال ۱۴۰۰ با احتساب ۵ میلیارد مترمکعب گاز طبیعی وارداتی، کل گاز تحویل شده به خطوط لوله برابر با ۲۶۷٫۷ میلیارد مترمکعب بوده است. ضمن اینکه در پایان سال ۱۴۰۰، مجموع خطوط لوله کشور برابر با ۳۸ هزار کیلومتر بوده است.[۱]

همچنین در بخش ذخیره‌سازی کل ظرفیت کشور در پایان سال ۱۴۰۰ برابر با ۳٫۴ میلیارد مترمکعب در مخازن طبیعی کشور (سراجه قم و شوریجه خراسان رضوی) است. در این سال حجم گاز دریافتی این دو مخزن با ۱۲٫۳ درصد کاهش به ۲٫۶ میلیارد مترمکعب رسید که ۰٫۱ میلیارد مترمکعب آن صرف سوخت تاسیسات شد؛ به عبارت دیگر در سال ۱۴۰۰ مجموع گاز تزریقی به مخازن ذخیره‌سازی کشور (۲٫۵ میلیارد مترمکعب) ۱۲٫۷ درصد کاهش را نسبت به سال ۱۳۹۹ نشان می‌دهد. این در حالی است که میزان برداشت گاز از مخازن ذخیره کشور برابر با ۲٫۶۹ میلیارد مترمکعب بوده است که از این میزان ۲٫۶۶ میلیارد مترمکعب وارد خطوط سراسری شده است. در پایان سال ۱۴۰۰ حجم گاز باقی مانده در مخازن ذخیره‌سازی کشور با ۱۷٫۴ درصد کاهش به ۱۲۸۹ میلیون مترمکعب رسیده است.

در بخش صادرات، عواملی چون تداوم تحریم‌ها، مصرف داخلی بالا و تاخیر در بهره‌برداری از طرح‌های توسعه استخراج از فازهای مختلف پارس جنوبی مانع از تحقق پتانسیل‌های کشور در این بخش، باتوجه‌به حجم منابع شده است؛ به‌طوری‌که مطابق با آمارهای سال ۲۰۲۲ در فهرست بزرگ‌ترین صادرکنندگان گاز جهان، ایران با ۱۹ میلیارد مترمکعب در جایگاه پانزدهم قرار گرفته[۲] و در سال ۱۴۰۰ صادرات گاز ایران منحصر به همسایگان (عراق، ترکیه، ارمنستان و نخجوان) بوده که با ۱٫۸ درصد افزایش نسبت به سال ۱۳۹۹ به ۱۷٫۲ میلیارد مترمکعب رسیده است. همچنین در این سال مجموع واردات گاز کشور برابر با ۵۲۰ میلیون مترمکعب بوده است که افزایش ۶۷٫۷ درصدی را نشان می‌دهد.

در بخش گازرسانی ملی، در پایان سال ۱۴۰۰ مجموع خطوط داخلی برابر با ۴۱۲٫۴ هزار کیلومتر بوده که گاز را به ۱۲٫۷ میلیون مشترک در بخش‌های خانگی، صنعتی و تجاری (۲۶٫۵ میلیون مصرف‌کننده) رسانده است (۳۴۰٫۸ هزار انشعاب و ۸۹۵٫۱ هزار مصرف‌کننده در سال ۱۴۰۰).[۳]

در خصوص مصرف، مصرف گاز طبیعی به دو بخش مصارف نهایی و مصارف مولد انرژی (سوخت پالایشگاه‌های نفت و گاز، ایستگاه‌های تقویت فشار سوخت، توربین‌ها و دیزل‌ژنراتورهای موجود در مسیر خطوط لوله و گاز مصرفی در نیروگاه‌ها، مصارف واحدهای کوره بلند، واحدهای کک‌سازی، مصارف تلمبه‌خانه‌ها و خوراک واحدهای هیدروژن‌سازی) تقسیم می‌شود. بخش مصرف نهایی نیز خود به دو بخش مصارف نهایی انرژی (در بخش‌های خانگی، تجاری، عمومی، صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی و سوخت پتروشیمی‌ها) و مصارف نهایی غیر انرژی (خوراک

---

[۱] همان

[2] US Energy Information Administration (EIA)

[۳] ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۰

پتروشیمی‌ها) تقسیم می‌شود. در سال ۱۴۰۰ کل مصرف گاز طبیعی کشور ۲۴۱,۵ میلیارد مترمکعب بوده است که ۰,۷ درصد افزایش را نسبت به سال ۱۳۹۹ نشان می‌دهد؛ در این سال ۶۱,۱ درصد سهم مصارف نهایی و ۳۸,۹ درصد سهم مصارف مولد انرژی بوده است که به ترتیب ۲,۷ درصد (۴,۲ میلیارد مترمکعب) کاهش ۶,۷ درصد (۵,۹ میلیارد مترمکعب) افزایش را نشان می‌دهد.

در سال ۱۴۰۰ بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان نهایی گاز طبیعی به ترتیب با ۴۱.۲ و ۳۷,۲ درصد بخش‌های خانگی و صنعت (شامل واحدهای پتروشیمی) بوده‌اند. همچنین مصرف گاز در بخش نیروگاهی از ۶۷,۳ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۹ به ۷۳,۳ میلیارد مترمکعب در سال ۱۴۰۰ رسید؛ نیروگاه‌ها ۳۰.۳ درصد از مصرف گاز طبیعی کشور را به خود اختصاص داده‌اند. در نهایت سرانه مصرف گاز طبیعی کشور در سال۱۴۰۰ مشابه سال ۱۳۹۹ برابر با ۲۸۷۳۰ مترمکعب بوده است.[۱]

بخش پنجم: جمع‌بندی و توصیه‌های سیاست‌گذاری

این گزارش به یکی از مهم‌ترین مسائل مبتلا به جهان که از قضا و به دلایلی تا حدی متفاوت، مسئله روز ایران نیز هست، اختصاص داشت. گذار انرژی در سطح جهان از حساس‌ترین موضوعات زمان ما است؛ این حساسیت هم به لحاظ بعد مقیاسی پیامدهای آن و هم حساسیت به زمان قابل‌طرح و بحث است که در این گزارش به طور مفصل به ابعاد آن پرداخته شد و تصویر یک بحران در جریان را به نمایش گذاشت. در ایران، بحث گذار انرژی با بحث ناترازی انرژی پیوند می‌خورد و به‌نوعی، یک بحران مضاعف برای دستگاه سیاست‌گذاری کشور ایجاد می‌کند. به‌این‌ترتیب که ازیک‌طرف کشور به شکل فزاینده‌ای درگیر شکاف میان عرضه و تقاضا در حوزهٔ انرژی در تمام بخش‌ها، الکتریسیته، گاز و بنزین است و از سوی دیگر، راه‌حل‌هایی را که برای حل این بحران دارد، حتی در صورت عملیاتی‌شدن، در تعارض با روند جهانی گذار انرژی خواهند بود؛ بنابراین، ایران امروز نه‌تنها باید خود را با شکاف میان عرضه و تقاضای انرژی در داخل هماهنگ کند، بلکه باید با شکاف دکربنیزه شدن سیاست‌های انرژی در سطح جهانی نیز هماهنگ شود.

در این گزارش، ابتدا در سطح جهانی دیدیم که گذار انرژی، به معنای عبور از مصرف انرژی‌های فسیلی و حرکت تدریجی و مداوم به‌سوی انرژی‌های تجدیدپذیر، چه ابعادی دارد. ویژگی‌های این گذار را در سطح کلان دیدیم که چگونه با کربن‌زدایی، توسعهٔ پایدار، رشد اقتصادی، عدالت توزیعی و حتی «دموکراتیزه‌شدن انرژی» مرتبط می‌شود. فناوری‌های نو نقش مهمی در این گذار در سطح جهانی ایفا می‌کنند و در راس این فناوری‌ها، سلول‌های خورشیدی فوتوولتائیک و خودروهای الکتریکی (PVs & EVs) قرار دارند که امیدهای واقعی برای رسیدن به اهداف موافقت‌نامه پاریس هستند. بحث شد که موافقت‌نامه پاریس برای تغییرات آب‌وهوایی هدف‌گذاری حفظ افزایش دمای میانگین جهانی زیر ۱,۵ درجه نسبت به دوران پیش از انقلاب صنعتی و رسیدن به تولید خالص آلاینده‌های

[۱] همان

صفر تا سال ۲۰۵۰ را در دستور کار قرار داده است و ۱۹۶ کشور و نهاد عضو، یک ساختار مشخص دارند که با به اشتراک گذاشتن سرمایه‌های مالی و فناوری‌های مدرن و ظرفیت‌سازی، در مسیر کربن‌زدایی مصوب حرکت می‌کنند. مطالعه تجربه هند و چین در این مسیر راهگشا بود. دیدیم که چین به‌عنوان بزرگ‌ترین آلاینده حال حاضر جهان، با بهره‌گیری از مدرن‌ترین فناوری‌های حوزه‌هایی مانند سلول‌های خورشیدی و خودروهای الکتریکی چگونه در مسیر کربن‌زدایی حرکت می‌کند و درحالی‌که بزرگ‌ترین تولیدکننده برق با زغال‌سنگ در جهان است، فناوری‌های سبز چگونه به این کشور کمک کرده‌اند تا یکی از بالاترین شانس‌ها برای رسیدن به اهداف کربن‌زدایی کنفرانس پاریس را داشته باشد. همچنین، دیدیم که معجزه برق‌رسانی در هند، چگونه از گسترش نیروگاه‌های زغال‌سنگ در دهۀ ۲۰۱۰ به استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی فوتوولتائیک نامتصل به شبکه تکامل پیدا کرده است و این کشور چگونه از مزایای گذار انرژی برای بهبود امنیت انرژی خود استفاده کرده است. همچنین، نقش نهادهای مطالعاتی هند در تعیین گزارش‌ها و سناریوهای مورد استفاده مشخص و فاصله برنامه‌های دولتی آن با طرح‌های سیاست‌گذاری ایران بیان شد.

در سطح منطقه، با نقش بی‌بدیل گاز طبیعی هم در تولید الکتریسیته (حدود ۷۰ درصد از کل الکتریسیته تولیدی) و سهم آن از کل سبد انرژی خاورمیانه (حدود ۵۶ درصدی) آشنا شدیم. دیدم که انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم بسیار ناچیزی از انرژی مصرفی نهایی منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و تنها ۵ درصد از انرژی خاورمیانه با اتکا به منابع تجدیدپذیر و پاک تولید می‌شود. همچنین، بحث کردیم که تنها مورد موفق در تولید برق هسته‌ای در مقیاس قابل توجه، امارات متحده عربی بوده است. همه اینها در حالی است که خاورمیانه یکی از مناطقی است که آسیب‌پذیری بسیار بالایی نسبت به گرمایش جهانی دارد و در معرض خشکسالی‌های طولانی و موج‌های گرمایی کشنده قرار دارد و همچنین، از ظرفیت‌های کم‌نظیری برای تولید برق خورشیدی و بادی برخوردار است.

در سطح ایران، می‌توان گفت که برای تشخیص کلان‌روندهای انرژی نیازمند بررسی شاخص‌های کلی تولید و مصرف انرژی در سه حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، برق و سوخت‌های فسیلی هستیم؛ باتوجه‌به آنچه گفته شد می‌توان خطوط کلی این کلان‌روندها را چنین خلاصه کرد:

- در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر علی‌رغم ضرورت‌هایی که هم به واسطه الزامات توسعه پایدار و هم به سبب کاهش فشار بر منابع هیدروکربنی، پیش روی کشور قرار دارد، شاهد شکل‌گیری و افزایش شکاف میان ایران و کشورهای منطقه هستیم. این شکاف بیش از اینکه ناشی از فقدان برنامه بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر یا درک تصمیم‌گیرندگان از ضرورت توسعه این انرژی‌ها در کشور باشد، ناشی از ابهامات جدی در توان تحقق این برنامه‌ها است که به نظر می‌رسد یکی از مهم‌ترین موانع آن تداوم تحریم‌های ایالات‌متحده علیه کلیت اقتصاد ایران باشد.

- در حوزه برق، شاهد عقب‌ماندگی فزاینده ظرفیت عملی تولید نسبت به میزان تقاضا هستیم که باتوجه‌به ثبات نسبی رشد میزان تقاضا در بازه ۲۰۲۲-۲۰۱۰، ریشه آن را باید در کاهش رشد توان تولید (از متوسط ۶,۲۳ در دهه ۷۰ و ۸,۰۳ در دهه ۸۰ به ۳,۲۴ در دهه ۹۰) جستجو کرد. باتوجه‌به اتکای مطلق ایران به گاز برای تولید برق از یک سو و ناتوانی کشور از تامین سوخت موردنیاز نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی در آینده کوتاه مدت، احتمالا شاهد افزایش شکاف میان رشد تقاضا و رشد توان عملی تولید برق خواهیم بود.

- در حوزه سوخت‌های فسیلی سه عامل تداوم تحریم‌ها و فقدان دسترسی به سرمایه و تکنولوژی لازم برای افزایش استخراج و پالایش، مصرف بالای داخلی (به‌ویژه در خصوص گاز طبیعی) و کاهش ظرفیت تولید طبیعی چاه‌ها و مخازن، آینده صنعت نفت و گاز ایران با ابهام جدی روبه‌رو است؛ در این شرایط به نظر می‌رسد ناتوانی صنعت نفت و گاز ایران در تأمین نیازمندی‌های داخلی در سال‌های پیش رو با شدتی فزاینده ادامه یابد.

به نظر می‌رسد مسیر سیاست‌گذاری انرژی در کشور باتوجه‌به بحران‌های دوگانه شکاف میان عرضه و تقاضا و ضرورت تعیین نسبت بخش انرژی کشور با روند گذار انرژی در سطح جهان، روشن است و نیازی به توصیه سیاست‌گذاری ندارد. مسئلهٔ اصلی در امکان عملیاتی یک روند مشخص و منطقی است. در وضعیت حاضر، هماهنگی میان افزایش تولید، افزایش بهره‌وری، کاهش شدت انرژی و گسترش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی و بادی از افزایش ظرفیت‌های جدید در سرمایه‌گذاری انرژی یک ضرورت است و کشور راهی به جز بهره‌گیری از ظرفیت‌های گذار انرژی، همراهی با آن و پوشاندن گسل‌های موجود فعلی با امکانات این گذار جهانی ندارد. تبدیل این ضرورت به امکان، بحث دیگری است و بحران‌های درهم‌تنیده و پیچیده در بخش‌های مختلف این مسیر را مبهم کرده است. درهرحال فاصله‌گیری از سیاست‌گذاری‌های مبهم و کلی و حرکت به‌سوی سندنویسی و سناریونویسی بر مبنای وضعیت موجود و واقعیت‌های داخلی، نخستین گام است. سیاست‌گذاری انرژی کشور باید از دام نسبت سازی با کشورهای دیگر و رقیب سازی از همسایگان رها شده و در سطوح مختلف دانشگاهی، بوروکراتیک، بخش خصوصی و دیپلماتیک، صرفا با نگاه به درون و بر مبنای به اولویت‌ها و ضرورت‌های داخلی، به ترسیم سناریوهای دقیق، انضمامی و واقع‌گرایانه در حوزه انرژی اقدام کند. گسترش همکاری‌های بین‌المللی با عضویت در نهادهایی مانند موافقت‌نامه پاریس و نیز رهایی از مشکلات تحریم‌ها و تعاملات مالی کمک می‌کند تا استفاده از ظرفیت‌های مالی و فناورانهٔ بین‌المللی میسر شود. همان‌گونه که کشور در بحث انرژی با بحران مضاعف روبه‌رو است، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای گسترش شبکه‌های تامین انرژی یک بُرد و امتیاز مضاعف خواهد بود. در مراکز جمعیتی می‌توان از مشوق‌های دولتی برای فعال‌کردن ظرفیت‌های بخش خصوصی و سرمایه‌گذاران خارجی (در صورت رفع تحریم‌ها) استفاده کرد و در مراکز کم‌تراکم و دوردست، منابع مالی خارجی نهادهایی مانند بانک جهانی، صندوق بین‌المللی پول و اتحادیه اروپا (باز هم در صورت رفع تحریم‌ها) می‌تواند راهگشا باشد. باتوجه‌به نکاتی که در مورد نقش شهرنشینی در گذار انرژی بیان شد، تمرکز سیاست‌گذاری برای شهرهای متوسط از ضرورت بالایی برخوردار خواهد بود. درهرحال، گذار جهانی انرژی، به‌مثابه یک امکان جدید برای عبور توامان از دو بحران و یا یک فشار جدید برای مواجهه با دو بحران هم‌زمان، در پیش روی کشور قرار دارد.