

نگاهی به شاخص‌های مصرف انرژی و سیاست‌های بهره‌وری انرژی در کشورهای منتخب



معاونت بررسی‌های اقتصادی
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران



تهیه و تنظیم: فاطمه علیزاده آغاسمعیلی

معاونت بررسی‌های اقتصادی

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران

اردیبهشت ۱۴۰۳

از طریق پست الکترونیکی زیر می‌توانید پیشنهادهای و نظرات اصلاحی خود را به واحد مربوطه منعکس
نمایید:

economic_research@tccim.ir

استفاده از مطالب این گزارش با ذکر منبع بلامانع است.

فهرست مطالب

۴.....	خلاصه مدیریتی.....
۵.....	مقدمه.....
۶.....	۱. تعریف بهینه‌سازی انرژی.....
۶.....	۲. اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی از دیدگاه جهانی.....
۷.....	۱-۲. محدودیت منابع انرژی.....
۸.....	۱-۱-۲. شاخص سرانه مصرف انرژی.....
۹.....	۲-۱-۲. شدت مصرف انرژی.....
۱۲.....	۲-۲. قیمت حامل‌های انرژی.....
۱۵.....	۳-۲. مشکلات محیط‌زیستی.....
۱۷.....	۳. اقدامات بهینه‌سازی انرژی در کشورهای منتخب.....
۱۷.....	۱-۳. ژاپن.....
۱۹.....	۱-۱-۳. چارچوب نظارتی ژاپن برای بهره‌وری انرژی.....
۲۳.....	۳-۲. آلمان.....
۲۷.....	۴. نتیجه‌گیری.....
۳۰.....	۵. منابع.....

خلاصه مدیریتی

انرژی ستون فقرات اقتصاد مدرن است. پس از وقوع اولین بحران نفتی در دهه ۱۹۷۰، احساس مسئولیتی مهم در برابر مصرف بهینه انرژی و افزایش کارایی آن و همچنین مسائل مربوط به حفظ محیط‌زیست ایجاد شده و مدیریت انرژی و اصلاح الگوی مصرف به امری اجتناب‌ناپذیر مبدل گردیده است. بسیاری از کشورهای مصرف‌کننده به دلیل تهدید امنیت انرژی، اقدامات سیاستی گسترده‌ای در ایجاد راهکارهای به حداقل رساندن وابستگی به انرژی‌های فسیلی انجام داده‌اند. گسترش دسترسی به انرژی و دستیابی به اهداف اقلیمی باید به‌طور همزمان با افزایش سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی و دسترسی به انرژی‌های تجدیدپذیر انجام شود تا امکان کاهش تدریجی سوخت‌های فسیلی را فراهم می‌کند (بانک جهانی، ۲۰۲۴).

یکی از اهدافی که اعضای آژانس بین‌المللی انرژی همواره بر آن متمرکز هستند، افزایش بهره‌وری و کارایی انرژی توأم با تغییر سبب انرژی به سمت انرژی‌های سبز و در نهایت کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی است. شدت انرژی به عنوان معیاری برای سنجش کارایی انرژی در جهان، طی بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به‌طور متوسط ۱.۷ درصد کاهش یافته و در صورت تحقق سناریوی انتشار کربن صفر ناشی از مصرف انرژی تا سال ۲۰۵۰، شدت انرژی اقتصاد جهانی تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سطح فعلی ۳۵ درصد کاهش خواهد یافت. در این میان ایران با توجه به دارا بودن منابع انرژی غنی و همچنین مصرف انرژی و شدت انرژی بالا نسبت به سایر کشورهای جهان در حال حاضر فاصله بسیار زیادی با کارایی مناسب و قابل قبول انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی دارد. فقدان چارچوب مناسب سیاست‌ها در این خصوص، اقتصاد شکننده، مشکلات تامین مالی، هزینه‌های پنهان و زیرساخت‌های ضعیف انرژی عمده‌ترین موانع بر سر راه بهینه‌سازی انرژی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه است. مطالعه تجربیات کشورهای پیشرفته که دارای پیشینه موفق در زمینه اجرای سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی هستند نتایج مثبت بسیاری به همراه دارد؛ بررسی این تجارب، شاخص‌ها و نکات مفیدی ارائه می‌دهد که می‌تواند مبنایی برای بازنگری سیاست‌های داخلی بهینه‌سازی مصرف انرژی باشد.

در ارزیابی تجارب کشورهای پیشرفته به‌ویژه ژاپن و آلمان می‌توان شاهد آثار مطلوبی از نتایج سیاست‌هایی مانند اتخاذ راهبردهایی در راستای کارایی انرژی در افق بلند مدت، جایگاه تحقیق و توسعه، آگاهی‌سازی مصرف‌کننده و آموزش، مشوق‌های مالی و سرمایه‌گذاری در کارایی انرژی، همکاری‌های بین‌المللی و ... بود. به‌طور کلی برای تحقق هر هدفی در سطح کلان نیاز به سیاست‌گذاری است و این سیاست‌گذاری‌ها از طریق تدوین و تصویب قوانین انجام می‌شود. در نتیجه برای اصلاح الگوی مصرف انرژی و افزایش کارایی آن نیاز به سیاست‌گذاری و تصویب قوانین و مقررات لازم در حوزه‌های مرتبط است. شایان ذکر است که تصویب قوانین مناسب در صورت عدم پیش‌بینی نظام نظارتی کارآمد، تحقق اهداف سیاست‌ها را با مشکل مواجه می‌کند.

مقدمه

با توجه به نقش حیاتی انرژی در پایداری توسعه، رشد اقتصادی و تغییرات آب‌وهوایی جهان، اهمیت پرداختن به سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی روز به روز افزایش می‌یابد. نگاهی به روند مصرف انرژی و شاخص‌های بهره‌وری انرژی مانند مصرف سرانه انرژی و شدت انرژی می‌توان بیان نمود که سیاست‌های بهینه‌سازی انرژی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی نتیجه‌بخش نبوده است. برای بررسی دقیق‌تر روند مصرف و شدت انرژی در کشور و در راستای پاسخ به این پرسش که آیا ساختار کنونی بخش انرژی مناسب است یا نیازمند اصلاح است؟ و همچنین چه سیاست‌هایی باید در سطح کلان اتخاذ شود؟ در این گزارش تلاش شده است تا در چند سر فصل، شاخص‌های مرتبط از جمله مصرف سرانه انرژی و شدت انرژی در ایران و کشورهای منتخب مورد بررسی قرار گرفته و در بخش بعدی به تجربه کشورهای پیشرفته ژاپن و آلمان در مسیر بهینه‌سازی انرژی پرداخته شود. نگاهی شایسته به این موضوع باعث خواهد شد تا بتوان بهترین شیوه اجرای سیاست‌های مرتبط با موضوع را معرفی نموده و راهکارهای اصلاحی مناسبی را در جهت بهبود ساختار مصرف انرژی در کشور برنامه‌ریزی کرد.



۱. تعریف بهینه‌سازی انرژی

بهینه‌سازی انرژی به معنای انتخاب و اتخاذ مجموعه روش‌ها و سیاست‌هایی برای استفاده صحیح از انرژی است که مقدار انرژی مورد نیاز برای ارائه محصولات و خدمات را کاهش داده و پایداری انرژی را تضمین می‌کند. بهینه‌سازی مصرف انرژی ایجاد تحول در الگوی مصرف انرژی با رعایت استفاده کارا از انرژی و حفظ رفاه اقتصادی جامعه است (یو و همکاران^۱، ۲۰۲۳).

تسریع صنعتی‌شدن جوامع و نیاز روزافزون آن‌ها به انرژی، کشورها را بر آن داشته است تا برای جلوگیری از مصرف بی‌رویه انرژی، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش رفاه عمومی، راهبردهایی در قالب بهینه‌سازی مصرف انرژی اتخاذ کنند (آذری‌سنگلی و همکاران^۲، ۲۰۱۴). اساس پیدایش برنامه‌های بهینه‌سازی و بهره‌وری انرژی به وقوع بحران‌های انرژی در دهه ۱۹۷۰ برمی‌گردد که مفهوم نوینی از صرفه‌جویی منابع انرژی برای مقابله با افزایش قیمت‌های انرژی پدیدار گشت. با گذشت زمان این امر منجر به توسعه مجموعه‌ای از برنامه‌های بهینه‌سازی انرژی شده که بسیاری از جوامع به‌ویژه کشورهای عمده مصرف‌کننده انرژی از آن پیروی کرده‌اند. اگرچه کشورهای توسعه یافته توانسته‌اند با استفاده از استراتژی‌های اقتصادی و فناوری، بحران‌های دهه ۱۹۷۰ را پشت سر بگذارند و مصرف انرژی خود را کاهش دهند، اما تحقیقات نشان می‌دهد که کشورهای در حال توسعه به دلیل ضعف فناوری و ناکافی بودن انگیزه صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در استراتژی‌های اقتصادی و فناوری خود در راستای کاهش مصرف انرژی موفق نبوده‌اند. ذکر این نکته مهم است که با توجه به ابعاد متفاوت بهینه‌سازی انرژی، می‌بایست پیش از ارائه هرگونه سیاستی در این زمینه، ارزیابی عمیقی از وضعیت موجود و لزوم تغییر آن صورت گیرد. نخستین گام در راستای ارائه راهکارهای بهینه‌سازی انرژی، انجام ممیزی انرژی^۳ است. ممیزی انرژی شامل بررسی و شناسایی مصرف‌کنندگان عمده انرژی و ارزیابی مصرف انرژی بخش‌های مختلف توأم با ارائه راهکارها و سیاست‌هایی در راستای کاهش مصرف انرژی است که در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی از دیدگاه جهانی

امروزه بهینه‌سازی مصرف انرژی به ابزار سیاستی مهمی در جهت حفظ امنیت انرژی، حفاظت از محیط‌زیست و کنترل تغییرات آب‌وهوایی در جهان تبدیل شده است. در نتیجه اهمیت بهینه‌سازی مصرف انرژی را می‌توان در

¹ Yu et al

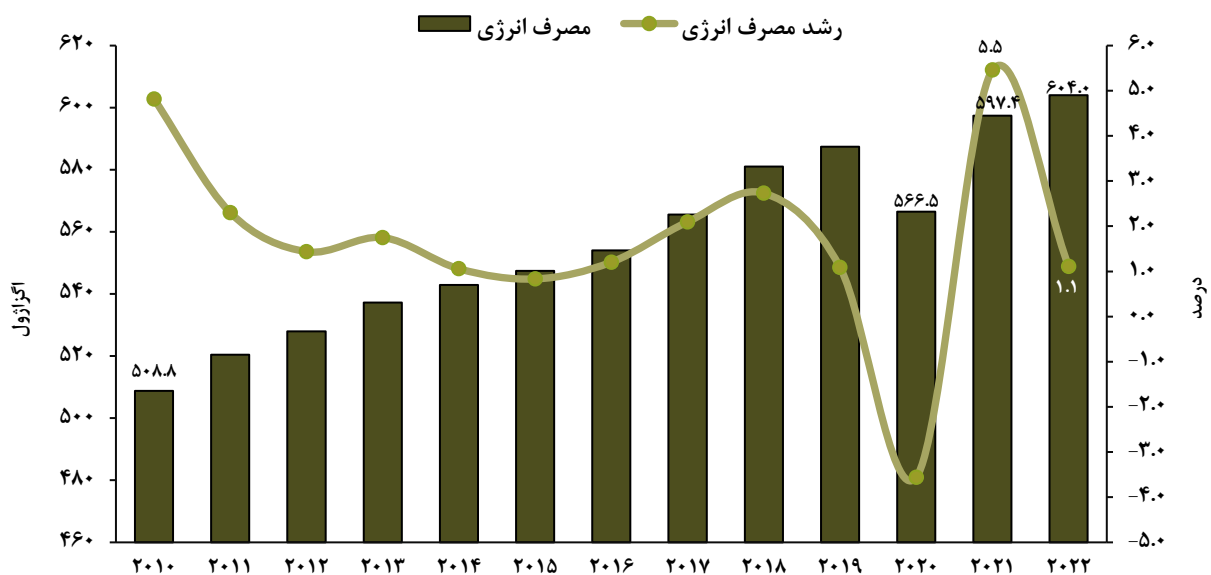
² Azari Sangeli

³ Energy audit

چند محور اصلی محدودیت منابع انرژی، قیمت حامل‌های انرژی و مشکلات زیست محیطی و دسته‌بندی نمود که در ادامه بر اساس آمار به بررسی هریک از این موضوعات پرداخته می‌شود.

۲-۱. محدودیت منابع انرژی

انرژی به‌عنوان محرک اصلی رشد و توسعه اقتصادی یک کشور و کالایی حیاتی در زندگی روزمره بشر محسوب می‌شود که تاثیر شگرفی بر بقا و موجودیت نوع بشر گذاشته است. طی سال‌های اخیر میزان مصرف انرژی رشد بالایی داشته است؛ بر اساس نمودار ۱، مصرف انرژی اولیه^۴ در سال ۲۰۱۰ نزدیک ۵۰۹ اگزاژول بوده که با رشد سالانه حدود ۱.۴ درصدی به ۶۰۴ اگزاژول در سال ۲۰۲۲ رسیده است. نگاهی به نقشه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۲ نشان می‌دهد که کشورهای چین و ایالات متحده آمریکا با اختلاف بزرگترین کشورهای مصرف‌کننده انرژی بوده^۵ و پس از آن هند و روسیه در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. همچنین طی سال ۲۰۲۲ ایران در مصرف انرژی رتبه دهم را به خود اختصاص داده است.



نمودار ۱. روند مصرف انرژی جهانی و رشد آن طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲

منبع: موسسه انرژی^۶ و شرکت بریتیش پترولیوم^۷، ۲۰۲۳

^۴ انرژی اولیه شامل تمامی سوخت‌های تجاری از جمله نفت، گاز، زغال سنگ، انرژی هسته‌ای، انرژی برق‌آبی و سایر انرژی‌های تجدیدپذیر نوین است.
^۵ بر اساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی ۲۰۲۳، کشورهای چین با ۲۵ درصد سهم، ایالات متحده آمریکا با ۱۴ درصد سهم و اتحادیه اروپا با ۹ درصد تقریباً نیمی از تقاضای جهانی انرژی را تشکیل می‌دهند.

^۶ Energy Institute

^۷ British Petroleum Company

در پی بروز پدیده شهرنشینی، توسعه مالی و اجتماعی، تغییر الگوی مصرف، افزایش جمعیت و افزایش تقاضای کالاها و خدمات، مصرف انرژی در بسیاری از کشورهای جهان در حال افزایش است. اگر این افزایش تقاضا با بهبود بهره‌وری انرژی جبران نشود، مصرف جهانی انرژی به رشد سالانه خود ادامه داده و جهان با کمبود انرژی مواجه خواهد شد. همچنین در صورت عدم اجرای اقدامات و سیاست‌های پیشگیرانه دولت‌ها در خصوص مصرف انرژی، بخش انرژی در اغلب کشورها به‌گونه‌ای رشد خواهد کرد که با اهداف توسعه پایدار سازگاری نداشته و از آن فاصله خواهد گرفت.

بر اساس مطالعات انجام شده در این خصوص دو گزینه برای مقابله با کمبود انرژی وجود دارد. (۱) تولید انرژی بیشتر، (۲) به حداقل رساندن مصرف منابع انرژی موجود و کاهش هدررفت (شه و همکاران^۸، ۲۰۱۹). با این حال، بحران مصرف انرژی مستلزم اعمال ترکیبی از سیاست‌ها برای کاهش تقاضای انرژی و بهبود بهره‌وری است. اقدامات لازم به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌تواند شامل اجرای طرح‌های صرفه‌جویی و ممیزی انرژی، تعریف استانداردها و معیارهای مصرف بهینه انرژی و سیاست‌های حمایتی برای کاهش مصرف باشد.

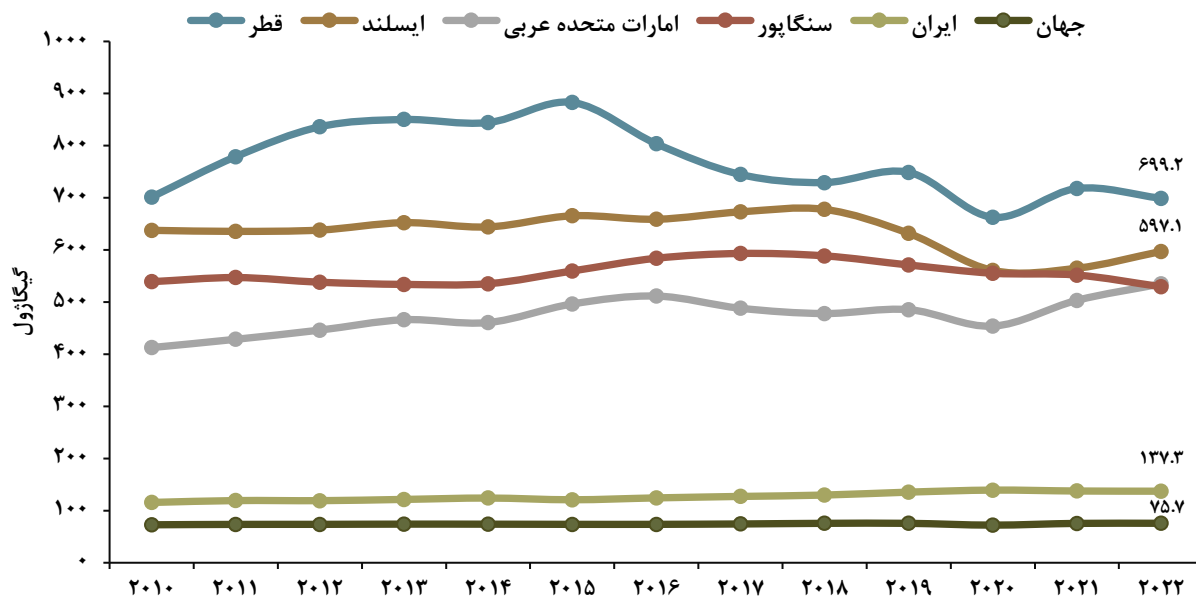
۲-۱-۱. شاخص سرانه مصرف انرژی

یکی از شاخص‌های مهم در سنجش بهره‌وری انرژی ارزیابی مصرف سرانه انرژی^۹ است. این شاخص عبارت است از مصرف انرژی به ازای هر فرد در جامعه. به عبارت دیگر مصرف سرانه انرژی حاصل تقسیم مصرف انرژی بر جمعیت است. مصرف سرانه انرژی در اغلب کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته به دلیل درآمد سرانه بالا و تنوع کالاها و خدمات، بیشتر از سایر کشورها است.

در نمودار ۲ روند شاخص مصرف سرانه انرژی در پنج کشور دارای بیشترین میزان مصرف سرانه انرژی همراه با روند این شاخص در ایران و جهان نشان داده شده است. بررسی‌های آماری نشان می‌دهد شاخص مصرف سرانه انرژی در کشورهایی با منابع و ذخایر بالای انرژی مانند قطر، امارات، کویت، عمان، عربستان و همچنین ایران در مقایسه با سایر کشورهای در حال توسعه به وضوح بالاتر است.

^۸ Shah et al

^۹ energy consumption per capita



نمودار ۲. روند مصرف سرانه انرژی در پنج کشور عمده مصرف انرژی سرانه و روند این شاخص در ایران و جهان در سال ۲۰۲۲

منبع: موسسه انرژی و شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳

بر اساس نمودار فوق طی سال‌های اخیر مصرف سرانه انرژی در ایران به طور متوسط سالانه ۱.۴ درصد رشد داشته است. نکته جالب توجه آن است در بررسی‌های آماری مصرف سرانه انرژی طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ کشورهایمانند ترکیه، هند، پاکستان و عراق همواره مصرف سرانه انرژی کمتری نسبت به ایران داشته‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده بهره‌وری پایین تولید، مصرف بالای انرژی و استفاده از کالاها و خدمات انرژی بر غیر استاندارد در ایران باشد.

۲-۱-۲. شدت مصرف انرژی

شدت انرژی^{۱۰}، میزان انرژی مصرف شده برای تولید ناخالص داخلی را اندازه می‌گیرد و یک شاخص کلی از بازده و کارایی انرژی است (آژانس بین‌المللی انرژی^{۱۱}، ۲۰۲۳). شاخص مزبور تحت تاثیر بسیاری از عوامل اقتصادی و بومی و شرایط خاص ساختاری هر کشور از جمله ساختار اقتصادی (مانند سهم صنایع بزرگ مصرف‌کننده انرژی)، ویژگی‌های جغرافیایی (مسافت‌های طولانی‌تر که منجر به تقاضای بیشتر برای حمل‌ونقل می‌شود)، شرایط آب‌وهوایی و ... قرار دارد. به‌عنوان مثال کشورهایی که بسیار سردتر یا بسیار گرمتر هستند، به دلیل تقاضای

¹⁰ Energy intensity

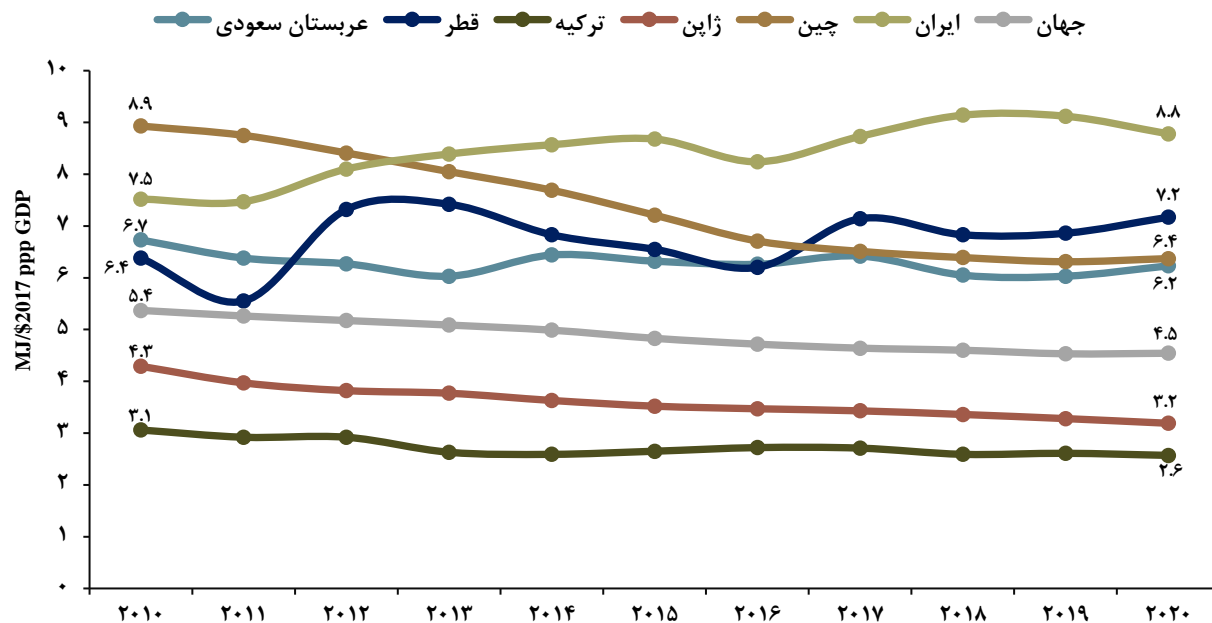
¹¹ International Energy Agency (IEA)

گرمایش یا سرمایه‌ش بیشتر، شدت مصرف انرژی بالاتری دارند. شدت انرژی از شاخص‌های مهم اقتصادی است که نحوه و شدت مصرف انرژی و به عبارتی انرژی‌بری در هر کشور را نشان می‌دهد. بر اساس آنچه بیان شد می‌توان بیان نمود در حالت کلی شدت انرژی عمدتاً تابع و تحت تاثیر دو عامل؛ مصرف انرژی و میزان تولید است که در قالب مدل زیر نشان داده شده است:

$$EI = F(ED, GDP)$$

که در آن EI شدت مصرف انرژی، ED مصرف انرژی و GDP تولید ناخالص داخلی را نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، بین توسعه اقتصادی و شدت انرژی رابطه عکسی برقرار است به نحوی که در اغلب جوامع پیشرفته با اقتصاد کارا تر، شدت انرژی پایین تر است. بر اساس آخرین آمار منتشر شده توسط بانک جهانی و آژانس بین‌المللی انرژی، شدت مصرف انرژی در ایران در مقایسه با کشورهای نفت‌خیز و حتی چین که قطب تولید صنعتی جهان است بسیار بالا است به نحوی که ایران در ردیف کشورهای با شدت انرژی بسیار بالا قرار گرفته است. بر اساس این آمار، شدت انرژی در ایران ۴ برابر انگلستان، ۲.۷ برابر ژاپن، ۳.۲ برابر آلمان، ۲ برابر هند، ۳.۴ برابر ترکیه، ۱.۴ برابر عربستان سعودی و ۲ برابر شدت انرژی جهانی است.

بررسی روند تغییرات شدت انرژی در کشورهای صنعتی گواه این امر است که طی سال‌های اخیر شدت انرژی در این کشورها کاهش چشم‌گیری داشته است و دلیل اصلی آن ارتقای کارایی انرژی به دلیل به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی بوده است. به‌عنوان مثال بر اساس آمار و اطلاعات نمودار ۳، کشور ژاپن طی بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ سالانه حدود ۳ درصد شدت انرژی خود را کاهش داده است. ژاپن از جمله کشورهای عمده مصرف‌کننده انرژی بوده و برخلاف دیگر مصرف‌کننده‌های بزرگ دیگر از منابع انرژی داخلی فراوانی برخوردار نیست و بیش از ۸۰ درصد از انرژی آن از طریق واردات تامین می‌شود (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۲). در نتیجه بیش از هر کشوری در مقابل تغییرات ساختاری بازار انرژی آسیب‌پذیرتر است اما طی سال‌های متمادی در راستای کاهش وابستگی شدید به واردات انرژی سیاست‌هایی را در جهت صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی، افزایش راندمان و همچنین ایجاد تنوع در سبد انرژی را در دستور کار خود قرار داده است که آثار مثبت آن به وضوح در نمودار ۳ قابل مشاهده است.



نمودار ۳. شاخص شدت انرژی در کشورهای منتخب طی بازه زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۱۰

منبع: بانک جهانی

تعمق در نمودار ۳ بیانگر نزولی بودن روند شدت انرژی در اغلب مناطق به جز ایران و قطر بوده است که می‌تواند ناشی از توجه جامعه جهانی به بحث کارایی انرژی باشد. شایان ذکر است که شدت انرژی به‌طور عمده در کشورهای دارای منابع انرژی به‌طور متوسط بالاتر از میانگین جهانی است. به‌عنوان مثال در سال ۲۰۲۲ شدت انرژی در عربستان سعودی ۱.۵ برابر متوسط جهانی، در قطر ۱.۷ برابر متوسط جهانی، در بحرین ۲.۱ برابر متوسط جهانی و در کویت ۲ برابر متوسط جهانی بوده است.

شدت انرژی در جهان طی بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به‌طور متوسط ۱.۷ درصد کاهش یافته و در صورت تحقق سناریوی انتشار کربن صفر تا سال ۲۰۵۰، شدت انرژی در اقتصاد جهانی تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سطح فعلی ۳۵ درصد کاهش خواهد یافت (نوسکایا و همکاران^{۱۲}، ۲۰۲۳). قطعاً این بهبود در شاخص شدت انرژی مستلزم تلاش اساسی و هماهنگ از سوی دولت‌ها برای اجرای سیاست‌ها و اقدامات مرتبط با بهره‌وری انرژی است.

براساس گزارش بهره‌وری انرژی آژانس بین‌المللی انرژی ۲۰۲۳، چین در سال‌های اخیر در بهبود شاخص شدت انرژی با میانگین بهبود سالانه ۳.۸ درصدی طی بازه زمانی سال در دوره ۲۰۱۰-۲۰۲۰ پیشتاز جهان بوده است. شایان ذکر است بهبود شدت انرژی در ۲۰ کشور پرمصرف انرژی برای دستیابی به هدف ۷.۳ SDG^{۱۳} مهم است، چراکه آن‌ها تقریباً سه چهارم تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی جهانی را تشکیل می‌دهند. طی بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۲۰، حدود ۱۴ کشور از ۲۰ کشور پرمصرف انرژی به بهبودهای چشم‌گیری در شدت انرژی نسبت به

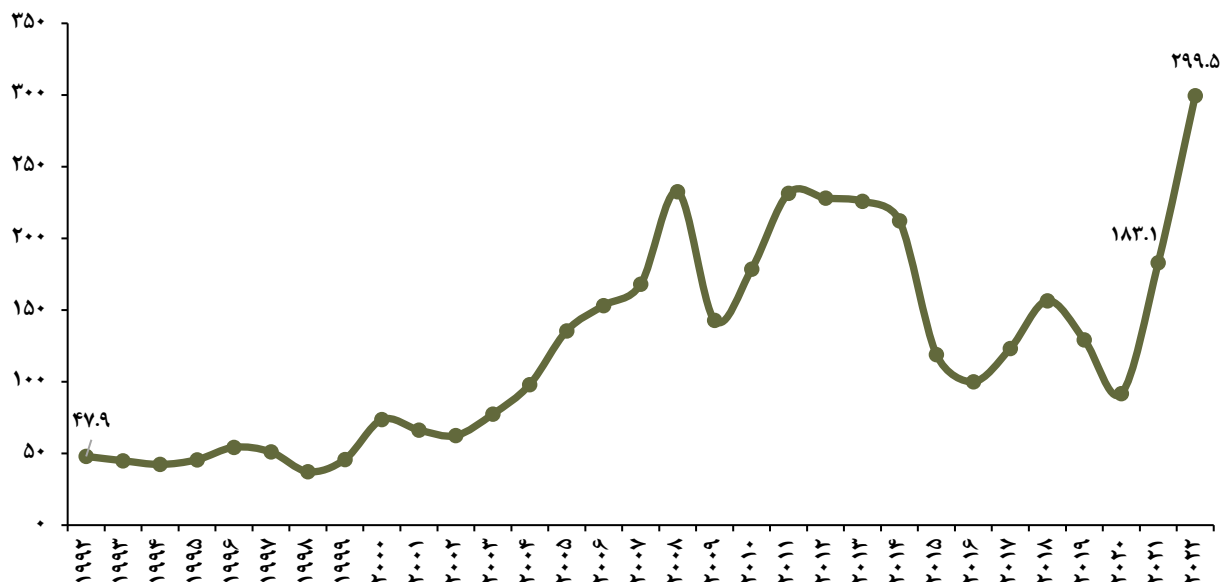
^{۱۲} Nevskaya et al

^{۱۳} هدف ۷.۳ توسعه پایدار: بهره‌وری انرژی باید تا سال ۲۰۳۰ به میزان دو برابر نرخ جهانی بهبود یابد.

دهه قبل دست یافته‌اند. از طرفی میزان بهبود شدت انرژی در شش کشور مکزیک، فرانسه، اندونزی، ژاپن، ترکیه و ایتالیا در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ در مقایسه با دهه ۲۰۱۰-۱۹۹۰ به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. بررسی پیشرفت در بهبود شدت انرژی در این گروه کشوری (شش کشور مزبور) که هم اقتصادهای توسعه‌یافته و هم اقتصادهای درحال توسعه بزرگ را شامل می‌شود بیانگر این است که همه کشورها می‌توانند از طریق اجرای سیاست‌های بهینه نرخ بهره‌وری انرژی خود را ارتقا دهند.

۲-۲. قیمت حامل‌های انرژی

رابطه بین بهره‌وری انرژی و قیمت انرژی از مباحثی است که بعد از اولین بحران انرژی جهانی مورد علاقه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش انرژی بوده است. بر اساس ادبیات اقتصادی در هر بخش اقتصادی اگر قیمت پائینتر از قیمت تعادلی باشد با افزایش قیمت در بخش مربوطه این فرصت وجود دارد که بهره‌وری افزایش یابد. از آنجایی که از اساسی‌ترین بخش‌های تاثیرگذار در کاهش مصرف انرژی مدیریت تقاضای انرژی می‌باشد؛ در برخی از کشورها، قیمت‌های بالا مشوق کاهش تقاضا از سوی شرکت‌ها و خانوارها بوده است، به طوری که با افزایش قیمت انرژی در اتحادیه اروپا توام با زمستان نسبتاً معتدل در این منطقه، مصرف گاز طبیعی اتحادیه اروپا در بازه زمانی آگوست تا نوامبر ۲۰۲۲ نسبت به سال‌های گذشته ۲۰ درصد کاهش یافته است (سازمان توسعه و همکاری اقتصادی، ۲۰۲۳). همانطور که در نمودار ۴ نشان داده شده است، شاخص قیمت انرژی طی بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲ روند رو به رشدی داشته و از ۴۷.۹ در سال ۱۹۹۲ به ۲۹۹.۵ در سال ۲۰۲۲ رسیده است. شاخص قیمت انرژی در سال ۲۰۲۲ نسبت به سال ۲۰۲۱ در نتیجه تقاضای سوخت و انرژی بیشتر به دلیل بهبود اقتصادها بعد از همه‌گیری ویروس کرونا و تنش‌های ژئوپلیتیکی حدود ۶۳.۶ درصد رشد داشته است.



نمودار ۴. شاخص جهانی قیمت انرژی طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۲۲

منبع: بانک فدرال رزرو سنت لوئیس^{۱۴}، ۲۰۲۴

روند کنونی قیمت انرژی در ایران، بهره‌وری انرژی را به شدت کاهش داده و اصلاح قیمت‌های انرژی در کشور یک ضرورت غیرقابل انکار است. البته باید خاطر نشان کرد که توجه به روش‌های غیرقیمتی برای ارتقای بهره‌وری نیز بسیار اهمیت دارد؛ چراکه اگر ساختار اقتصادی و تجهیزات و فناوری‌های لازم برای توسعه کارایی انرژی مهیا نباشد نمی‌توان انتظار داشت که الگوی مصرف انرژی در کشور اصلاح گردد. بنابراین همزمان با اصلاح ساختار قیمت‌گذاری انرژی، توسعه فناوری‌های به‌روز، آموزش و ارتقای مهارت‌های انسانی، تجدیدنظر در فرم و ساختار مدیریت و ... ضرورت‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی هستند.

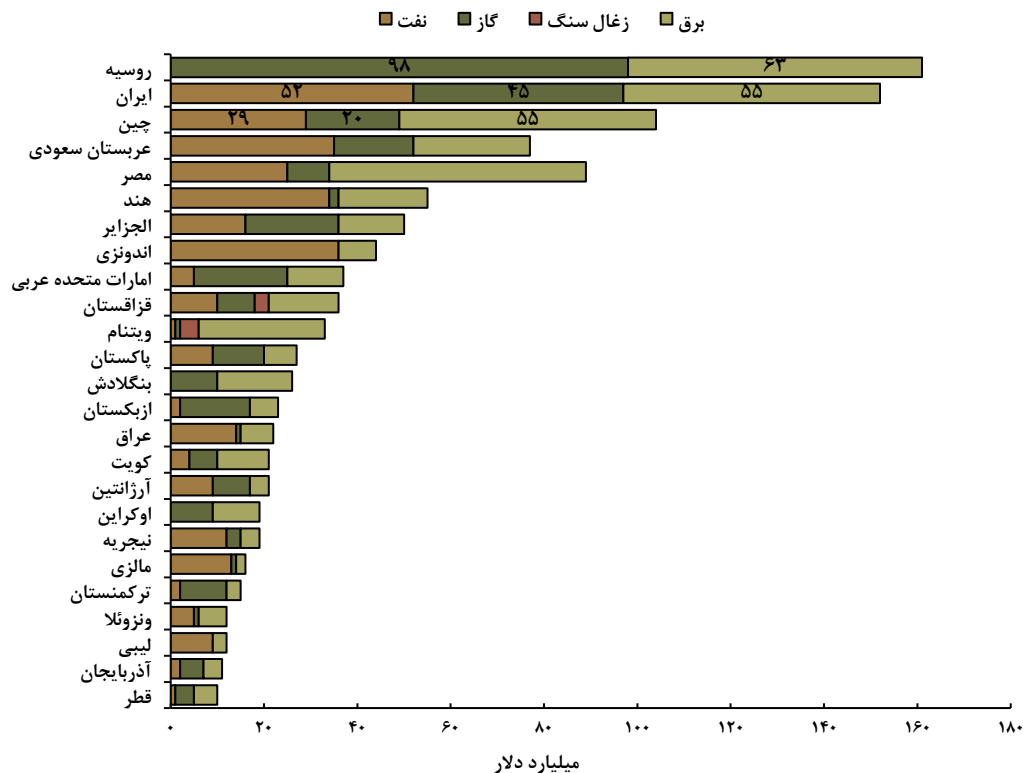
در بسیاری از مطالعات نظیر کاروس^{۱۵} (۲۰۲۱) اشاره شده است که شناسایی عوامل روان‌شناختی اهمیت فزاینده‌ای بر رفتارهای صرفه‌جویی انرژی دارند، زیرا چنین رفتارهایی نتیجه واکنش‌ها به قیمت‌ها نیست، بلکه نتیجه عوامل روان‌شناختی مانند انتظارات، عادات و تعصبات است. به‌عنوان مثال آموزش‌ها و تشویق‌های ارائه شده از سوی دولت ژاپن در سال ۲۰۱۱ باعث شد صرفه‌جویی قابل توجهی در برق، بدون افزایش قیمت به دست آید (کیمورا و نیشیو^{۱۶}، ۲۰۱۶). از طرفی یارانه‌های انرژی بر افزایش میزان مصرف انرژی و همچنین نوع سوخت مصرفی تاثیرگذار هستند. یارانه‌ای که به تولیدکننده یا مصرف‌کننده یک نوع از سوخت اختصاص می‌یابد، باعث کاهش قیمت آن سوخت برای مصرف‌کننده نهایی شده در نتیجه تقاضا برای آن سوخت و به‌طور کلی مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

^{۱۴} Federal Reserve Bank of St. Louis، یکی از ۱۲ شعبه فدرال رزرو ایالات متحده آمریکا بوده و در شهر سنت لوئیس قرار دارد.

^{۱۵} Carrus

^{۱۶} Kimura, O. and K. Nishio

در سال ۲۰۲۲، یارانه جهانی برای مصرف سوخت‌های فسیلی برای اولین بار از مرز ۱ تریلیون دلار فراتر رفت که افزایش قابل توجهی را نشان داد (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳). این افزایش در نتیجه اختلالات در بازارهای انرژی بوده است. یارانه‌های بی‌سابقه انرژی در سال ۲۰۲۲ دو برابر سال ۲۰۲۱ و تقریباً پنج برابر سطوح ثبت‌شده در سال ۲۰۲۰ بوده است. آژانس بین‌المللی به‌طور خاص این جهش را به بحران جهانی انرژی ناشی از حمله روسیه به اوکراین نسبت می‌دهد. آژانس بین‌المللی انرژی سال‌ها است که از حذف یا به حداقل رساندن یارانه سوخت‌های فسیلی حمایت می‌کند، چراکه این یارانه‌ها بازارها را دچار اختلال کرده و سیگنال‌های قیمتی اشتباهی را به کاربران ارسال می‌کنند. همچنین این یارانه‌ها کسری‌های مالی در اقتصادهای در حال توسعه را افزایش داده و از پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر جلوگیری می‌کنند. افزایش یارانه‌ها به ویژه زمانی که جامعه جهانی می‌بایست تلاش‌های خود را برای کاهش مصرف بی‌رویه انرژی و تسریع در انتقال انرژی پاک مضاعف کند، نگران‌کننده است. اصلاح قیمت انرژی یک چالش سیاسی است، اما از نظر اقتصادی و زیست محیطی نیز بسیار حائز اهمیت است. بر اساس آخرین آمار آژانس بین‌المللی انرژی در سال ۲۰۲۲ و نمودار ۵، روسیه بزرگترین پرداخت‌کننده یارانه سوخت‌های فسیلی بوده و پس از آن ایران و چین در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. یارانه انرژی در کشور موضوعی است که اگر چاره‌ای برای آن اندیشیده نشود، تبعات منفی فراوانی برجای خواهد گذاشت.



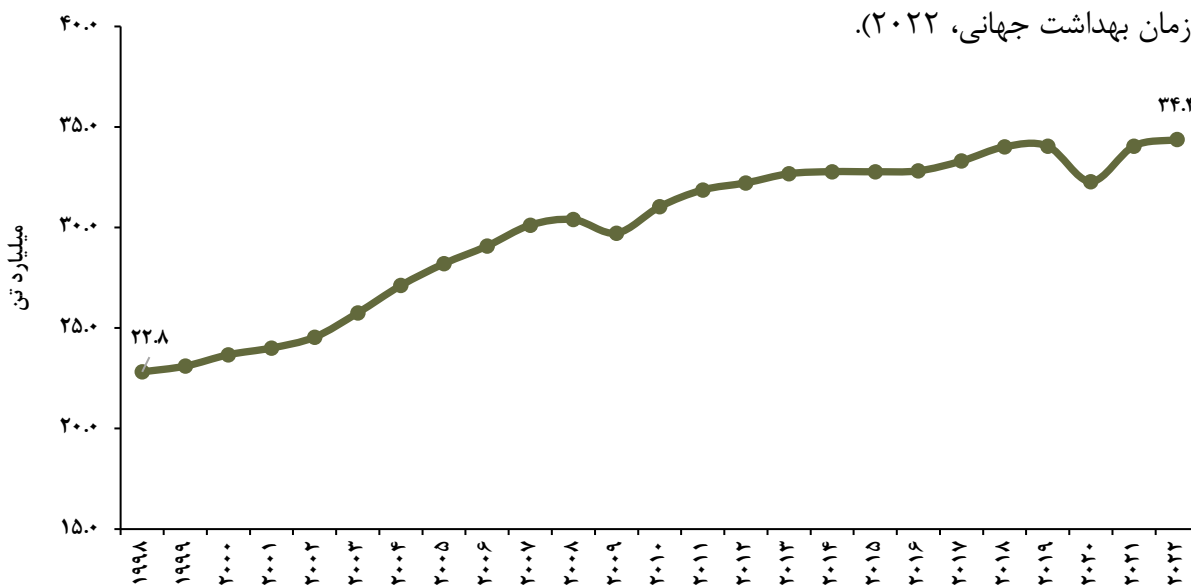
نمودار ۵. ۲۵ کشور دارای بیشترین ارزش یارانه سوخت‌های فسیلی در سال ۲۰۲۲ - میلیارد دلار

منبع: آژانس بین‌المللی انرژی

۲-۳. مشکلات محیط‌زیستی

محدودیت منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر و نیز افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بیش از اندازه سوخت‌های فسیلی ضرورت و اهمیت بهینه‌سازی انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را بیش از پیش یادآور می‌شود. نمودار ۶ روند انتشار CO₂ ناشی از بخش انرژی را طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد. میزان کربن دی‌اکسید به‌عنوان اصلی‌ترین آلاینده محیط‌زیست، در سال ۱۹۹۸ حدود ۲۲.۸ میلیارد تن بوده است که طی ۲۴ سال به ۳۴.۴ میلیارد تن رسیده است. به بیان دیگر میزان دی‌اکسید کربن منتشر شده طی ۲۴ سال گذشته ۱.۵ برابر شده است.

بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی بیش از نیمی از کربن دی‌اکسید تولیدی در جو انباشته می‌شود و موجب تشدید پدیده‌های زیست‌محیطی همچون اثر گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن زمین می‌گردد. بر اساس برآورد سازمان بهداشت جهانی^{۱۷}، آلودگی هوای ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای سالانه باعث مرگ ۴.۲ میلیون نفر می‌شود. همچنین آلودگی هوای داخل خانه مسئول مرگ ۳.۲ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ بوده که حدود ۲۳۷ هزار نفر آن کودکان زیر ۵ سال بوده‌اند. از طرفی آلودگی هوا تهدیدی برای اقتصاد سلامت عمومی است زیرا هزینه‌های سنگینی بر بهداشت جهانی تحمیل می‌کند که حدود ۶.۱ درصد تولید ناخالص داخلی جهان ارزیابی شده است (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۲).



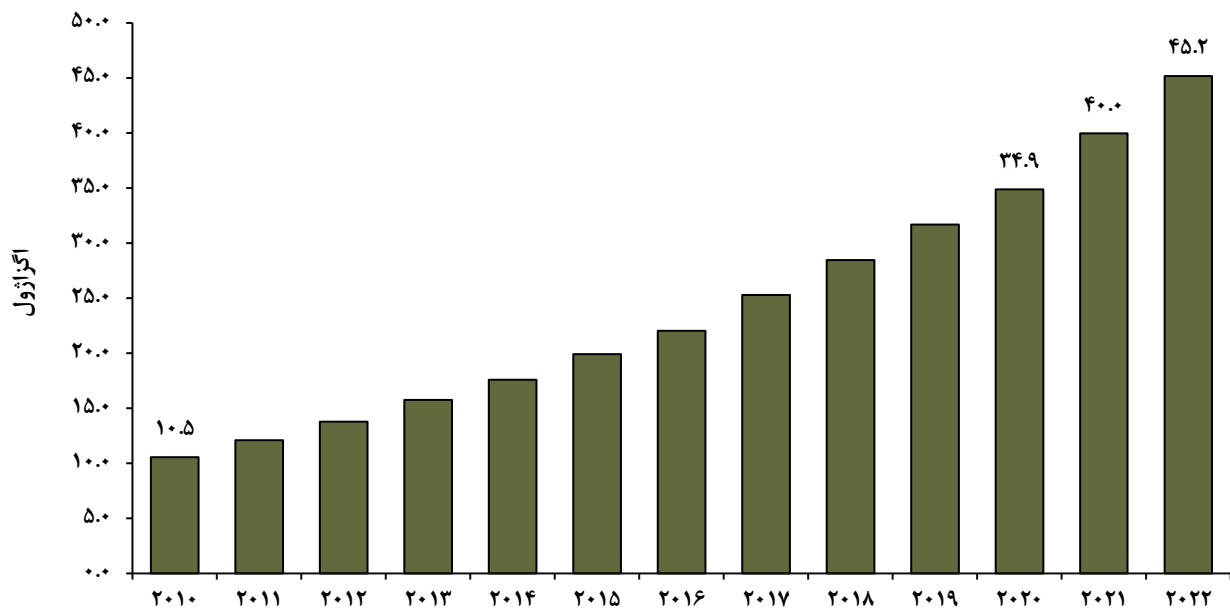
نمودار ۶. انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از بخش انرژی طی سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۲ - میلیارد تن

منبع: موسسه انرژی و شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳

¹⁷ World Health Organization (WHO)

روند صعودی مصرف انرژی و انتشار آلاینده CO2 منجر به بروز نگرانی‌هایی در خصوص دستیابی به توسعه پایدار شده است. اگرچه این منابع نقش به‌سزایی در تسهیل رشد اقتصادی بیشتر کشورها داشته‌اند، با این حال مصرف بیش از حد این منابع مانع بسیار جدی بر سر راه توسعه پایدار است. اقدامات کشورها در خصوص بهره‌وری انرژی می‌تواند نزدیک به ۴۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با بخش انرژی را که برای دستیابی به اهداف جهانی اقلیمی لازم است، کاهش دهد (نوسکایا و همکاران، ۲۰۲۳).

کاهش منابع سوخت‌های رایج (فسیلی) و پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از آن جامعه جهانی را به سمت استفاده از منابع انرژی جایگزین و سازگار با محیط‌زیست ترویج می‌کند (یورتکوران^{۱۸}، ۲۰۲۱). بر اساس آمار و اطلاعات مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان طی بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ به‌طور متوسط حدود ۱۲.۸ درصد رشد داشته است و از ۱۰.۵ اگزاژول در سال ۲۰۱۰ به ۴۵.۲ اگزاژول در سال ۲۰۲۲ رسیده که در نمودار ۷ نمایش داده شده است. در سال ۲۰۲۲، کشورهای چین، ایالات متحده آمریکا، برزیل، آلمان، هند و ژاپن جزو کشورهای پیشرو در به‌کارگیری منابع انرژی پاک بوده‌اند.



نمودار ۷. روند مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲

منبع: موسسه انرژی و شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳

¹⁸ Yurtkuran



استفاده از انرژی زمانی پایدار تلقی می‌گردد که ضمن تامین نیازهای زمان حال، نیاز نسل‌های بعد را به خطر نیندازد. دولت‌ها در راستای ترویج استفاده پایدار از انرژی، سیاست‌های مختلفی مانند استانداردهای بهره‌وری انرژی، قیمت‌گذاری کربن، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و حذف یارانه‌های سوختی را به کار می‌گیرند. داشتن یک سیاست موثر درخصوص بهره‌وری انرژی می‌بایست دربرگیرنده بهبود اقتصادی، افزایش امنیت انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی باشد. شایان ذکر است فناوری‌های مربوط به انرژی‌های پاک نقش اساسی را در تامین انرژی پایدار ایفا می‌کنند. برآورد می‌شود در صورت عدم اجرای اقدامات سیاستی حدود ۲.۱ میلیارد نفر تا سال ۲۰۳۰ به سوخت‌ها و فناوری‌های پاک دسترسی نخواهند داشت. (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۳).

۳. اقدامات بهینه‌سازی انرژی در کشورهای منتخب

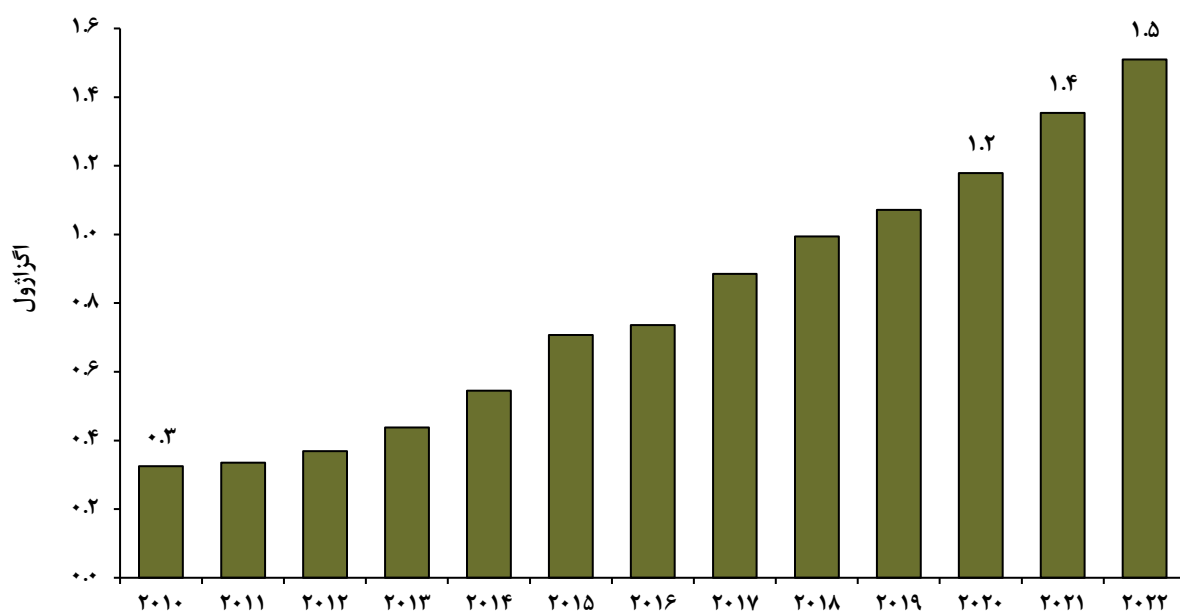
بررسی و ارزیابی تجارب جوامع دیگر به‌ویژه کشورهای صنعتی بیانگر آن است که موضوع کارایی انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی یکی از سیاست‌های اصلی کشورهای توسعه‌یافته در راستای کاهش مصرف انرژی، افزایش کارایی و امنیت انرژی است. بررسی آمار و اطلاعات تا این بخش از گزارش حاکی از آن است طی سال‌های اخیر کشورهای توسعه‌یافته سیاست‌های سخت‌گیرانه‌ای در مدیریت انرژی اعمال نموده و میزان مصرف انرژی و تولید آلاینده در آن‌ها روبه کاهش است. این امر نه به دلیل تولید کمتر این کشورها نسبت به کشورهای دیگر بلکه به دلیل اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی است که در این کشورها انجام پذیرفته است. در ادامه به تعدادی از اقدامات موفق در راستای بهینه‌سازی انرژی در کشورهای ژاپن و آلمان اشاره شده است. استفاده از تجارب کشورها و تعمق در سیاست‌های اتخاذی آن‌ها در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌تواند در جهت تکمیل و بهبود سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی ایران مورد استفاده قرار گیرد.

۳-۱. ژاپن

ژاپن یکی از پیشرفته‌ترین کشورهای جهان از نظر اقتصادی و صنعتی است که از زمان بحران نفتی دهه ۱۹۷۰، امنیت انرژی را در مرکز سیاست‌های انرژی خود قرار داده است. تلاش‌های این کشور برای بهبود امنیت انرژی و خوداتکایی، در سال ۲۰۱۱ به دلیل زلزله بزرگ ژاپن شرقی^{۱۹} و حوادث مرتبط با آن که از کار افتادن نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما دایچی را در پی داشت، مختل شد. بسته شدن نیروگاه‌های هسته‌ای کشور باعث ایجاد شکاف ۳۰ درصدی در تامین برق شد. این شکاف تا حدی با اقداماتی مانند صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری انرژی، مانند

^{۱۹} زمین‌لرزه و سونامی ۲۰۱۱ توهاکو زلزله‌ای است، که ۱۱ مارس ۲۰۱۱ به قدرت ۹ ریشتر در ساعت ۱۴ و ۴۶ دقیقه به وقت محلی در نزدیکی سندیای در استان میاگی در شمال شرقی ژاپن رخ داد و به مدت ۱۷۳ ثانیه مناطق اطراف را به لرزه درآورد.

استفاده از ماشین‌آلات با انرژی کارآمد، کاهش استفاده از تهویه مطبوع و سهمیه‌بندی برق و بخش دیگر از طریق واردات گاز طبیعی مایع و زغال سنگ و همچنین تلاش برای پذیرش انرژی‌های تجدیدپذیر پوشش داده شد. این کشور یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان و واردکنندگان انرژی در جهان است که هنوز به شدت به واردات سوخت فسیلی وابسته است. با این حال، انرژی‌های تجدیدپذیر نقش کوچک اما رو به رشدی در ترکیب انرژی ژاپن ایفا کرده و به کارگیری آن‌ها هر سال در حال افزایش است (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر^{۲۰}، ۲۰۲۲). در نمودار ۸ روند تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر در این کشور نشان داده شده است که طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ تولید برق تجدیدپذیر در این کشور ۵ برابر شده است.



نمودار ۸. تولید برق تجدیدپذیر در ژاپن طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲

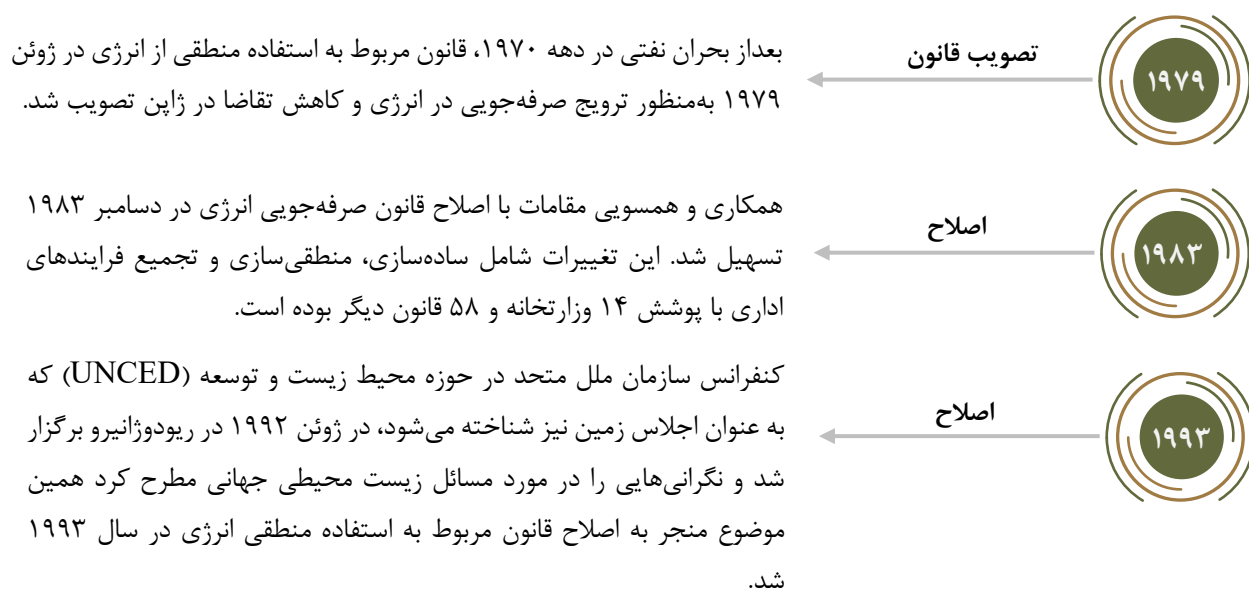
منبع: موسسه انرژی و شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳

شدت مصرف انرژی در ژاپن نسبتاً پایین است. همانطور که پیش‌تر بررسی شد (نمودار ۳) شدت انرژی در ژاپن طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به‌طور میانگین سالانه حدود ۳ درصد کاهش داشته است. سه عامل اصلی سطوح مصرف انرژی یک کشور را تعیین می‌کنند که عبارتند از: (۱) سطح فعالیت (۲) ساختار فعالیت و (۳) سطح بهره‌وری انرژی. طی سال‌های اخیر در ژاپن، تحولات سطح و ساختار فعالیت، مصرف انرژی نهایی را افزایش داده و علیرغم افزایش این دو عامل، شدت مصرف انرژی در دهه گذشته به لطف بهبود بهره‌وری انرژی در این کشور کاهش یافته است.

²⁰ International Renewable Energy Agency (IRENA)

۳-۱-۱. چارچوب نظارتی ژاپن برای بهره‌وری انرژی

ژاپن یکی از کشورهای پیشرو در تدوین قانون انرژی می‌باشد. پیشینه تدوین قانون بهینه‌سازی انرژی به سال ۱۹۷۹ بازمی‌گردد. اصلاح و تکمیل قوانین در کشور مزبور همواره وجود داشته است و آخرین بار در سال ۲۰۲۳ به روز شده است، در ادامه محورهای اصلی سیاست‌های بهره‌وری انرژی در ژاپن مورد بررسی قرار گرفته است.



در این بازنگری، ۱. هدف اصلی این قانون که براساس «وابستگی به واردات انرژی با توجه به وضعیت انرژی این کشور» بود به «تامین نیازهای مربوط به انرژی در داخل و خارج از کشور» تغییر یافت. ۲. سیاست‌های اساسی جدیدی در رابطه با صرفه‌جویی از طریق فراخوان به منظور تلاش در راستای صرفه‌جویی در مصرف انرژی توسط تمامی مصرف‌کنندگان انرژی ایجاد شد. ۳. بر اساس این اصلاحیه ارائه یک گزارش دوره‌ای اجباری توسط کارخانه‌های مدیریت انرژی (energy management factory) تعیین و تصویب شد. همچنین اقداماتی از جمله سیاست‌های تنبیهی اتخاذ شد تا تلاش برای صرفه‌جویی انرژی در کارخانه‌ها، ساختمان‌ها و ماشین‌آلات و تجهیزات تضمین شود. ۴. در پایان مسئولیت ارتقا، توسعه و اجرای فناوری‌های صرفه‌جویی انرژی به فعالیت‌های سازمان توسعه انرژی‌های نو و فناوری‌های صنعتی این کشور اضافه شد.



اصلاح

زمانیکه که مصرف انرژی در داخل و خارج از ژاپن به طور قابل توجهی افزایش یافت، نگرانی‌هایی در خصوص پیامدهای نامطلوب مصرف انرژی بر محیط زیست ایجاد شد، که منجر به اصلاح قانون در ژوئن ۱۹۹۸ شد.

به موجب این بازنگری، وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت برخی از کارخانه‌های منتخب را با برگزاری دوره‌های آموزشی به ارائه یک برنامه میان‌مدت تا بلندمدت برای استفاده بهینه از انرژی ملزم نمود.



اصلاح

به منظور تقویت اقداماتی برای بخش بازرگانی که در روند افزایش قابل توجه تقاضای انرژی قرار دارند، اصلاحیه قانون در ژوئن ۲۰۰۲ به تصویب رسید. یکی از مهم‌ترین اصلاحات قانون مزبور در این تاریخ، این بود که مالکان ساختمانهای بزرگتر از ۲ هزار متر مربع (به استثنای ساختمان‌های مسکونی) باید اقدامات خود را درخصوص صرفه‌جویی انرژی گزارش کنند.



اصلاح

اجرای پیمان کیوتو در فوریه ۲۰۰۴ باعث اصلاح فوری قانون مزبور برای دستیابی به هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در ژاپن شد و این اصلاحیه در آگوست ۲۰۰۵ به تصویب رسید. به موجب این اصلاح، اقداماتی برای بهینه‌سازی انرژی ساختمان‌های مسکونی و بخش ساخت‌وساز انجام شد. بر اساس این اصلاحات مالکان ساختمان‌هایی با زیربنای ۲ هزار مترمربع یا بیشتر، موظف به ارائه گزارش اقدامات خود درخصوص بهینه‌سازی مصرف انرژی شدند. همچنین شرکت‌های حمل‌ونقل اعم از بار و مسافر، موظفند هر ساله برنامه‌های صرفه‌جویی انرژی را تهیه و میزان مصرف انرژی را گزارش کنند. اصلاح قانونی دیگر در این سال ترویج ارائه اطلاعات به مصرف کننده در مورد صرفه جویی در مصرف انرژی بوده است به‌نحوی که تامین کنندگان انرژی مانند شرکت‌های برق و گاز و خرده‌فروشان می‌بایست عملکرد بهره‌وری انرژی خود را ارائه دهند تا اطلاعات مصرف سالانه انرژی برای مصرف‌کننده به راحتی در دسترس باشد.



اصلاح

بازنگری قانون در این سال در راستای تقویت اقدامات حفظ انرژی در بخش های صنعتی و مسکونی بود. به‌عنوان مثال مقرر شد که میزان صرفه جویی انرژی فعالیت‌ها در هر بخش، توسط یک مامور کنترل مدیریت انرژی ارزیابی شود. در بخش مسکونی نیز مالکان ساختمان‌های متوسط و کوچک موظف به ارائه گزارش‌دهی از روند صرفه‌جویی شدند. علاوه بر این، دولت اقداماتی را برای تشویق شرکت‌های درگیر در ساخت و فروش خانه‌ها به منظور بهبود عملکرد صرفه‌جویی در مصرف انرژی خانه‌ها انجام داد.

پس از زلزله بزرگ ژاپن شرقی در سال ۲۰۱۱، عرضه و تقاضای برق در این کشور دچار اختلال شد. در نتیجه علاوه بر تقویت منطقی سازی مصرف انرژی (استفاده مؤثر از سوخت‌های فسیلی با بهبود بهره‌وری انرژی) که از قبل انجام می‌شد، مدیریت انرژی از طریق تعادل عرضه و تقاضای برق مورد نیاز صورت پذیرفت. در نتیجه با اصلاح قانون مذکور در این تاریخ اقدامات مضاعفی برای صرفه جویی انرژی در منازل مسکونی، ساختمان‌ها، تأسیسات و تجهیزات در بخش‌های تجاری و خانگی صورت پذیرفت.

اصلاح



به موجب این اصلاحیه، دستورالعمل‌هایی برای فعالان تجاری در رابطه با اقداماتی که به کاهش تقاضای برق در کارخانه‌ها کمک می‌کند، تدوین شد.

اصلاح



به موجب این اصلاحیه، اقداماتی در خصوص نصب تجهیزات جدید تولید برق انجام گرفت و به دنبال آن ساختار تامین برق اصلاح شد.

اصلاح



به موجب این اصلاحیه، سازوکاری برای صدور گواهی‌نامه طرح‌های مشارکتی بهره‌وری انرژی ایجاد شد که اقدامات صرفه‌جویی انرژی را از طریق همکاری بین کسب‌وکارها ارزیابی می‌کند.

اصلاح



در این سال دامنه منطقی سازی مصرف انرژی گسترش یافت. این اصلاحیه بیانگر آن است که صرفه جویی در انرژی مستلزم منطقی سازی تمام مصارف انرژی، از جمله انرژی‌های غیرفسیلی است. بر این اساس انرژی‌های غیرفسیلی به قانون اضافه شد. به عبارتی علاوه بر انرژی‌های فسیلی تحت پوشش قانون حفاظت از انرژی که مستلزم منطقی کردن تمام مصرف انرژی است، انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی غیر فسیلی) را نیز دربرگرفت. همچنین فعالان تجاری مشخص موظفند برنامه‌های میان‌مدت تا بلندمدت را در رابطه با هدف تغییر به سمت انرژی‌های غیرفسیلی و ارائه گزارش‌های دوره‌ای در مورد وضعیت استفاده از انرژی‌های غیرفسیلی تهیه کنند. در نهایت مقرر شد چارچوبی برای بهینه‌سازی تقاضای برق بر اساس شرایط عرضه و تقاضا، مانند تغییر تقاضای برق به دوره زمانی افزایش تولید انرژی تجدیدپذیر و کنترل تقاضا در زمان کمبود برق ایجاد شود.

اصلاح



در ادامه برای درک بهتر سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک جمع‌بندی مهم اقدامات صورت گرفته توسط این کشور در راستای ارتقای بهره‌وری انرژی بیان می‌شود.

سیاست‌های بهینه‌سازی انرژی در ژاپن شامل اصلاح استانداردها و توسعه سطح برنامه‌های استانداردسازی مانند اجرای طرح استانداردسازی وسایل نقلیه سنگین، اجرای سیستم برچسب‌گذاری برای کارایی انرژی وسایل خانگی و شرکت‌های بزرگ حمل‌ونقل مسافر و کالا و ساختمان‌های بزرگ شهری می‌باشند. بهبود مصرف انرژی و افزایش کارایی، محور کلیدی سیاست انرژی در ژاپن است. از جمله اهداف مهم این سیاست بهبود کارایی مصرف انرژی حداقل به میزان ۳۰ درصد تا سال ۲۰۳۰، کاهش وابستگی ژاپن به نفت در بخش حمل‌ونقل تا میزان ۸۰ درصد تا سال ۲۰۳۰ و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی هسته‌ای در سبد تامین انرژی ژاپن است.

وضع انواع مالیات در بخش‌های مختلف یکی از سیاست‌های مهم بهینه‌سازی انرژی در این کشور است. ژاپن با وضع مالیات سبز از اتومبیل‌ها و خودروهایی که آلاینده‌گی کمتری ایجاد می‌کنند مالیات کمتری دریافت می‌کند. همچنین در بخش بازرگانی و صنعت نیز شرکت‌ها می‌توانند با ارائه گواهی به‌کارگیری تجهیزات و ماشین‌آلات کارا از کاهش معینی در مالیات بهره‌مند شوند. این سیاست‌ها با همکاری گسترده بخش دولتی و خصوصی صورت گرفته است.

دولت ژاپن در حال ترویج استفاده از سیستم‌های مدیریت انرژی خانگی^{۲۱} و سیستم‌های مدیریت انرژی تجاری^{۲۲} است. این سیستم‌ها اطلاعات بلادرنگ مصرف انرژی و هزینه‌ها را ارائه می‌دهند و امکان کنترل خودکار دستگاه‌های متصل را فراهم می‌کنند (از جمله، لوازم الکتریکی اصلی، روشنایی و سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع). استقرار این سیستم‌ها از اوایل دهه ۲۰۰۰، از طریق یارانه‌ها در مقیاس بزرگ حمایت می‌شود (موسسه اقتصاد انرژی ژاپن^{۲۳}، ۲۰۲۱). از اوایل سال ۲۰۲۰، سیستم‌های مدیریت انرژی خانه در بیش از ۵۰۰ هزار خانه نصب شده و حدود ۱۶ درصد از کل ساختمان‌ها به سیستم‌های مدیریت انرژی تجاری مجهز شده‌اند. ژاپن در نظر دارد سیستم‌های مدیریت انرژی در بخش خانگی و کسب‌وکار را با کنتورهای هوشمند، تجهیزات تولید انرژی محلی (به‌عنوان مثال از پانل‌های فتوولتائیک خورشیدی) و باتری‌های ذخیره‌سازی (به‌عنوان مثال در قالب خودروهای برقی) ارتقا دهد. هدف نهایی این کشور توسعه «خانه‌ها و ساختمان‌های هوشمند» است که در آن همه دستگاه‌ها به یکدیگر متصل شده و مصرف انرژی از طریق استفاده از هوش مصنوعی بهینه می‌شود. انتظار می‌رود توسعه کنتورهای هوشمند (وسایل نقلیه برقی و پیشرفت فناوری اینترنت اشیا) بازار سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی را توسعه دهد. قانون بهینه‌سازی مصرف انرژی برای ساختمان‌های جدید در ژاپن در سال ۲۰۰۲ به اجرا درآمده

^{۲۱} سیستم‌های مدیریت انرژی در خانه (home energy management system) یا به اختصار (HEMS) به عنوان هر محصول یا خدماتی تعریف می‌شود که انرژی را در خانه نظارت، کنترل و یا آن را تجزیه و تحلیل می‌کند.

^{۲۲} Business Energy Management System

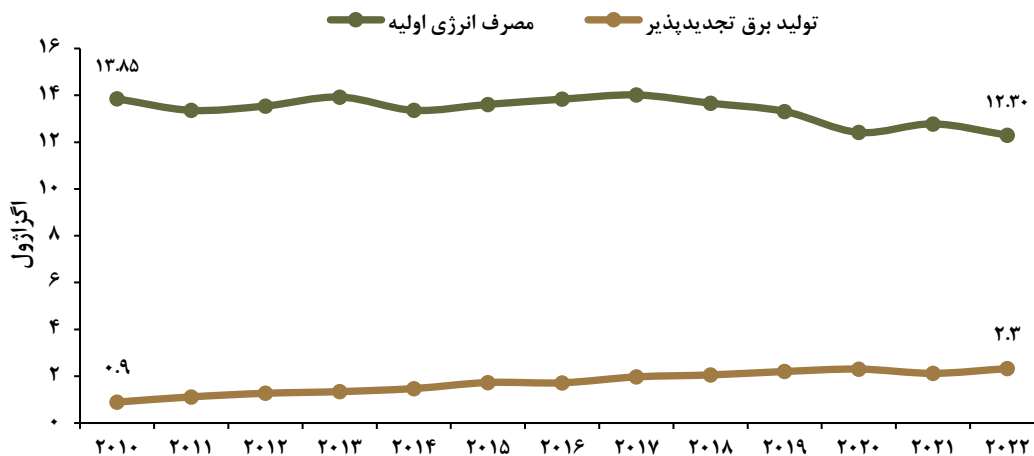
^{۲۳} The Institute of Energy Economics, Japan (IEEJ)

یک اتاق فکر انرژی است که بر مسائل انرژی، اقتصادی و زیست محیطی و همچنین ژئوپلیتیک خاورمیانه تمرکز دارد. این موسسه در سال‌های گذشته در میان سه اندیشکده انرژی برتر جهان قرار گرفته است.

است. همچنین طرح سیستم ارزیابی جامع کارایی زیست‌محیطی و سیستم هشدار کارایی انرژی در ساختمان‌ها به‌منظور ارزیابی و مقایسه انرژی ساختمان‌ها و اندازه‌گیری تغییرات کارایی انرژی به اجرا درآمده است.

۳-۲. آلمان

کشور آلمان کاهش ۳۰ درصدی سرانه مصرف انرژی را از سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۳۰ به‌عنوان هدف بهره‌وری انرژی تعیین کرده است. بر اساس آمار و اطلاعات موسسه انرژی، مصرف سرانه انرژی آلمان در سال ۲۰۰۸ برابر با ۱۷۴ اگزاژول بوده است که در صورت تحقق هدف به نصف رساندن مصرف سرانه انرژی در سال ۲۰۳۰ این رقم به ۸۷ اگزاژول خواهد رسید. استراتژی بهره‌وری انرژی آلمان ۲۰۵۰ که توسط وزارت فدرال امور اقتصادی و انرژی^{۲۴} ارائه شده مسیر بلندمدتی برای تقویت سیاست بهره‌وری انرژی آلمان تعیین می‌کند. این استراتژی دستیابی به هدف بهره‌وری انرژی اتحادیه اروپا (کاهش مصرف انرژی اولیه و نهایی به میزان حداقل ۳۲.۵ درصد تا سال ۲۰۳۰) را تسهیل می‌نماید. آلمان هدف خود را کاهش حداقل ۵۵ درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ (در مقایسه با سطوح سال ۱۹۹۰) قرار داده است. برای دستیابی به هدف اقلیمی خود در سال ۲۰۳۰، این کشور باید هم انرژی‌های تجدیدپذیر را گسترش داده و هم مصرف انرژی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. همانطور که در نمودار ۹ مشاهده می‌شود طی بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ مصرف انرژی اولیه آلمان روند نزولی داشته و از ۱۳.۸۵ اگزاژول به ۱۲.۳ اگزاژول رسیده است. همچنین آمار حاکی از رشد تولید برق تجدیدپذیر در این کشور است به طوری که طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ به‌متوسط سالانه ۸.۲ درصد رشد داشته است.



نمودار ۹. روند مصرف انرژی و تولید برق تجدیدپذیر آلمان طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲-اگزاژول

منبع: موسسه انرژی و شرکت بریتیش پترولیوم، ۲۰۲۳

²⁴ Federal ministry for economic affairs and energy

محور اصلی استراتژی بهره‌وری انرژی ۲۰۵۰، برنامه جدید اقدام ملی برای بهره‌وری انرژی^{۲۵} است. دولت فدرال با برنامه اقدام ملی برای بهره‌وری انرژی، استراتژی جامعی را برای دستیابی به اهداف بهینه‌سازی انرژی طراحی کرده است. همبستگی بسیاری میان برنامه اقدام ملی برای بهره‌وری انرژی (NAPE) و پیاده‌سازی اهداف کشور در زمینه به حداقل رساندن تغییرات اقلیمی برای سال ۲۰۳۰ وجود دارد. اغلب اقدامات سیاسی و ابزارهای در نظر گرفته شده برای کاهش مصرف سوخت منجر به کاهش انتشار گازهای آلاینده می‌شود. هدف برنامه کاهش مصرف نهایی انرژی در تمام بخش‌های مربوطه، یعنی ساختمان‌ها، صنعت و تجارت و حمل‌ونقل است. در ادامه به برخی از راهبردهای بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف آلمان اشاره شده است.

۱. بهبود کارایی انرژی در ساختمان‌های موجود

بخش ساختمان حدود ۳۵ درصد از کل مصرف انرژی نهایی در آلمان را تشکیل می‌دهد. این نشان‌دهنده نقش کلیدی ساختمان در انتقال انرژی و تغییرات اقلیمی دارد. طبق قوانین آلمان برای مهار تغییرات اقلیمی در سال ۲۰۳۰، بخش ساختمان تنها مجاز به انتشار معادل ۷۰ میلیون تن گاز CO₂ می‌باشد. علاوه بر این هدف آلمان دستیابی به سهم ۲۷ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر در مصرف نهایی انرژی در بخش گرمایش و سرمایش می‌باشد. ترویج استفاده از مصالح ساختمانی با مصرف بهینه انرژی، تخریب بخش‌هایی از ساختمان و بازیافت مصالح ساختمانی نیز می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند. مشروح برخی از اقدامات در حال اجرا در بخش ساختمان:

- مشوق‌های مالیاتی برای نوسازی ساختمان‌ها از ژوئن ۲۰۲۰، آلمان مشوق‌های مالیاتی برای نوسازی و افزایش کارایی انرژی به مالکان ارائه داده و به آن‌ها اجازه می‌دهد ۲۰ درصد از هزینه‌های بازسازی تا سقف ۴۰ هزار یورو را از مالیات خود کسر کنند.
- کمک مالی دولت برای ساختمان‌های کارآمد در سال ۲۰۱۵ بسته‌ای به منظور حمایت از نوسازی ساختمان‌ها تصویب شد. در این برنامه برای کارآمد کردن ساختمان‌ها در مصرف انرژی، وام‌های کم بهره و تخصیص یارانه به افراد و شرکت‌های مرتبط با بخش ساختمان ارائه شده است.
- افزایش بکارگیری شبکه‌های گرمایشی کارآمدتر و تجدیدپذیرتر در سال ۲۰۱۶ دولت اقدام به بهینه‌سازی سیستم‌های گرمایشی کرد. مبنای این امر دستورالعمل بهینه‌سازی گرمایش از طریق پمپ‌های بسیار کارآمد و بالانس هیدرولیکی است. این کار با نصب پمپ‌های

²⁵ The National Action Plan on Energy Efficiency (NAPE)

مدرن و با راندمان بالا یا انجام تعادل هیدرولیکی انجام می‌شود که گرما را در ساختمان به‌طور بهینه توزیع می‌کند.

- آلمان در سال ۲۰۲۱ طرح ملی توسعه و تاب‌آوری خود را به کمیسیون اروپا ارائه کرد. این طرح شامل سه سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان است که شامل: سرمایه‌گذاری ۲۰ میلیون یورویی برای توسعه بیشتر ساخت‌وساز سازگار با اقلیم، سرمایه‌گذاری ۵۷ میلیون یورویی برای احداث مکان‌هایی برای ارزیابی مداوم وضعیت انتقال انرژی و سرمایه‌گذاری ۲۵۰۰ میلیون یورویی (برای سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۶) برای بازسازی ساختمان‌هایی که انتشار بالای CO2 دارند و تخصیص جایزه نوآوری.
- بهینه‌سازی در چارچوب مدل‌سازی اطلاعات ساختمان^{۲۶} (BIM)

۲. بهبود کارایی انرژی در صنعت، تجارت و خدمات

صنعت، تجارت و خدمات در مجموع ۴۵ درصد از مصرف انرژی نهایی آلمان را تشکیل می‌دهند. در نتیجه تلاش برای افزایش بهره‌وری انرژی در این بخش بسیار مهم است. برنامه اقدام اقلیمی ۲۰۳۰ زمینه را برای افزایش بهره‌وری انرژی آماده نموده است. برخی از اقدامات اجرا شده در بخش صنعت، تجارت و خدمات به شرح زیر است:

- توسعه حداقل استانداردها که منجر به سرمایه‌گذاری در پروژه‌های نوآوارنه، کم‌کربن و کم‌مصرف در صنعت انرژی می‌شود.
- سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی و تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر.
- دولت فدرال به دنبال استقرار قاطعانه اصل اقتصاد دایره‌ای در شرکت‌های آلمانی است.
- مناقصه رقابتی برای بهره‌وری انرژی.
- ترویج خدمات مشاوره‌ای، اقدامات سرمایه‌گذاری و دوره‌های آموزشی بیشتر در مورد بهره‌وری منابع و جایگزینی.
- برنامه ملی کربن‌زدایی با هدف ترویج فناوری‌های کم‌کربن و صرفه‌جویی در انرژی برای صنایع انرژی بر.

۳. بهبود کارایی انرژی در بخش حمل‌ونقل

از آنجایی که انتظار می‌رود حمل‌ونقل مسافر و بار تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد، اقدام ویژه در بخش حمل‌ونقل ضروری است؛ که این یک چالش برای کاهش مصرف انرژی خواهد بود. نقطه کلیدی شروع برای افزایش بهره‌وری

²⁶ Building Information Modeling (BIM)

انرژی و اقدامات اقلیمی در حمل‌ونقل، افزایش کارایی موتورهای احتراقی، استفاده از خودروهای برقی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید سوخت و از همه مهمتر، بازسازی سیستم حمل‌ونقل است. شایان ذکر است ارتقای خودروهای برقی یک رکن مهم در برنامه اقدام اقلیمی ۲۰۳۰ است. برخی از اقدامات در حال اجرا در بخش حمل‌ونقل به شرح زیر است:

- افزایش جذابیت جابه‌جایی ریلی در بخش مسافری
- افزایش جذابیت حمل‌ونقل عمومی
- توسعه زیرساخت‌های دوچرخه سواری
- توسعه استفاده از خودروهای سواری کم‌کربن از طریق پرداخت حق بیمه برای خودروهای برقی و معافیت مالیاتی برای خودروهای سواری کم‌کربن
- نوسازی ناوگان‌های داخلی

در سال ۲۰۲۰، تصویب شده است که حدود یک میلیارد یورو به طرح نوسازی ناوگان برای خودروهای سنگین کارآمدتر و سازگار با محیط زیست اختصاص یابد.

۴. نتیجه‌گیری

توسعه برنامه‌های صرفه‌جویی و بهره‌وری انرژی در هر کشوری وابسته به کیفیت تدوین استراتژی و برنامه راهبردی و تهیه برنامه عملیاتی در راستای حصول اهداف مورد نظر می‌باشد. به‌منظور آگاهی از میزان تاثیر برنامه‌های مذکور در رشد بهره‌وری انرژی لازم است از طریق شاخص‌هایی مورد ارزیابی قرار گیرد. نتیجه این ارزیابی‌ها از دو جهت قابل رصد و پیگیری است. نخست آنکه از نتایج حاصل شده می‌توان در جهت بازنگری و اصلاح و همچنین تکمیل برنامه‌های عملیاتی بهره‌مند شد و دیگری نتایج حاصل از ارزیابی شاخص‌ها را با کشورهای هم‌تراز و غیرهم‌تراز مورد مذاقه قرار داده و از تجارب کشورهای پیشرفته بهره‌برداری کرد. با عنایت به این امر که هر جامعه‌ای با توجه به الزامات خود دارای سیاست‌ها، قوانین و برنامه‌های مختص به خود است اما می‌توان مهم‌ترین سیاست‌های موجود در کشورهای توسعه‌یافته را به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی به شرح زیر عنوان نمود:

۱. تدوین استاندارد مدیریت انرژی

برخی از کشورهای توسعه‌یافته مثل ژاپن و آلمان اقدام به تدوین استاندارد ملی برای سازماندهی اجرای برنامه‌های بهینه‌سازی انرژی کرده‌اند. این استانداردها قابل استفاده در کارخانه‌ها و شرکت‌های بزرگ و کوچک در بخش‌های دولتی و خصوصی است که منافع ناشی از سازماندهی مدیریت انرژی را در تمامی آن‌ها تامین می‌نماید.

۲. برنامه‌های ملی یا قانون بهره‌وری انرژی

قوانین و مقررات مربوط به بهره‌وری انرژی در اغلب کشورها عامل حیاتی برای اجرای سیاست‌های بخش انرژی است. برخی از کشورهای توسعه‌یافته مثل آلمان دارای برنامه ملی بهره‌وری انرژی و برخی دیگر مانند ژاپن دارای قانون بهره‌وری انرژی هستند. هدف اصلی این برنامه‌ها و قوانین کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، کاهش مصرف انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است.

۳. مشوق‌های مالی و مالیاتی

یکی از مهم‌ترین عوامل تشویق در امر بهینه‌سازی مصرف انرژی استفاده از کمک‌های مالی و مالیاتی دولت‌ها می‌باشد. در کشورهای مزبور، بخش‌های صنعت، خدمات عمومی، حمل‌ونقل، خانگی و ... می‌توانند با انجام اقدامات بهینه‌سازی انرژی از معافیت‌های مالیاتی مانند تخفیف مالیات کربن بهره‌مند شوند. این تخفیف‌ها اغلب برای استفاده از تجهیزات کم مصرف و بهینه در نظر گرفته می‌شود.

۴. ارائه برنامه‌های آموزشی در راستای آگاهی‌سازی

تقریباً در تمامی کشورهای پیشرفته برنامه‌های مشخص و مدونی برای یادگیری و آگاهی‌سازی در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی وجود دارد. به‌عنوان مثال در ژاپن مرکز ملی صرفه‌جویی این مسئولیت را بر عهده دارد. آموزش و اطلاع‌رسانی با ارزیابی الگوی رفتاری مردم هر کشور می‌تواند به اشکال مختلفی منجر به افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان انرژی در جهت ایجاد انگیزه لازم برای بهبود کارایی و بهینه‌سازی مصرف انرژی شود.

۵. ممیزی انرژی

مشخص نمودن وضعیت مصرف انرژی (میزان مصرف، شدت انرژی، هزینه و...) در چارچوب ممیزی انرژی در بسیاری از کشورهای توسعه یافته در حال انجام است.

۶. تدوین استراتژی‌های کارایی انرژی با افق بلندمدت

آشنایی با سیستم عرضه و تقاضای انرژی جهت تنظیم راهبردهای بلندمدت افزایش کارایی انرژی بسیار مهم است. اهمیت این موضوع به‌ویژه برای کشورهای دارنده منابع طبیعی نفت و گاز مانند ایران دو چندان است.

۷. مشارکت بالای بخش خصوصی و دولتی

میزان مشارکت بخش خصوصی و دولتی در حوزه انرژی در کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته بالا است. هرچه دامنه این همکاری گسترده باشد، باعث می‌شود تا سیاست‌های کلان انرژی در بخش‌های مختلف هم‌راستا و همسو بوده و نتیجه خود را در افزایش کارایی نشان خواهد داد.

۸. مشارکت‌ها و همکاری‌های بین‌المللی

مشارکت‌های بین‌المللی و همکاری گسترده در راستای بهبود کارایی انرژی آثار مطلوبی بر کشورهای طرفین همکاری داشته است.

۹. برنامه‌ریزی در جهت ایجاد شهرهایی با بیشترین کارایی انرژی

برنامه‌ریزی شهری می‌تواند از طریق تاثیرگذاری بر فرم و ساختار شهر و ماهیت سیستم حمل‌ونقل بر مصرف انرژی در شهرها اثرگذار باشد. در زمینه کاهش مصرف انرژی در کشورهای مثل ژاپن و آلمان رویکردهای متفاوتی مانند توسعه شهر هوشمند، توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل، نوسازی ساختمان‌ها، استفاده از روش‌های طراحی معماری و شهرسازی برای صرفه‌جویی در برنامه‌ریزی شهری وجود دارد.

1. Yu, S., You, L., & Zhou, S. (2023). A review of optimization modeling and solution methods in renewable energy systems. *Frontiers of Engineering Management*, 10(4), 640-671.
2. Azari Sangeli, F., Jalali Majidi, M., Borzui, A., & Daryaei, Z. (2014). Managing and optimization of energy consumption and offering strategies to materialize It. *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 3(3 (s)), pp-57.
3. Aruta, G., Ascione, F., Bianco, N., Iovane, T., Mastellone, M., & Mauro, G. M. (2023). Optimizing the energy transition of social housing to renewable nearly zero-energy community: The goal of sustainability. *Energy and Buildings*, 282, 112798.
4. Shah, A. S., Nasir, H., Fayaz, M., Lajis, A., & Shah, A. (2019). A review on energy consumption optimization techniques in IoT based smart building environments. *Information*, 10(3), 108.
5. Gajdzik, B., Wolniak, R., Nagaj, R., Žuromskaitė-Nagaj, B., & Grebski, W. W. (2024). The Influence of the Global Energy Crisis on Energy Efficiency: A Comprehensive Analysis. *Energies*, 17(4), 947.
6. Nevskaya, M. A., Raikhlin, S. M., Vinogradova, V. V., Belyaev, V. V., & Khaikin, M. M. (2023). A study of factors affecting national energy efficiency. *Energies*, 16(13), 5170.
7. Carrus, G. (2021), Psychological predictors of energy saving behavior: A meta-analytic approach., *Frontiers in Psychology*, 12, 648221.
8. Kimura, O. and K. Nishio (2016), Responding to electricity shortfalls: Electricity-saving activities of households and firms in Japan after Fukushima. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 5(1), 51–72.
9. Yurtkuran, S. (2021). The effect of agriculture, renewable energy production, and globalization on CO2 emissions in Turkey: A bootstrap ARDL approach. *Renewable Energy*, 171, 1236-1245.
10. Institute of Energy Economics, Japan (2021), CERT Thematic Discussions: The role of 'behavioural aspects' for reaching net zero emissions by 2050.
11. IEA (2023), *Energy Efficiency 2023*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2023>, Licence: CC BY 4.0
12. Mirmoghtadaee, M., Mousavian, S. M. F., & Gomarian, P. (2017). A comparative study on the role of energy efficiency in urban planning system of Iran and Germany. *The Monthly Scientific J. of Bagh-E Nazar*, 13(43), 91-100.
13. Federal ministry for economic affairs and energy (2020), *Germany's Energy Efficiency Strategy 2050*, Public Relations Division.

14. <https://www.iea.org/>
15. <https://www.bp.com/>
16. <https://www.energyinst.org/>
17. <https://www.worldbank.org/en/home>