جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور
مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور

سیستم‌ها و فناوری‌های در حال ظهور انرژی در جهان و جایگاه ایران

گزارش راهبردی | شماره ۸۶ | دی ۱۴۰۱ | گروه مطالعات اقتصاد و فناوری

بسم الله الرحمن الرحیم

مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور

نویسنده: زهرا حیدری دارانی

تهیه شده در: گروه مطالعات اقتصاد و فناوری

تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۱

گزارش راهبردی

سیستم‌ها و فناوری‌های در حال ظهور انرژی در جهان و جایگاه ایران

در این گزارش می‌خوانید

۱ سیستم‌های انرژی در معرض تغییر پارادایم تمرکزگرایی به تمرکززدایی در حال گذار از سیستم‌های سنتی به‌سمت شکل‌گیری سیستم‌های هوشمند هستند.

۲ سیستم‌های انرژی در ایران از نوع صنعتی و سنتی هستند.

۳ امکان‌سنجی فنی، اراده سیاست‌گذاران و مجریان قانون و پذیرش فناوری‌های سیستم‌های انرژی پاک توسط مردم و مشارکت عموم از لوازم تغییر سیستم‌های انرژی در ایران است.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور

چکیده

در دهه‌های گذشته، تقاضای انرژی جهانی به صورت چشم‌گیر افزایش‌یافته است که بیشتر به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی در کشورهای توسعه‌یافته و توسعه صنعتی بی‌وقفه در سراسر جهان است. منابع انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی محدود هستند و تاثیر عمیق زیست‌محیطی بر جای می‌گذارند و در افزایش جهانی دمای هوای کره زمین سهم بسزایی دارند. بنابراین سوخت‌های فسیلی نمی‌توانند تقاضای جهانی انرژی را به شیوه‌ای پایدار تامین کنند. همه این موارد به توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر در سال‌های گذشته منجر شده است؛ مانند انرژی بادی، خورشیدی، آبی یا دریایی. همچنین سیستم‌های انرژی سنتی و متمرکز در حال تبدیل به سیستم‌های هوشمند و غیرمتمرکز هستند. در ایران با وجود پتانسیل قابل‌توجهی از منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم فعلی تامین انرژی تقریباً به طور کامل بر منابع سوخت فسیلی متکی و سیستم‌های انرژی سنتی هستند که چالش‌های اقتصادی قابل‌توجهی را بر کشور تحمیل کرده و به انتشار قابل‌توجه گازهای گلخانه‌ای منجر شده است. برنامه‌ریزی بلند مدت و آینده‌نگر در حوزه انرژی می‌تواند به طور معناداری از این چالش‌های جدی جلوگیری کند. همچنین سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در سطح کلان کشور و مشارکت عموم مردم از لوازم تغییر سیستم‌های انرژی در ایران است. راهبردهایی که می‌توان به آن اشاره کرد از ترسیم کلان‌تصویر آینده سیستم‌های انرژی هوشمند برای بوم ایران با توجه به وجه مشارکتی برای عموم مردم و خبرگان است تا ایجاد بستر برای اخذ مالیات بر کربن.

.

فهرست

یافته‌های کلیدی ۱
مقدمه ۲
مفهوم انرژی از دوره پیشامدرن تا آینده ۲
سیر تکامل سیستم‌های انرژی ۳
سیستم انرژی اولیه ۴
سیستم انرژی صنعتی ۵
سیستم انرژی توزیع‌شده ۵
سیستم انرژی هوشمند ۵
فناوری‌های در حال ظهور سیستم‌های انرژی جهان ۷
مفهوم تولیدصرف‌کننده ۸
نیروگاه مجازی ۸
کنتور هوشمند ۹
تجمیع‌کننده ۹
ریزشبکه ۹
شبکه هوشمند ۱۰
داده‌های بزرگ انرژی ۱۰
سیستم‌های انرژی در ایران ۱۱
جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۲
تجویز راهبردی ۱۳
یادداشت‌ها و منابع ۱۵

یافته‌های کلیدی

- سیر تکامل سیستم‌های انرژی را می‌توان به چهار مرحله تقسیم کرد؛ ۱. سیستم‌های انرژی اولیه (غیرمتمرکز)؛ ۲. سیستم انرژی صنعتی (سیستم‌هایی متمرکز و مبتنی بر تولید انرژی فسیلی در مقیاس بزرگ)؛ ۳. سیستم انرژی توزیع‌شده (منابع انرژی پاک، شخصی‌شده و انعطاف‌پذیر)؛ ۴. سیستم هوشمند انرژی (ترکیب اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ و رایانش ابری، دیجیتالی شدن سیستم‌های انرژی).

- سیستم‌های انرژی در معرض تغییر پارادایم تمرکزگرایی به تمرکززدایی[۱] در حال گذار از سیستم‌های سنتی به سمت شکل‌گیری سیستم‌های هوشمند هستند.
- در ایران با وجود پتانسیل قابل‌توجهی از منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم فعلی تامین انرژی در ایران تقریباً به طور کامل بر منابع سوخت فسیلی متکی است و بنابراین سیستم‌های انرژی در ایران از نوع صنعتی و سنتی هستند.
- سیستم‌های سنتی انرژی در ایران بار مالی قابل توجهی بر کشور تحمیل کرده و منجر به انتشار قابل‌توجه گازهای گلخانه‌ای شده است.
- ایران با چالش‌های متعددی برای بهره‌برداری از منابع انرژی پاک جایگزین و ناشی از سیاست‌های کوتاه مدت و مقطعی در بخش انرژی مواجه است.
- در ایران تعهد کافی به برنامه‌ریزی بلند مدت و آینده‌محور انرژی می‌تواند به طور معناداری از چالش‌های جدی جلوگیری کند.
- به منظور ارائه **راه‌حل‌های پایدار زیست‌محیطی** و برای استقرار و گسترش سیستم‌های انرژی هوشمند، نه‌تنها اراده سیاست‌گذاران و مجریان قانون، انجام مطالعات تخصصی و امکان‌سنجی فنی اهمیت دارد؛ بلکه مطالعات اجتماعی در راستای پذیرش این فناوری‌ها و جلب مشارکت عموم مردم ضروری است.

[۱] Decentralization

مقدمه

با توسعه سریع اقتصاد و جامعه، رشد سریع جمعیت جهان، افزایش مشکلات مربوط به منابع و محیط‌زیست و افزایش تقاضای مردم برای کیفیت خدمات انرژی، معایب و نقص‌های سیستم‌های انرژی سنتی بیشتر و واضح‌تر می‌شود. تولید انرژی در مقیاس بزرگ با انرژی زغال‌سنگ منجر به آلودگی زیست‌محیطی جدی شده است. تخمین زده می‌شود که انتشار کربن از تولید انرژی الکتریکی بیش از ۷۷۰۰ میلیون تن بوده‌است که حدود ۳۷/۳۷ درصد کل گازهای گلخانه‌ای را در سال تشکیل می‌دهد. همچنین، برای برآورده کردن تقاضای روزافزون مصرف انرژی، سرمایه‌گذاری در تولید انرژی به سرعت در حال افزایش است. از دیدگاه مصرف انرژی، مصرف کل انرژی جهان در چند دهه گذشته به طور چشم‌گیر افزایش‌یافته است. از نظر ساختار مصرف انرژی، نسبت مصرف انرژی تجدیدپذیر به مصرف انرژی فسیلی هنوز نسبت اندکی است. همچنین، با توسعه اینترنت اشیا و فناوری‌های مرتبط با شهر هوشمند، دستگاه‌های خانگی هوشمند بیشتری در منازل نصب می‌شوند.

نبود تعادل میان تامین انرژی و تقاضا اغلب تهدیداتی جدی را برای امنیت و قابلیت اطمینان سیستم‌های انرژی به همراه دارد. اضافه بر این، برای صنعتی با ویژگی‌های انحصاری، بخش انرژی فاقد انگیزه برای ارائه محصولات و خدمات انرژی نوآورانه در بسیاری از کشورها است و چون کیفیت خدمات به مصرف‌کنندگان نمی‌تواند به طور مداوم بهبود یابد، تقاضای مردم برای ساخت سیستم‌های انرژی هوشمند به طور چشم‌گیر رو به افزایش است (Zhou & Yang, 2018).

در ایران با توجه به حضور کمتر از ۳ درصد انرژی تجدیدپذیر در ساختار مصرف انرژی (احسانی‌فر و دیگران، ۱۳۹۶)، سیستم‌های انرژی همچنان سنتی است و با وجود تاکید اسناد بالادستی بر حرکت به سمت تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، به نظر می‌رسد؛ هنوز ضرورت حرکت جدی و نظام‌مند به سمت استقرار و توسعه سیستم‌های در حال ظهور برای مجریان و ناظران قانون و مسئولان عملی کردن اسناد بالادستی محل اعتنا نیست. در این گزارش با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای مروری بر سیر تکامل سیستم‌های انرژی در جهان خواهیم داشت و فناوری‌های در حال ظهور انرژی را معرفی خواهیم کرد. سپس به بررسی سیستم انرژی در ایران خواهیم پرداخت.

مفهوم انرژی از دوره پیشامدرن تا آینده

روزگاری انرژی، به همراه آب و غذا سه عنصر اصلی برای تضمین بقای انسان بودند؛ اما با توسعه و تعمیق علوم و پیشرفت فناوری، انرژی جهان در حال ورود به دوره‌ای تاریخی و جدید است و نوعی از انرژی یعنی انرژی پاک و کم‌کربن[۲] به طور اجتناب‌ناپذیری مورد نیاز است و امروز انرژی کالایی راهبردی برای حفظ استقلال است و فناوری‌های مربوط به آن از جمله فناوری‌های کلیدی برای حفظ امنیت ملی کشورها محسوب می‌شود.

[۲] Low-carbon

با مروری تاریخی بر انقلاب‌های انرژی، از دوران انرژی فسیلی تا دورانی جدید برای انرژی‌های جدید، دلیل این افزایش اهمیت انرژی را بررسی می‌کنیم.

چوب اولین منبع تولید انرژی برای انسان بوده است و به دلیل راحتی در دسترسی و استفاده، به منبع انرژی ضروری برای بقای انسان تبدیل شد. پس از آن دوره، با پیشرفت‌های فناوری در معدن زغال سنگ، از زغال سنگ، که چگالی انرژی بالاتری دارد، استفاده گسترده‌ای در تولید انرژی شد. در سال ۱۷۶۹، وات موتور بخار را اختراع کرد. در سال ۱۸۷۵، فرانسوی‌ها اولین نیروگاه آتش‌زا را در جهان ساختند. پیشرفت تمدن بشری توسعه صنعت ذغال سنگ را تسریع کرد و ذغال سنگ بیشترین سهم را در ترکیب انرژی اولیه در دهه ۱۷۸۰ به خود اختصاص داد و برای اولین بار مصرف آن از مصرف چوب فراتر رفت. این اولین انقلاب از مصرف انرژی از منبع چوب به زغال سنگ بود. در سال ۱۸۸۶، دایملر[۳] موتور احتراق داخلی را اختراع کرد و باعث افزایش تقاضای نفت و بنزین به عنوان منابع انرژی کارآمد شد. پیشرفت در تئوری زمین‌شناسی و فناوری‌های حفاری، تکمیل و پالایش باعث شده است که تولید نفت و گاز به میزان قابل توجهی افزایش یابد. بر این اساس، سهم نفت و گاز در ترکیب انرژی اولیه به سرعت به بیش از ۵۰ درصد در سال ۱۹۶۵ رسید. جایگزینی نفت و گاز به جای زغال سنگ دومین انقلاب در حوزه انرژی بود (Caineng et al., 2016).

با افزایش مداوم تقاضای اقتصادی و اجتماعی برای انرژی و ظهور جوامع کم‌کربن، سومین انقلاب در مصرف انرژی از سوخت فسیلی سنتی به انرژی جدید غیرفسیلی و تجدیدپذیر اجتناب‌ناپذیر خواهد شد؛ چرا که در سال‌های اخیر، فجایع بوم‌شناختی و زیست‌محیطی ناشی از استفاده از زغال سنگ، نفت و دیگر منابع انرژی پرکربن افزایش چشم‌گیر داشته است. در فاصله بین هر دو انقلاب در حوزه انرژی، بدیهی است که مدیریت انرژی نیز، در اهداف و عملکرد متحول شده است. ناگفته واضح است که تاثیر پیشران‌هایی همچون فناوری‌های نظم‌آشوب بر حوزه انرژی، انقلابی در مدیریت انرژی ایجاد کرده است. در ادامه ابتدا مروری بر تکامل سیستم‌های انرژی خواهیم داشت.

سیر تکامل سیستم‌های انرژی

اختراع و استفاده از فناوری‌های مرتبط با انرژی الکتریکی در دوره انقلاب صنعتی دوم از دهه ۱۸۶۰ تا ۱۹۰۰ بود (Atkeson & Kehoe). با این حال، معماری سیستم انرژی، روش‌های تولید انرژی و ساختار، الگوی مصرف انرژی و مفهوم و فنون مدیریت انرژی در تکامل مستمر بوده‌اند. سیر تکامل سیستم‌های انرژی را می‌توان به چهار مرحله تقسیم کرد؛ ۱. سیستم‌های انرژی اولیه[۴]؛ ۲. سیستم انرژی صنعتی[۵]؛ ۳. سیستم انرژی توزیع‌شده[۶]؛ ۴. سیستم هوشمند انرژی[۷] که در شکل ۱، نشان‌داده‌ایم.

---

[۳] Daimler
[۴] PESs: Primitive energy systems
[۵] IES: Industrialized Energy System
[۶] DES: Distributed Energy System
[۷] SES: Smart Energy System

شکل ۱. تکامل سیستم انرژی

سیستم انرژی اولیه

سیستم‌های اولیه انرژی نوعی سیستم انرژی غیرمتمرکز[۸] به حساب می‌آمدند (Zhou et al., 2016) و سطح فناوری‌های مرتبط با تولید انرژی، مصرف و سطوح مدیریتی در آن‌ها بسیار پایین بود؛ یعنی سیستم نیروی الکتریسته هنوز در دوران کودکی خود بود. ژنراتورهای در مقیاس کوچک با سطوح فناوری نسبتا پایین برای

[۸] Decentralized

برآورده کردن تقاضای انرژی مورد نیاز مردم به‌کار برده می‌شدند. طی این دوره، مصرف و تولید انرژی الکتریسته تا حد زیادی خودکفا بود (Zhou & Yang, 2018).

سیستم انرژی صنعتی

سیستم‌های انرژی صنعتی[۹] در واقع سیستم‌هایی متمرکز[۱۰] بودند (Zhou et al., 2016). در دوره تولید صنعتی در مقیاس بزرگ، پیشرفت‌های زیادی در تولید و بهره‌برداری انرژی صورت گرفت. توان گرمایی در مقیاس بزرگ و صنعتی به مهم‌ترین شیوه تولید برق تبدیل شد. تولید انرژی متمرکز در مقیاس بزرگ، به عنوان یک بخش صنعت مستقل، بهره‌وری تامین انرژی را تا حد زیادی بهبود بخشیده بود. کارایی انرژی و هزینه‌های بهره‌برداری از انرژی از طریق این نوع از تولید متمرکز، انتقال از راه دور و عملکرد قابل‌اعتماد سیستم برق به شدت بهبود یافته بود (Zhou & Yang, 2018). با این حال، روش تولید برق از زغال‌سنگ در مقیاس بزرگ، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را افزایش داد و منجر به مشکلات جدی زیست‌محیطی شد (Zhou et al., 2015).

سیستم انرژی توزیع‌شده

با توسعه سریع اقتصاد و جامعه، تولید انرژی صنعتی در مقیاس بزرگ باعث ایجاد چالش‌های جدی در منابع و محیط زیست شده است و نیاز به ایجاد سیستم انرژی پاک و پایدار در حال افزایش است. توسعه سریع انرژی پاک و فناوری‌های دارای کربن پایین امکان توسعه سیستم‌های انرژی توزیع‌شده[۱۱] را با میزان پایین انتشار گازهای گلخانه‌ای و فراهم کردن منابع انرژی شخصی‌شده[۱۲]، مانند ریزشبکه‌ها و تولید برق توزیع‌شده ممکن ساخت. در آینده، وابستگی مردم به انرژی فسیلی و تولید در مقیاس بزرگ به تدریج کاهش خواهد یافت، در حالی‌که تقاضا برای تامین انرژی توزیع‌شده، انعطاف‌پذیر افزایش خواهد یافت و زیست‌بوم انرژی خودکفا توسعه می‌یابد. با این حال ژاو و یانگ[۱۳] (۲۰۱۸)، معتقدند که سیستم انرژی توزیع‌شده نمی‌تواند جایگزین سیستم‌های انرژی صنعتی شود و تنها مکمل مهمی برای سیستم‌های انرژی متمرکز صنعتی و سنتی خواهد بود. سیستم انرژی توزیع‌شده نقش بزرگی در تضمین تعادل عرضه و تقاضای انرژی، بهبود بهره‌وری انرژی و ترویج توسعه پایدار ایفا می‌کند (Zhou & Yang, 2018).

سیستم انرژی هوشمند

ترکیب اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ و رایانش ابری، دیجیتالی شدن سیستم‌های انرژی را رقم زده و سیستم انرژی هوشمند را به وجود آورده است. در سیستم هوشمند انرژی، زیرساخت کنتور پیشرفته و دیگر فناوری‌های سنجش می‌تواند مقادیر زیادی از داده‌های بزرگ انرژی را جمع‌آوری کند. سپس براساس تجزیه و تحلیل

[۹] Industrial energy systems
[۱۰] Centralized energy systems
[۱۱] Distributed
[۱۲] Personalized
[۱۳] Zhou &Yang

آن‌ها، دانشی از رفتار کاربر، روندهای تقاضا یا وضعیت دارایی به دست می‌آید که می‌تواند از فرآیند تجارت انرژی و نوآوری در مدل‌های خدماتی پشتیبانی کند. در سیستم‌های انرژی هوشمند و متصل[۱۴] آینده، مزایای رقابتی کلیدی محصول و ارائه‌دهندگان خدمات، محصولات و خدمات جدید انرژی و همچنین مدل‌های کسب‌وکار جدید و استراتژی‌های بازاریابی براساس نوآوری ارزش داده‌ها، نوآوری ارزش کاربر و نوآوری ارزش بهره‌وری خواهند بود (Zhou & Yang, 2018).

در سال ۲۰۱۳، تعریفی از سیستم انرژی هوشمند[۱۵] ارائه شد که مبتنی بر تجمیع منابع انرژی تجدیدپذیر بود: فناوری‌ها و زیرساخت‌های جدید و نفوذ روزافزون فناوری اطلاعات و ارتباطات، اشکال جدیدی از انعطاف‌پذیری را در سیستم‌های انرژی ایجاد و بخش‌های برق، حرارتی و حمل‌ونقل را ترکیب می‌کند به گونه‌ای که انعطاف‌پذیری در هر یک از آن‌ها می‌تواند فقدان انعطاف‌پذیری منابع تجدیدپذیر مانند باد و خورشید را جبران کند.

سیستم انرژی هوشمند حول سه زیرساخت شبکه شکل گرفته که در ادامه می‌آوریم؛

۱. شبکه‌های برق هوشمند برای برآوردن تقاضای انعطاف‌پذیر برق مانند پمپ‌های حرارتی و وسایل نقلیه الکتریکی از طریق منابع تجدیدپذیر متناوب مانند باد و انرژی خورشیدی.

۲. شبکه‌های حرارتی هوشمند (گرمایش و سرمایش منطقه ای) برای اتصال بخش‌های برق و گرمایش. این شبکه‌ها امکان استفاده از ذخیره حرارتی را برای ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتر و بازیافت تلفات گرما در سیستم انرژی فراهم می‌کند.

۳. شبکه‌های گاز هوشمند برای اتصال بخش‌های برق، گرمایش و حمل و نقل. این کار باعث می‌شود تا از ذخیره‌سازی گاز برای ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتر استفاده شود. اگر گاز به سوخت مایع فرآوری شود، از انباره‌های سوخت مایع نیز می‌توان استفاده کرد.

بنابراین به گفته لاند[۱۶] و همکارانش (۲۰۱۷)، سیستم انرژی هوشمند به عنوان رویکردی تعریف می‌شود که در آن شبکه‌های هوشمند الکتریسته، حرارتی و گازی با فناوری‌های ذخیره‌سازی ترکیب شده‌اند تا هم‌افزایی بین آن‌ها به دست‌یابی به راه‌حلی بهینه برای هر بخش خاص و همچنین برای کل سیستم انرژی منجر شود (Lund, 2018).

در آینده، هدف توسعه و تکامل سیستم انرژی، شکل‌دهی به سیستم جدید تولید، مصرف و خدمات انرژی است که انعطاف‌پذیر، کارآمد، شخصی‌شده، قابل اطمینان، متنوع، هوشمند و پایدار باشد. این نوع سیستم انرژی می‌تواند انرژی پاک و پایدار را برای بهبود کیفیت زندگی مردم و توسعه اجتماعی فراهم کند.

---

[۱۴] Connected
[۱۵] Smart energy system
[۱۶] Lund

همان‌طور که در مورد تکامل سیستم انرژی بحث کردیم، سیستم انرژی اولیه و صنعتی، سیستم‌های مدیریت انرژی سنتیِ مرسوم هستند؛ در حالی که سیستم انرژی توزیع‌شده و هوشمند، در زمره سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند قرار می‌گیرند. ژاو و یانگ (۲۰۱۸)، مقایسه‌ای بین سیستم‌های متعارف و سنتی انرژی با سیستم‌های هوشمند انرژی را در جدول ۱، خلاصه کرده‌اند (Zhou & Yang, 2018).

جدول ۱. مقایسه‌ای بین سیستم‌های متعارف و سنتی انرژی و سیستم‌های هوشمند انرژی (Zhou & Yang, 2018).

	سیستم‌های انرژی هوشمند	سیستم‌های انرژی سنتی
نوع محصول	انرژی و خدمات مبتنی بر انرژی	انرژی
سبک[۱۷] محصول	متنوع، انعطاف‌پذیر، توزیع‌شده	نسبتا منحصربه‌فرد، انعطاف‌ناپذیر، متمرکز
مصرف و خدمات	تعامل بلادرنگ، قیمت‌گذاری پویا، پاسخ به تقاضا، خدمات داده‌محور	مصرف منفعل، قیمت‌گذاری ثابت، فقدان خدمات
انتشار آلودگی	پایین	بالا
وظایف اصلی	خدمات انرژی و نوآوری در مدل‌های کسب‌وکار	تولید انرژی و نوآوری در فناوری‌های مدیریت
فنون (روش‌های) مدیریت	فنون مدیریت نوظهور شامل تحلیل داده‌های بزرگ، هوش مصنوعی[۱۸] و روش‌های یادگیری عمیق[۱۹]	بهینه‌سازی سنتی، ارزش‌گذاری، پیش‌بینی، فنون تصمیم‌سازی

فناوری‌های در حال ظهور سیستم‌های انرژی جهان

سیستم‌های انرژی هوشمند، سیستم‌های در حال ظهور انرژی و نوعی از سیستم‌های انرژی برای برآورده کردن تقاضای فزآینده انرژی جهانی هستند، بدون آسیب زدن به محیط زیست، جامعه، اقتصاد و رفاه در آینده. سیستم‌های انرژی هوشمند می‌توانند زمانی مفید باشند که بسیاری از الزامات و انتظارات مذکور را همزمان با هم در نظر بگیرند و در عین حال چندین مزیت را ارائه دهند. این انتظارات و الزمات عبارت‌اند از: کارایی، اثربخشی، هزینه، حفاظت از محیط زیست، استفاده از منابع چندگانه انرژی تجدیدپذیر، پایداری، قابلیت ادغام‌پذیری، دوام تجاری (تاب‌آوری کسب‌وکارها) (Dincer & Acar, 2017). مفاهیم فنی که در هوشمندسازی یک سیستم انرژی و برآورده شدن انتظارات از آن کمک می‌کند عبارت‌اند از؛ تولیصرف‌کننده[۲۰]، نیروگاه مجازی، کنتور هوشمند، تجمیع‌کننده، ریزشبکه، شبکه هوشمند[۲۱] و داده‌های بزرگ انرژی که مروری کوتاه بر این مفاهیم خواهیم داشت.

[۱۷] Mode
[۱۸] Artifitial intelligence
[۱۹] Deep-learning
[۲۰] Prosumer
[۲۱] Smart grid

مفهوم تولیصرف‌کننده

واژه تولیصرف‌کننده، از ترکیب تولیدکننده و مصرف‌کننده ایجاد شده است. راتنایاکا[۲۲] (۲۰۱۵)، در تعریف تولیصرف‌کننده انرژی می‌گوید:

«تولیصرف‌کننده به یک کاربر انرژی اشاره دارد که انرژی‌های تجدیدپذیر را در محیط خانه خود تولید می‌کند و یا انرژی مازاد را برای استفاده آینده ذخیره می‌کند و یا به تجارت انرژی با مشتریان دیگر انرژی در شبکه هوشمند می‌پردازد» (Rathnayaka et al., 2015).

بنابراین در سیستم هوشمند انرژی، مصرف‌کنندگان انرژی دیگر کاربران غیرفعال (منفعل) نیستند (Zhou & Yang, 2018). در واقع آن‌ها مصرف‌کنندگان «حرفه‌ای» انرژی هستند که فراتر از تولید انرژی تجدیدپذیر، مشغول ارائه خدمات مورد نظر خود در حوزه انرژی نیز هستند (Minghui, 2017). تولیصرف‌کنندگان، با مصرف‌کنندگان انرژی سنتی تفاوت دارند. در مقایسه با مصرف‌کنندگان سنتی که از انرژی شبکه استفاده می‌کنند، تولیصرف‌کنندگان، انرژی را تولید می‌کنند، مصرف می‌کنند و به طور فعال انرژی اضافی را منتقل یا ذخیره می‌کنند و این بدین معنی است که مصرف‌کنندگان انرژی سنتی به یک هویت جدید با ویژگی‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده به صورت همزمان تبدیل می‌شوند؛ یعنی تولیصرف‌کننده. در برخی کشورها، تولید برق بادی یا خورشیدی بر اساس پشتوانه مالی جمعی[۲۳]، به یک مدل کسب‌وکار جدید برای سیستم انرژی هوشمند تبدیل شده‌است. این تولیصرف‌کنندگان جدید به طور چشم‌گیر در فعالیت‌های تولید انرژی یا فعالیت‌های سرمایه‌گذاری دخیل هستند (Zhou & Yang, 2018).

همچنین لازم به تاکید است که استقرار سیستم‌های انرژی پاک و هوشمند مستلزم پذیرش این سیستم‌ها توسط عموم مردم و مشارکت و همکاری آن‌ها برای گسترش آن‌ها است.

نیروگاه مجازی

مفهوم جدید نیروگاه مجازی[۲۴] به تجمیع منابع مختلف انرژی توزیع‌شده مانند توربین‌های بادی، پانل‌های خورشیدی، واحدهای ذخیره، وسایل نقلیه الکتریکی[۲۵] و منابع پاسخ به تقاضا به صورت جغرافیایی اشاره دارد که مدیریت ظرفیت انعطاف‌پذیر در شبکه برق را در مقیاس بزرگ امکان‌پذیر می‌کند (Zajc et al., 2019). نیروگاه برق مجازی، یک نیروگاه برق توزیع‌شده مبتنی بر اَبر است که قابلیت‌های منابع انرژی توزیع‌شده ناهمگن را برای افزایش تولید برق و همچنین تجارت یا فروش برق در یک بازار آزاد ترکیب می‌کند (Yu et al., 2019). در مفهوم شبکه هوشمند، تولید و مصرف برق به هماهنگی کارآمد، قابلیت اعتماد، تقاضا و عرضه به صورت لحظه‌ای با استفاده از فناوری‌های نوین اطلاعاتی و ارتباطی نیاز دارد. نیروگاه‌های برق مجازی، امکان

---

[۲۲] Rathnayaka

[۲۳] Crowd-financing

تأمین بودجه برای فعالیت‌های تجاری که در آن وام دهندگان مایل به پرداخت نرخ بهره در عوض استفاده از پول خود هستند

[۲۴] VPP: Virtual power plants

[۲۵] Electrc Vehicle

گنجاندن منابع انرژی توزیع‌شده را در ارائه خدمات فرعی و به طور معمول برای کنترل فرکانس بار فراهم می‌کنند (Zajc et al., 2019).

کنتور هوشمند

کنتورهای هوشمند، شبکه‌های جریان انرژی و اطلاعات، نظارت، نمایش و کنترل تقاضا و تأمین انرژی از منابع مختلف هستند که ظرفیت ذخیره را حساب می‌کنند و الگوهای بارهای کلیه تجهیزات را در نظر می‌گیرند (Wolsink, 2012). در واقع کنتور هوشمند اطلاعات مربوط به مصرف انرژی الکتریکی، سطح ولتاژ، جریان و ... را در لحظه ثبت می‌کند. کنتور هوشمند اطلاعات را به مصرف‌کننده برای وضوح بیشتر رفتار مصرف و به تامین‌کنندگان برق برای نظارت سیستم و صدور قبض مشتری ارسال می‌کند. کنتورهای هوشمند ارتباط دوطرفه بین کنتور و سیستم مرکزی یا تامین‌کننده را ممکن می‌سازند. ارتباطات از کنتور تا شبکه ممکن است از طریق اتصالات سیم‌کشی ثابت مانند خط انتقال قدرت یا ارتباطات بی‌سیم باشد؛ مانند ارتباطات موبایلی (راحتی در دسترس)، شبکه‌های موقت و اضطراری بر روی وای فای، شبکه‌های بی‌سیم وایرلس و اینترنت بی‌سیم. (Wilcox et al., 2019).

تجمیع‌کننده

تجمیع‌کننده[۲۶] یک عامل کلیدی نوظهور در بازار سیستم‌های انرژی هوشمند است. یک تجمیع‌کننده می‌تواند به عنوان عاملی تعریف شود که «خدماتی را برای تجمیع تولید انرژی از منابع مختلف مانند ژنراتورها ارائه می‌دهد و در شبکه به عنوان یک نهاد جمع‌کننده محلی تقاضا (مدیریت پاسخ به تقاضا[۲۷]) و تامین یا مدیریت تولید» عمل می‌کند. به دلیل ویژگی‌های تنظیمی بازار انرژی، مصرف‌کنندگان کوچک به طور مستقیم، مجاز به حضور در بازار عمده‌فروشی برق نیستند. در بازار برق رقابتی، تجمیع‌کننده می‌تواند طیف گسترده‌ای از خدمات انرژی نوآورانه از جمله مشارکت مصرف‌کننده، مدیریت صورت‌حساب، بهره‌وری انرژی و مدیریت انرژی توزیع‌شده[۲۸] را در اختیار مصرف‌کنندگان کوچک خود قرار دهد. تجمیع‌کننده، مصرف‌کنندگان کوچک را در یک واحد خرید برای مذاکره با خرده‌فروشان به هم پیوند می‌دهد. همچنین تجمیع‌کننده پاسخ به تقاضا را با خرده‌فروشی و تامین‌کنندگان الکتریسته تامین می‌کند (Zhou & Yang, 2018).

ریزشبکه

یک ریزشبکه یک شبکه قدرت کوچک‌مقیاس است که برای یک سیستم توزیع با ولتاژ پایین طراحی شده است تا یک منبع تغذیه[۲۹] کوچک عمومی یا مجزا فراهم کند (Gayatri et al., 2018) و شامل مجموعه‌ای از بارهای انعطاف‌پذیر، تجهیزات ذخیره انرژی و سیستم‌های تولید کوچک‌مقیاس است که تولید در آن به صورت توزیع‌شده صورت می‌گیرد (Vera et al., 2019). ریزشبکه از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند بادی و خورشیدی،

[۲۶] Aggregator
[۲۷] Demand side management
[۲۸] Distributed
[۲۹] Power supply

واحدهای تولید در مقیاس کوچک مثل میکرو توربین‌ها و موتورهای گازی، ژنراتورهای دیزلی و برخی از وسایل ذخیره مانند سلول‌های سوختی، تشکیل شده‌است. ریزشبکه‌هایی که با انرژی‌های تجدیدپذیر پشتیبانی می‌شوند، جزء شبکه‌های هوشمند طبقه‌بندی می‌شوند و مجموعه‌ای از راه‌حل‌های فناورانه را فراهم می‌کنند تا تبادل اطلاعات بین مصرف‌کننده و تولید توزیع‌شده صورت گیرد (Vera et al., 2019).

شبکه هوشمند

شبکه سنتی برق فقط می‌تواند انرژی الکتریکی را منتقل یا توزیع کند. شبکه هوشمند[۳۰] قادر به ذخیره، برقراری ارتباط و تصمیم‌گیری[۳۱] است. شبکه هوشمند، یک شبکه الکتریسته و حاصل ادغام ریزشبکه‌ها (Wolsink, 2012) است که می‌تواند به طور هوشمندانه عملکرد تمام کاربران متصل به آن را مانند تولیدکننده‌ها، مصرف‌کنندگان و کسانی که هر دو را انجام می‌دهند، یکپارچه کند؛ به منظور تامین برق پایدار، اقتصادی و امن. شبکه هوشمند به شبکه‌های نسل بعدی اشاره دارد که فناوری اطلاعات را در شبکه برق موجود ادغام می‌کند تا کارایی انرژی را از طریق تبادل دو سویه اطلاعات الکتریسته بین تامین‌کنندگان و مصرف‌کنندگان به صورت بلادرنگ بهینه کند(Lorena & Lochinvar, 2016). شبکه هوشمند همچنین به دلیل امکان ایجاد جریان دو طرفه برق و اطلاعات، مناسب‌ترین گزینه برای منبع تغذیه مطمئن و پایدار است. برای تامین انرژی الکتریکی پایدار و قابل اعتماد، شبکه هوشمند باید قادر به تأمین برق از منابع توزیع‌شده انرژی باشد (Shaukat et al., 2017).

داده‌های بزرگ انرژی

در سیستم‌های هوشمند انرژی، با افزایش دیجیتالی‌شدن بخش انرژی، حجم زیادی از داده درباره تولید انرژی، مصرف و عملیات سیستم را می‌توان جمع‌آوری، ادغام، پردازش بلادرنگ و تحلیل کرد. حجم، تنوع، سرعت و صحت[۳۲] داده‌ها در شبکه‌های هوشمند در قالب زمان عملیاتی و منابع سخت‌افزاری، به سختی مدیریت می‌شوند. از این رو، فناوری داده‌های بزرگ به سیستم‌های قدرت وارد شده است (Jiang et al., 2016). داده‌های بزرگ انرژی زیرساختی برای عملیات سیستم انرژی و منبعی ضروری برای بازاریابی انرژی و تامین خدمات است. براساس تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ انرژی، محصولات و خدمات خلاقانه و شخصی‌شده بیشتری را در حوزه انرژی می‌توان ایجاد کرد و توسعه داد. منابع چندگانه و ناهمگن داده‌های بزرگ انرژی عمدتا متشکل از دو بخش داخلی و خارجی هستند؛ داده‌های داخلی شامل داده‌های مصرف انرژی، داده‌های مدیریت دارایی و داده‌های سرویس به مشتری است و داده‌های خارجی شامل داده‌های آب‌وهوا، داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳۳]، داده‌ها خودروهای الکتریکی و داده‌های رسانه‌های اجتماعی (Zhou & Yang,

[۳۰] Smart grid
[۳۱] Make decisions
[۳۲] 4Vs data: data with characteristics of volume, variety, velocity, and veracity
[۳۳] GIS: Geographic Information System

(2018. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، حجم داده‌ها در سیستم‌های صنایع همگانی[۳۴] و تاسیسات الکتریکی به بالاتر از سطح ترابایت[۳۵] برسد. با گذشت زمان، ترابایت‌های بیشتری از داده‌ها در مراکز داده‌های شرکت‌های زیر ساختی ظهور می‌کنند. این موضوع موجب سرعت کاربرد فناوری داده‌های بزرگ در شبکه هوشمند می‌شود (Jiang et al., 2016).

سیستم‌های انرژی در ایران

اکنون سوال اینجاست که سیستم‌های انرژی در ایران در کدامین مرحله از مراحل چهارگانه تکامل تاریخی خود هستند. در پاسخ به این سوال و با مروری بر ادبیات موجود در حوزه سیستم‌های انرژی در ایران در مکتوبات بین‌المللی و داخلی می‌توان گفت سیستم انرژی ایران به شدت به سوخت‌های فسیلی وابسته است که به نوبه خود مشکلاتی از جمله کاهش سوخت‌های فسیلی، آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را به دنبال داشته است (Afsharzade et al., 2016). برای مثال حدود ۹۲.۴ درصد برق ایران توسط سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی تولید می‌شود و سهم قابل‌توجهی در ایجاد آلودگی محیط زیست دارد (Noorollahi et al., 2021). سهم منابع تجدیدپذیر در تولید الکتریسیته حدود ۵ درصد است که در آن نیروی بادی و انرژی خورشیدی در مجموع سهم کمی کمتر از۰.۴ درصد دارند. مصرف قابل‌توجه سوخت فسیلی نیز باعث آلودگی هوا شده است (International Energy Agency, 2017) که حدود یک‌سوم از انتشارات بخش انرژی ایران در بخش برق است. علاوه بر این، مشکلات در بخش انرژی عمدتاً ناشی از برنامه‌های کوتاه مدت است، در حالی که تعهد به برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی هزینه‌های سیستم انرژی به خصوص سیستم قدرت را ۰.۷ تا ۳ میلیارد دلار در سال کاهش می‌دهد. علاوه بر این برنامه‌ریزی بلندمدت می‌تواند ۱۵درصد تا ۳۳ درصد کاهش انتشار دی‌اکسید کربن را در طول سه دهه گذشته تضمین کند (Aryanpur et al., 2019).

با این تفاسیر، سیستم‌های انرژی در ایران عموما از نوع سیستم‌های صنعتی یا به عبارت آشناتر سیستم‌های سنتی هستند. اما ایران علاوه بر منابع فراوان سوخت فسیلی، دارای پتانسیل قابل‌توجهی از منابع انرژی تجدیدپذیر از جمله آب، خورشید، باد، زیست توده و زمین گرمایی است (International Energy Agency, 2017). با این وصف و مطابق با نظر کارشناسان در ایران عرضه و استفاده ناپایدار انرژی همراه با یک سیستم انرژی نامطمئن و ناایمن، تأثیری طولانی مدت بر توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی داشته است که برای رفع آن لازم است به صورت بلندمدت و پایدار سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌هایی هم در سطح کلان مدیریت کشور و هم در سطح اجتماع در دستور کار قرار گیرد.

[۳۴] Utility
[۳۵] TBs: Tera bytes

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سیر تکامل سیستم‌های انرژی را می‌توان به چهار مرحله تقسیم کرد؛ ۱. سیستم‌های انرژی اولیه (غیرمتمرکز)؛ ۲. سیستم انرژی صنعتی (سیستم‌هایی متمرکز و مبتنی بر تولید انرژی فسیلی در مقیاس بزرگ) ؛ ۳. سیستم انرژی توزیع‌شده (منابع انرژی پاک، شخصی‌شده و انعطاف‌پذیر) ؛ ۴. سیستم هوشمند انرژی (ترکیب اینترنت اشیا، داده‌های بزرگ و رایانش ابری، دیجیتالی شدن سیستم‌های انرژی). بنابراین، سیستم‌های انرژی در معرض تغییر پارادایم تمرکزگرایی به تمرکززدایی[۳۶] در حال گذار از سیستم‌های سنتی به سمت شکل‌گیری سیستم‌های هوشمند هستند.

برخی مفاهیم جدید برای توسعه سیستم‌های انرژی هوشمند عبارت‌اند از؛ ریزشبکه، شبکه هوشمند، کنتور هوشمند، داده‌های بزرگ انرژی، تجمیع کننده. سیستم‌های انرژی هوشمند، اشکال جدیدی از سیستم‌های انرژی هستند که برای مقابله با بسیاری از مشکلات سیستم‌های سنتی انرژی و تامین نیازهای رو به رشد افراد برای خدمات با کیفیت بالا و شخصی توسعه یافته‌اند. ادغام فناوری اطلاعات پیشرفته، نفوذ گسترده انرژی‌های پاک، مدل‌های کسب‌وکار بدیع و مدل‌های خدماتی و زیرساخت تولید انرژی، فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، به ویژه رایانش ابری و سایر فناوری‌های اطلاعاتی نوظهور، به طور چشم‌گیر در بسیاری از صنایع نفوذ کرده‌اند، در نتیجه در حال تغییر چشم‌انداز صنعت و مدل‌های تجاری شرکت‌ها و نیز الگوهای رفتاری افراد هستند. برای صنعت انرژی، کل فرآیند تولید انرژی، انتقال، توزیع و مصرف، دیجیتالی و بازسازی شده است. الگوهای رفتاری و سطح تقاضای مصرف‌کنندگان انرژی نیز در حال تغییر هستند. به علاوه، دسترسی گسترده و نفوذ عمیق منابع انرژی پاک و دستگاه‌های ذخیره‌سازی مثل توان بادی، انرژی خورشیدی، واحدهای ذخیره و وسایل نقلیه الکتریکی، فرصت‌های بیشتری را برای بهبود بهره‌وری انرژی و بهبود خدمات انرژی به ارمغان می‌آورد. نصب و اجرای انرژی پاک در سیستم‌های انرژی هوشمند، هم برای دستیابی به انرژی پایدار و هم کاهش انتشار، اهمیت زیادی دارد. مدل کسب‌وکار و نوآوری در مدل خدماتی بخش مهمی از سیستم‌های انرژی هوشمند است؛ به این دلیل که یکی از اهداف مهم انرژی هوشمند، برآورده کردن نیازهای خدمات انرژی شخصی مصرف‌کننده است. استفاده از داده‌های بزرگ انرژی به صورت بلادرنگ، راهی موثر و جدید برای نوآوری در مدل کسب‌وکار و نوآوری مدل خدمات به ارمغان آورده‌است. از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ انرژی، الگوهای رفتار مصرف انرژی فردی و گروهی را می‌توان کشف کرد، به گونه‌ای که استراتژی‌های بازاریابی تمایز و شخصی‌سازی توسعه یابد. در نهایت، زیرساخت تولید انرژی نیز برای ساخت سیستم‌های انرژی هوشمند، مشابه سیستم‌های انرژی سنتی ضروری است.

[۳۶] Decentralization

و اما در ایران نیز با وجود پتانسیل قابل توجهی از منابع انرژی تجدیدپذیر، سیستم فعلی تامین انرژی در ایران تقریباً به طور کامل بر منابع سوخت فسیلی متکی است و سیستم‌های انرژی سنتی هستند. این سیستم‌ها بار مالی قابل‌توجهی بر کشور تحمیل کرده و منجر به انتشار قابل توجه گازهای گلخانه‌ای شده‌اند. علاوه بر این، کشور در دهه‌های اخیر با چالش‌های متعددی برای بهره‌برداری از منابع انرژی پاک انرژی مواجه است. این در حالی‌ست که نصب و اجرای انرژی پاک در سیستم‌های انرژی توزیع شده و هوشمند، هم برای دستیابی به انرژی پایدار و هم کاهش انتشار، برای حفظ استقلال و امنیت پایدار کشور اهمیت زیادی دارد.

بنابراین به منظور ارائه راه‌حل‌های پایدار زیست‌محیطی و برای استقرار و گسترش سیستم‌های انرژی هوشمند، نه‌تنها اراده سیاست‌گذاران و مجریان قانون، انجام مطالعات تخصصی و امکان‌سنجی فنی اهمیت دارد؛ بلکه مطالعات اجتماعی در راستای پذیرش این فناوری‌ها و جلب مشارکت عموم مردم ضروری است.

توصیه‌های راهبردی؛

- در سطح مسئولین اجرایی و سیاست‌گذاران؛ وضع قوانین صریح برای الزام دولت جهت انجام اقدامات جدی در زمینه هوشندسازی سیستم‌های انرژی و تامین انرژی پایدار و پاک؛ و
- در سطح اجتماعی؛ ایجاد مطالبه عمومی برای استقرار سیستم‌های انرژی هوشمند، توسعه راه‌حل‌های نوآورانه و توسعه زیست‌بوم دیجیتال انرژی.

تجویز راهبردی

در این بخش به منظور تحقق دو توصیه راهبردی بیان شده در قسمت قبل موارد زیر به عنوان تجویز راهبردی ارائه می‌شود؛

- ترسیم کلان‌تصویر آینده سیستم‌های انرژی هوشمند بومی ایران با مشارکت عموم مردم و خبرگان؛
- ایجاد بسترهای قانونی برای شکل‌گیری جنبش‌های انرژی و محیط زیستیِ مردمی به منظور مطالبه عمومی از سیاست‌گذاران و مسئولان کلان جهت حرکت در مسیر کلان‌تصویر ترسیم شده؛
- ایجاد بسترهای مناسب برای شکل‌گیری زیست‌بوم کسب‌وکارهای مبتنی بر تولیصرف انرژی‌های پاک
- ایجاد آگاهی عمیق از ضرورت حرکت به سمت سیستم‌های انرژی هوشمند و حیاتی‌بودن حفاظت از محیط زیست برای سیاست‌گذاران و عموم مردم از طریق؛
  - ✓ به‌کارگیری ظرفیت‌های مردمی، گروه‌های جهادی، سازمان‌های مردم نهاد
  - ✓ استفاده از ظرفیت‌ها و توانمندی زنان به عنوان محافظان محیط زیست و منابع انرژی آیندگان
  - ✓ ایجاد بستر برای مشارکت طراحان بازی‌ساز و استفاده از فناوری‌های واقعیت افزوده و واقعیت مجازی برای تجربه آینده‌های بدیل انرژی در جهت آگاه‌سازی عموم

- ✓ ترسیم الگوی مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، وضع مشوق‌ها و تعرفه تشویقی انرژی‌های تجدیدپذیر؛
- الزام به بروز رفتاری‌های دوست‌دار محیط زیست و نیل به تولیصرف انرژی‌های پاک
- ✓ ایجاد بستر برای اندازه‌گیری ردپای کربن افراد ناشی از مصرف انرژی فسیلی (شاغلان در بخش خصوصی و دولتی)
- ✓ ایجاد بستر برای وضع مالیات بر کربن برای کارخانجات و شرکت‌های بزرگ مصرف‌کننده انرژی فسیلی و تولیدکنندگان آلاینده‌های زیست محیطی

یادداشت‌ها و منابع

احسانی‌فر، محمد؛ نظام آبادی، علیرضا؛ علی‌پور، محمد (۱۳۹۶). آینده‌های محتمل تولید انرژی در کشور با استفاده از طرح نقشه شناخت فازی. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۲، جلد ۲۸، ۲۴۲-۲۲۸.

Aryanpur, V., Atabaki, M. S., Marzband, M., Siano, P., & Ghayoumi, K. (2019). An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 112, 58-74. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.047

Afsharzade, N., Papzan, A., Ashjaee, M., Delangizan, S., Van Passel, S., & Azadi, H. (2016). Renewable energy development in rural areas of Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 743-755. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.042

Atkeson. A, Kehoe. P.J. (2001) The transition to a new economy after the second industrial revolution, National Bureau of Economic Research.

Caineng. Z, Qun. Z, Guosheng. Z, X. Bo. (2016). ScienceDirect Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era *, Nat. Gas Ind. B. 1–11. Doi: 10.1016/j.ngib.2016.02.001.

Dincer. I, Acar. C. (2017). Smart energy systems for a sustainable future, Appl. Energy. 194 225–235. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.12.058.

Gayatri. M.T.L, Parimi. A.M, Kumar. A.V.P. (2018). A review of reactive power compensation techniques in microgrids, Renew. Sustain. Energy Rev. 81 1030–1036. doi: 10.1016/j.rser.2017.08.006.

International Energy Agency. (2017). World energy outlook. https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017

Jiang. H.U.I, Wang. K.U.N, Wang. Y, Gao. M.I.N, Zhang. Y.A.N. (2016). Member, Energy Big Data: A Survey, IEEE Access. 4 3844–3861. doi:10.1109/ACCESS.2016.2580581.

Lorena. M, Lochinvar. M. (2016). A review of the development of Smart Grid technologies, Renew. Sustain. Energy Rev. 59 710–725. doi: 10.1016/j.rser.2016.01.011.

Lund. H. (2018). Renewable Heating Strategies and their Consequences for Comparing a Smart Grid to a Smart Energy Systems Approach, Energy. doi: 10.1016/j.energy.2018.03.010.

Minghui. E, Macgill. I. (2017). Energy Research & Social Science Typology of future clean energy communities: An exploratory structure, opportunities, and challenges, Energy Res. Soc. Sci. 0–1. doi: 10.1016/j.erss.2017.10.019.

Noorollahi, Y., Pourarshad, M., & Veisi, A. (2021). The synergy of renewable energies for sustainable energy systems development in oil-rich nations; case of Iran. Renewable Energy, 173, 561-568. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.016

Rathnayaka. A.J.D, Potdar. V.M, Dillon. T, Kuruppu. S. (2015). Electrical Power and Energy Systems Framework to manage multiple goals in community-based energy sharing network in smart grid, Int. J. Electr. POWER ENERGY Syst. 73 615–624. doi: 10.1016/j.ijepes.2015.05.008.

Shaukat. N, Khan. B, Ali. S.M, C.A. Mehmood, J. Khan, U. Farid, M. Majid, S.M. Anwar, M. Jawad, Z. Ullah. (2017). A survey on electric vehicle transportation within smart grid system, Renew. Sustain. Energy Rev. 1–21. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.092.

Vera. Y.E.G, Dufo-López. R, Bernal-Agustín. J.L. (2019). Energy management in microgrids with renewable energy sources: A literature review, Appl. Sci. 9 doi:10.3390/app9183854.

Wilcox. T, Jin. N, Flach. P, Thumim. J. (2019). A Big Data platform for smart meter data analytics, Comput. Ind. 105 250–259. doi: 10.1016/j.compind.2018.12.010.

Wolsink. M. (2012). The research agenda on social acceptance of distributed generation in smart grids: Renewable as common pool resources, Renew. Sustain. Energy Rev. 16 822–835. doi: 10.1016/j.rser.2011.09.006.

Yu. S, Fang. F, Liu. Y, Liu. J. (2019). Uncertainties of virtual power plant: Problems and countermeasures, Appl. Energy. 239 454–470. doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.224.

Zajc. M, Kolenc. M, Suljanovi. N. (2019). Virtual power plant communication system architecture 11. doi:10.1016/B978-0-12-812154-2.00011-0.

Zhou. K, Yang. S, 5.11 Smart Energy Management, (2018). doi:10.1016/B978-0-12-809597-3.00525-3.

Zhou. K, Yang. S, Shao. Z. (2016). Energy Internet: The business perspective, Appl. Energy. 178 212–222. Doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.052.

Zhou. K, Yang. S, Shen. C, Ding. S, Sun. C. (2015). Energy conservation and emission reduction of China’ s electric power industry, Renew. Sustain. Energy Rev. 45 10–19. doi: 10.1016/j.rser.2015.01.056.

گزارش راهبردی

سیستم‌ها و فناوری‌های در حال ظهور انرژی در جهان و جایگاه ایران

تاریخ انتشار: دی ۱۴۰۱

شناسه یکتا: ETG-SR-896

جمهوری اسلامی ایران
وزارت کشور

مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور