

بررسی مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بهینه‌سازی آن

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۰

کد مقاله: ۱۲۱۸۰

یاسر شهبازی^{۱*}، سحر حسین پور^۲، محسن مختاری کشاور^۳

چکیده

در سطح جهانی، بخش ساختمان به ویژه بخش مسکونی، بیش از یک سوم کل انرژی اولیه را مصرف می‌کند. نگرانی‌ها در مورد انرژی در حال افزایش می‌باشد و بسیاری از کشورها سعی بر آن دارند که صنایع مصرف‌کننده انرژی به‌ویژه ساختمان‌ها و ساخت‌وساز را تنظیم کنند. این تنظیم، نه تنها برای ساختمان‌های موجود بلکه برای ساختمان‌های آینده نیز لازم است. مدیریت کارآمد انرژی و نوسازی هوشمند، می‌تواند عملکرد انرژی موجود را افزایش دهد. به این ترتیب، با ارزیابی مصرف انرژی ساختمان‌های موجود در جهت مدیریت انرژی کارآمد، صرفه‌جویی و کاهش مصرف ساختمان‌های آینده گام مؤثری برداشته خواهد شد. چندین شهر در ایالات متحده قوانینی تصویب کرده‌اند که طبق آن صاحبان ساختمان‌های بزرگ، موظف به رتبه‌بندی بهره‌وری و در معرض شفافیت قرار دادن انرژی ساختمان‌های خود در بین عموم مردم با هدف تشویق بهره‌وری بیشتر، می‌باشند. کمیسیون اروپا نیز با اتخاذ دو دستورالعمل اروپایی در مورد عملکرد انرژی ساختمان‌ها، تلاش‌هایی در این زمینه کرده است. همه راهکارهای موجود، بر انجام ارزیابی مصرف انرژی ساختمان تأکید دارند که در این راستا، پیش‌بینی دقیق انرژی، و رده بندی و رتبه بندی مصرف انرژی، مورد توجه می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی مصرف انرژی در ساختمان به ویژه ساختمان مسکونی و شناسایی اقدامات لازم برای بهینه سازی عملکرد انرژی و کاهش مصرف آن می‌باشد.

واژگان کلیدی: مصرف انرژی ساختمان، ساختمان مسکونی، بهینه‌سازی عملکرد انرژی، پیش بینی انرژی، رده‌بندی انرژی.

۱- دانشیار دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول) y.shahbazi@tabriziau.ac.ir

۲- دانشجوی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۳- مدرس دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۱- مقدمه

نیاز گسترده‌ی انسان به منابع انرژی غیر قابل انکار است. با توجه به پیشرفت چشم‌گیر جوامع و تغییرات زندگی بشر، در سراسر جهان و همچنین ایران، شاهد رشد بالای مصرف انرژی، هدر رفتن انرژی در فرآیندهای مصرف و مشکلات فزاینده ناشی از آن، هستیم. مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها به ویژه در ساختمان‌های مسکونی، به دلیل توسعه اجتماعی و شهرنشینی، بیشترین سهم را در بین کلیه بخش‌های مصرف به خود اختصاص داده است. از این‌رو، بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای یک راهکار کلیدی ثابت شده است (Yoshino, Hong, and Nord 2017).

استفاده بهینه و ممانعت از هدر رفتن امکانات و گام برداشتن در جهت صرفه‌جویی امری اساسی است. ارزیابی انرژی ساختمان، پیچیده‌تر از ارزیابی انرژی تجهیزات مختلفی است که مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل این امر رابطه پیچیده بین ویژگی‌های ذاتی اجزای ساختمان مانند عایق حرارتی، ویژگی‌های حرارتی بازوها و ... رفتار ساکنان مانند روشن گذاشتن تأسیسات زمانی که نیازی به آن نیست و یا باز گذاشتن پنجره‌ها، تأثیرهای متغیر شرایط اقلیمی و پیچیدگی‌های عملکردی احتمالی برخی سیستم‌های تأسیساتی می‌باشد. بر این اساس، امروزه طرح‌های ارزیابی وضعیت مصرف انرژی و تأمین انتظارات محیط‌زیستی ساختمان کاربرد بیشتری پیدا کرده‌اند. طرح‌های ارزیابی انرژی ساختمان، اغلب برای رتبه‌بندی، مشخص کردن رده انرژی ساختمان و تعیین حداقل کارایی انرژی قابل قبول ساختمان استفاده می‌شوند. با وجود اینکه در دنیا رتبه‌بندی مصرف انرژی برای تجهیزات مختلف از سابقه زیادی برخوردار است، ولی اجرای آن برای ساختمان، در اکثر کشورها به‌ویژه در ایران جزو مباحث بسیار جدید محسوب می‌شود. بنابراین، تعیین رتبه‌بندی و رده‌بندی انرژی ساختمان نیازمند انجام بررسی‌های مختلفی است. برای تحقق این راه حل‌ها، نیاز به پیش‌بینی دقیق انرژی می‌باشد. برای تعیین میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده، شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان، به طور قابل توجهی توسعه یافته است (Guyot et al. 2019).

۲- پیشینه‌ی پژوهش

ساختمان‌ها، به‌ویژه بخش مسکونی، قسمت عمده‌ای از مصرف انرژی هر کشور و انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهند. بنابراین، هرگونه تلاش در جهت کاهش مصرف انرژی ساختمان، به میزان قابل توجهی، اتکا به انرژی جهانی را کاهش می‌دهد. اهمیت بهره‌وری انرژی ساختمان را نمی‌توان نادیده گرفت. برای اولین بار، بیشتر ساختمان‌های ساخته شده در اواسط قرن بیستم، فاقد الزامات عایق بندی می‌باشند که این مسئله، ممکن است مانع از دست دادن گرما یا افزایش گرما شود. علاوه بر این، عدم دقت به کنترل انرژی و روشنایی یا کمبود سنسورهای کالبره شده، مانع ردیابی، کنترل و کاهش مصرف انرژی است (Wang and Srinivasan 2017). مطالعات زیادی در زمینه بررسی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان با در نظر گرفتن شرایط مختلف انجام شده است.

لمبارد و همکاران در سال ۲۰۰۷، با مروری بر اطلاعات مصرف انرژی ساختمان‌ها، اشاره می‌کنند که مصرف انرژی ساختمان‌ها در کشورهای توسعه‌یافته ۲۰ تا ۴۰ درصد کل مصرف انرژی را شامل می‌شود و بالاتر از ارقام صنعت، و حمل و نقل در اتحادیه اروپا و ایالات متحده می‌باشد. ایشان، همچنین اشاره دارند که در دسترس قرار دادن اطلاعات جامع انرژی ساختمان، برای امکان تحلیل مناسب و برنامه‌ریزی موثر در رابطه با سیاست‌های انرژی، برای آینده ضروری است (Santini, Itard, and Visscher 2009). پژوهش‌های مختلف دیگری نیز بر این مسئله تأکید دارند که در حال حاضر، مصرف انرژی ساختمان در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، فراتر از کشورهای توسعه‌یافته است (Berardi 2017; Gaglia et al. 2019; Harvey et al. 2014; Yoshino, Hong, and Nord 2017).

در سال ۲۰۱۵ الهوی و همکاران، موضوع مصرف انرژی و بهره‌وری در ساختمان‌ها را از چند جنبه مورد بررسی قرار دادند. ابتدا، از طریق جمع‌آوری حداکثر داده‌های رسمی از چندین منبع، وضعیت واقعی و موجود مصرف انرژی را با گزارش اطلاعات به‌روز مصرف انرژی در بخش ساختمان، بررسی کردند. سپس عوامل اصلی موثر بر مصرف انرژی در ساختمان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. ایشان اشاره می‌کنند، تجدید نظر در برآورد مصرف انرژی در بخش ساختمان برای فعالیت‌های مسکونی و تجاری، این امکان را فراهم می‌آورد تا تلاش‌های بعدی مورد نیاز در این زمینه، توسط سیاست‌گذاران در بخش‌های مختلف جهان، صورت گیرد. این اطلاعات همچنین برای ارزیابی تأثیر سیاست‌های انرژی اتخاذ شده قبلی، نیز مفید است (Allouhi et al. 2015). بسیاری از پژوهش‌ها، مصرف انرژی ساختمان‌ها با کاربری‌های مختلف را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. برای مثال، در سال ۱۹۹۶ کول و کرنان، کل مصرف انرژی در چرخه عمر در یک ساختمان اداری سه طبقه را بررسی کردند. ایشان بیان می‌کنند، بر اساس استانداردهای پذیرفته شده عملکرد انرژی، انرژی عملیاتی، بزرگترین جزء استفاده از انرژی در چرخه زندگی می‌باشد. همانطور که مسائل زیست محیطی به طور فزاینده‌ای جزو اولویت‌های طراحی ساختمان محسوب می‌شوند، می‌توان استانداردهای انرژی را نیز در طراحی ساختمان، به طور قابل توجهی بهبود داد (Cole and Kernan 1996).

بعدها در سال ۲۰۰۹ سیدور، تجهیزات اصلی مصرف انرژی در ساختمان‌های اداری مالزی را شناسایی کرد و پس از تخمین مصرف انرژی، تجهیزات و میزان مصرف انرژی این ساختمان‌های اداری را با تعدادی از ساختمان‌های کشورهای منتخب، مقایسه

کرده و نشان داد که سیستم‌های تهویه مطبوع، به میزان ۵۷٪ بیشترین مصرف‌کننده انرژی در ساختمان‌های اداری هستند. پس از آن روشنایی به میزان ۱۹٪، بالابرها و پمپ‌ها به میزان ۱۸٪ و سایر تجهیزات به میزان ۶٪ در پله‌های بعدی قرار دارند. ایشان مشخص کرده است که با معرفی گزینه‌های مختلف صرفه‌جویی انرژی در این بخش، می‌توان به میزان زیادی در انرژی و هزینه‌ها (صورتحساب‌ها) صرفه‌جویی کرد و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد (Xin, Wang, and Fu 2020).

به دنبال آن، مطالعات با شرایط مختلفی در این زمینه ادامه یافت. در سال ۲۰۱۶، شیولا و کروکسفورد، تأثیر تغییر اقلیم بر مصرف انرژی ساختمان‌های اداری در ژاپن را بررسی کردند. یافته‌های این مطالعه به طراحان ساختمان، مهندسان، برنامه‌ریزان شهری، سیاست‌گذاران انرژی و محیط‌زیست، شرکت‌های آب و برق و سایر ذینفعان کمک می‌کند تا تأثیر تغییرات آب و هوا بر تولید، توزیع و مصرف انرژی را در نظر بگیرند (Shibuya and Croxford 2016). به تدریج، پژوهش‌ها و تحقیقات بسیاری در رابطه با دیگر انواع ساختمان‌ها از جمله ساختمان‌های تجاری، مدارس، مسکونی سرعت گرفت.

بسیاری از پژوهش‌ها، بر موضوع مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی، میزان مصرف واقعی یا تخمینی و همچنین بر میزان انتشار CO₂ تمرکز دارند (Berardi 2017; Gaglia et al. 2019; Harvey et al. 2014; Nejat et al. 2015; Yoshino, Hong, and Nord 2017). مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۶ توسط یوانو و همکاران انجام شد، یک سیستم اطلاعات مصرف انرژی تعاملی به صورت آنلاین بود که مصرف برق را نشان می‌داد. حداکثر ۱۸ دستگاه مختلف (برق، گاز شهری، مصرف کل خانه و...)، به منظور ایجاد انگیزه در فعالیتهای صرفه‌جویی در انرژی ساخته شد و با نصب آن در ۱۰ ساختمان مسکونی، اثربخشی سیستم بررسی شد. ایشان در این مقاله، با ارائه اطلاعاتی به اعضای خانواده در مورد مصرف انرژی در خانه‌ی خود، روشی را برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی پیشنهاد کردند. نتایج نشان داد که روش آن‌ها باعث افزایش هوشیاری صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده است که این امر منجر به کاهش مصرف انرژی گشت (Ueno et al. 2006).

ژائو و همکاران در سال ۲۰۱۲، مصرف انرژی مسکونی شهری چین را بررسی کردند. ایشان پیشنهاد کردند که در بخش مسکونی، نظارت بر انرژی و همچنین شرکت داوطلبانه در سیاست‌های بهره‌وری و حفاظت از انرژی، باید ترویج شود (Zhao, Li, and Ma 2012). تغییرات جهانی در مصرف انرژی مسکونی در سال ۲۰۱۷ توسط پابلو و همکاران بررسی شد. ایشان مشخص کردند، نقش، بخش انرژی مسکونی در انتشار CO₂ بسیار مهم است. بنابراین این بخش، دارای پتانسیل مهم برای صرفه‌جویی در انرژی می‌باشد و اجرای سیاست‌های انرژی مسکونی ممکن است کارآمدتر از سایر بخش‌ها باشد (Pablo-Romero, Pozo, and Barajas, and Yñiguez 2017).

بسیاری از تحقیقات، عملکرد انرژی ساختمان‌ها را بررسی کرده‌اند (Chou and Tran 2018; De Boeck et al. 2015; Fouquier et al. 2013; Fumo 2014; Mena et al. 2014). به همین ترتیب، مطالعات دیگری در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل مصرف و عملکرد انرژی در ساختمان‌های مسکونی نیز انجام شد (Dixit 2017; Gaglia et al. 2019). در کنار همه پژوهش‌های انجام شده، بسیاری از آن‌ها، در رابطه با بهینه‌سازی عملکرد انرژی و اقدامات کاهش مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها انجام شده است.

سیاست‌ها و اهداف کاهش کربن از نظر تاریخی در سطح جهانی اتخاذ شده است. این، در حالی است که شهرداران، به طور قابل توجهی اقدام به کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن در مناطق شهری می‌کنند. علاوه بر این، تغییرات آب و هوایی، منافع مالی و اقتصادی مرتبط با بهبود بهره‌وری انرژی، شهرداری‌ها را بر آن داشته است تا طرح‌های سیاست‌گذاری را برای پایداری انرژی به مدت طولانی، اجرا کنند (Amasyali and El-Gohary 2018). در ایالات متحده، بیش از ۲۰ شهر و دولت‌های محلی، قوانینی را برای سنجش و مشخص کردن میزان مصرف انرژی به عنوان پایه و اساس برنامه‌های پایداری شهر تصویب کرده‌اند (Vázquez-Canteli et al. 2019). این قوانین، صاحبان ساختمان را ملزم می‌کند، سالانه مصرف انرژی ساختمان خود را گزارش دهند، باعث شفافیت موضوع مصرف انرژی در بازارهای املاک شوند و به دنبال آن، فرصت‌های صرفه‌جویی در انرژی را به وجود آورند (Kontokosta 2013; Papadopoulos and Kontokosta 2019; Ribeiro 2018). چنین طرح‌هایی، می‌توانند به صاحبان ساختمان‌ها کمک کنند تا عملکرد ساختمان‌های خود را درک کرده و آن‌ها را در معرض فشارهای رقابتی بازار قرار دهند که این مهم، باعث بهره‌وری بیشتر انرژی می‌شود. با این حال، این نوع درجه‌بندی عملکرد، نیازمند توانایی موثر و دقیق در رابطه با اهداف عملکرد انرژی است (Gao and Malkawi 2014; Hsu 2014; Kontokosta 2015; Papadopoulos and Kontokosta 2019; Scofield 2014).

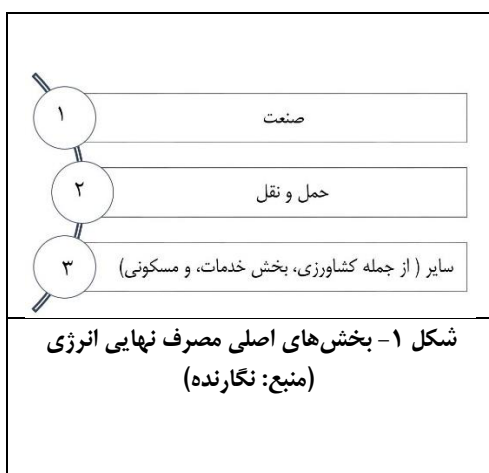
در این راستا، تحقیقات پژوهشگران نشان داده که چندین شهر در ایالات متحده قوانینی تصویب کرده‌اند که طبق آن، صاحبان ساختمان‌های بزرگ، موظف به رتبه‌بندی بهره‌وری و در معرض شفافیت قرار دادن انرژی ساختمان‌های خود در بین عموم مردم با هدف تشویق به بهره‌وری بیشتر، می‌باشند. اکنون، شهرها در سراسر ایالات متحده و در سطح جهان نیز به سمت مشخص کردن میزان انرژی روی آورده‌اند که ابزاری برای درک بهتر عملکرد انرژی ساختمان آن‌ها می‌باشد.

در بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸، به تدریج پژوهش‌هایی در این زمینه انجام شد و سیاست‌های مشخص کردن انرژی مورد بحث و بررسی بیشتر قرار گرفت (Gaglia et al. 2019; Gao and Malkawi 2014; Hsu 2014; Palmer and Walls 2017; Papadopoulos and Kontokosta 2019; Scofield 2014; Xuchao, Priyadarsini, and Eang

(2010). پاپادوپولوس و همکاران در سال ۲۰۱۹، یک روش درجه‌بندی عملکرد ساختمان را پیشنهاد داده، سیستم درجه‌بندی سبز را توسعه دادند که چارچوبی برای تسهیل معیارهای دقیق‌تر انرژی ساختمان و زمینه‌ای برای تغییرات مورد انتظار و واقعی را ارائه می‌دهد (Papadopoulos and Kontokosta 2019).

۳- مصرف انرژی در ساختمان‌ها

بیشتر سهم مصرف انرژی در هر کشوری، مربوط به بخش ساختمان‌ها، می‌باشد. بهبود بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها برای کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای یک راهکار کلیدی ثابت شده برای کاهش تغییرات آب و هوایی در سطح جهان است. اگرچه، فناوری‌های ساختمانی در دهه‌های گذشته پیشرفت قابل‌توجهی داشته‌اند، یکی از مهم‌ترین موانع برای بهبود قابل‌ملاحظه بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها، فقدان دانش در مورد عوامل تعیین‌کننده مصرف انرژی است. اغلب، اختلاف قابل‌توجهی بین مصرف کل انرژی طراحی شده و مصرف انرژی واقعی در ساختمان‌ها وجود دارد (Yoshino, Hong, and Nord 2017). مصرف نهایی انرژی، معمولاً به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود: صنعت، حمل و نقل و سایر (از جمله کشاورزی، بخش خدمات، و مسکونی) (شکل ۱). این امر، جمع‌آوری اطلاعات در مورد مصرف انرژی ساختمان را بسیار دشوار می‌کند (Pérez-Lombard, Ortiz, and Pout 2008).



ساختمان‌های کم‌مصرف دارای مزایای انرژی، اقتصادی و زیست محیطی هستند. این ساختمان‌ها، آلاینده‌های زیست محیطی و همچنین هزینه‌های انرژی را کاهش می‌دهند و با ترویج فناوری‌های جدید کارآمد انرژی، فرصت‌های اقتصادی را برای تجارت و صنعت ایجاد می‌کنند (Bartlett, Halverson, and Shankle 2003). انرژی، به طور مستقیم در ساختمان‌ها بیشتر به عنوان انرژی تحویلی (منابعی مانند برق و گاز طبیعی) مصرف می‌شود. ساختمان‌ها نیز از منابع انرژی به طور غیر مستقیم از طریق مصالح ساختمانی استفاده می‌کنند. هر مصالح ساختمانی نصب شده در یک ساختمان، انرژی اولیه (برای مثال زغال‌سنگ) و انرژی تحویلی (برای مثال بنزین) را در ساخت، و حمل و نقل خود به محل ساخت‌وساز مصرف می‌کند (Dixit 2017).

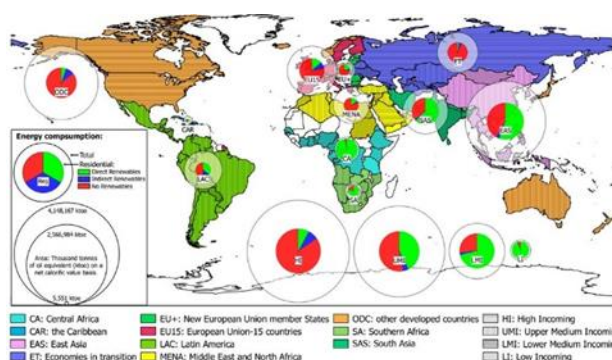
یکی از مراکز اصلی مصرف انرژی، ساختمان‌های مسکونی می‌باشند که باید مسئله بهینه کردن و اصلاح الگوی مصرف انرژی آن‌ها را جدی گرفت.

۴- مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

بخش مسکونی، حدود ۲۵ درصد از مصرف انرژی جهانی و ۱۷ درصد از انتشار CO_2 جهانی را نشان می‌دهد و تأثیرات مستقیم قابل‌توجهی بر محیط‌زیست جهان دارد. بنابراین، این بخش نقش حیاتی در کاهش انتشارات CO_2 دارد (Pablo-Romero, Pozo-Barajas, and Yñiguez 2017). از عوامل اساسی در تعیین میزان مصرف انرژی ساختمان مسکونی، اندازه و موقعیت ساختمان است. علاوه بر این، میزان انرژی مصرفی در ساختمان‌های مسکونی، همچنین تحت تأثیر آب و هوا، طراحی معماری، سیستم‌های انرژی و درآمد خانوارهاست (Chou and Tran 2018). رشد تقاضای انرژی مسکونی ممکن است بسته به سطح درآمد خانوارها متفاوت باشد (Pablo-Romero, Pozo-Barajas, and Yñiguez 2017). راهکارهای بسیاری برای کاهش تقاضای انرژی در ساختمان‌های مسکونی وجود دارد. به عنوان مثال، عایق کاری مناسب و استفاده از وسایل کارآمدتر. راهکار دیگر، القای صرفه‌جویی در مصرف انرژی با ارائه اطلاعات دقیق به اعضای خانواده در مورد مصرف انرژی خانگی است (Ueno et al. 2006).

کمیسیون اروپا با اتخاذ دو دستورالعمل اروپایی در مورد عملکرد انرژی ساختمان‌ها، تلاش کرد تا مصرف نهایی انرژی در بخش مسکونی را کاهش دهد. هر دو دستورالعمل، با هدف بهبود بهره‌وری انرژی بخش ساختمان در اروپا بودند. این دستورالعمل‌ها، راهکارهای اساسی برای تعیین مشخصات ساختمان‌ها و حداقل الزامات برای بهبود بهره‌وری انرژی را در اختیار کشورهای عضو قرار می‌دهد. آن‌ها همچنین ممیزی انرژی و گواهینامه عملکرد انرژی ساختمان‌ها را تحمیل کردند. مقررات انرژی اروپا، در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی، موفق شد. همچنین، از طریق اجرای سیاست‌ها و اقدامات مناسب، بر عملکرد انرژی ساختمان‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأثیر مثبتی داشت.

در یک تحلیل مختصر از روند مصرف انرژی مسکونی برای دوره ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳، جهان به ۱۱ منطقه شامل ۱۵ عضو اول اتحادیه اروپا (EU15)، اعضای جدید اتحادیه اروپا (EU+)، سایر کشورهای توسعه یافته (ODC)، اقتصادهای در حال تغییر (ET)، آفریقای مرکزی (CA)، آفریقای جنوبی (SA)، کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA)، آسیای شرقی (EAS)، آسیای جنوبی (SAS)، آمریکای لاتین (LAC) و کشورهای حوزه کارائیب (CAR) تقسیم شده و در چهار گروه با تقسیم جهان بر اساس درآمد ناخالص ملی شامل کشورهای با درآمد بالا (HI)، درآمد متوسط به بالا (UMI)، درآمد متوسط به پایین (LMI) و درآمد پایین (LI) در سال ۲۰۱۳ به نظر گرفته شدند. (شکل ۲).



شکل ۲- مصرف انرژی کل و مصرف انرژی مسکونی در سال ۲۰۱۳ بر اساس مناطق جهان (رنگ ها) و سطوح GNI سرانه (نقاط) (Pablo-Romero, Pozo-Barajas, and Yñiguez 2017)

این تحلیل نشان داد که در سطح منطقه‌ای، از نظر مصرف انرژی به ویژه بخش مسکونی، تفاوت‌های قابل توجهی در میان مناطق اصلی در سراسر جهان مشاهده می‌شود. بنابراین، باید یک سیاست انرژی جهانی متنوع اعمال شود (Pablo-Romero, Pozo-Barajas, and Yñiguez 2017).

۵- تاثیر پارامترهای ساختمان بر مصرف انرژی

انرژی مصرفی ساختمان، از یک طرف به نظریه طراحی سازگار با شرایط آب و هوایی مربوط می‌شود. برای مثال، گذاشتن پنجره در یک ساختمان اهمیت به‌سزایی دارد، چرا که نور طبیعی مفید، خنکساز آسان و سیستم تهویه مطلوب را فراهم می‌سازد (حبیب ۲۰۱۴، et al.). از طرف دیگر، ویژگی‌های معماری متعددی بر میزان انرژی مصرفی در یک ساختمان تاثیر می‌گذارند که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود.

۵-۱- عایق حرارتی

عایق حرارتی، به عنوان یک ماده یا ترکیبی از مواد مورد استفاده در پوسته ساختمان شناخته می‌شود تا سرعت جریان گرما به داخل یا خارج از طریق رسانش، همرفت و تشعشع را به تاخیر بیندازد. استفاده صحیح از عایق حرارتی در پوشش ساختمان، می‌تواند منجر به کاهش مصرف انرژی ساختمان و همچنین کاهش میزان اثرات زیست محیطی شود. ضخامت بهینه اعمال شده برای عایق می‌تواند منجر به کاهش انتشار CO_2 تا ۲۷٪ شود (Omran and Marsono 2016; Çomaklı and Yüksel 2004). ضخامت باید کاملاً با توجه به اقلیم خاص محل ساختمان طراحی شود. عایق حرارتی، نقش بسزایی در بهینه‌سازی انرژی ساختمان و همچنین کاهش اثرات زیست محیطی ساختمان دارد. استفاده از عایق حرارتی باید با سایر استراتژی‌های غیرفعال همراه شود تا در بهره‌وری انرژی ساختمان، پیشرفت‌های بیشتری محقق شود (Omran and Marsono 2016).

۵-۲- جرم حرارتی

جرم حرارتی، به توانایی مواد برای جذب (همرفتی و تابشی) و ذخیره انرژی گرمایی در یک دوره گرم و آزادسازی آن در یک دوره سرد اشاره دارد. اصل کار جرم حرارتی بر اساس جذب گرما از هوای داخل ساختمان، زمانی است که دمای جرم حرارتی کمتر از دمای هوای داخل است. زمانی که دمای آن بالاتر از هوای داخل است، گرمای جذب شده را در هوای داخلی آزاد می‌کند. جرم مصالح ساختمان‌ها را می‌توان به گونه‌ای طراحی کرد که گرمای داخلی خورشیدی را ذخیره کند تا نوسانات دما را تعدیل کند و در نتیجه مصرف انرژی برای فضا را کاهش دهد (Omran and Marsono 2016; Zhou et al. 2008).

۵-۳- لعاب‌ها

لعاب، نقش مهمی در مدیریت انرژی ساختمان ایفا می‌کند. زیرا در عبور تابش خورشید از فضاهای داخلی تاثیر می‌گذارد. ۲۰ تا ۴۰ درصد اتلاف حرارتی، از طریق پنجره‌ها در ساختمان، صورت می‌گیرد. پنجره، بخشی مهمی از پیکربندی ساختمان می‌باشد که تاثیرات قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد کلی انرژی ساختمان دارد. عملکرد انرژی یک پنجره به ضریب انتقال حرارتی آن، ضریب عبور نور از شیشه و نشت هوا به دلیل هوابندی قاب، و نوع نصب پنجره، بستگی دارد. در بین تمامی این پارامترها، سیستم شیشه را

می‌توان به عنوان یک عامل تعیین‌کننده در عملکرد انرژی پنجره در نظر گرفت. انتخاب مناسب لعاب، از اقدامات لازم برای تنظیم نور خورشید ورودی به ساختمان است. اهمیت این استراتژی را در جایی که تقاضای بیش از حد برای گرمایش و سرمایش فضا وجود دارد، بیشتر می‌توان احساس کرد. بنابراین، برای تصمیم‌گیری در مورد نوع لعاب‌ها، باید شرایط خاص محل قرارگیری ساختمان را در نظر گرفت (Omrany and Marsono 2016).

۴-۵- اندازه، شکل و موقعیت پنجره‌ها

علاوه بر سیستم‌های شیشه‌ای، اندازه، شکل و موقعیت پنجره‌ها به عنوان پارامترهای مهم که می‌توانند تأثیر بسیاری بر اتلاف انرژی در ساختمان‌ها داشته باشند، در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین، طراحی بهینه یک پنجره می‌تواند توازن دقیقی بین تمام ویژگی‌های اجزای پنجره مانند ویژگی‌های خاص، جهت، شکل، اندازه و لعاب آن باشد. تأثیر نوع و اندازه پنجره‌ها بر تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی در شرایط آب و هوایی مختلف متفاوت می‌باشد (Omrany and Marsono 2016).

۵-۵- سیستم‌های سایه‌انداز خارجی

سیستم‌های سایه‌انداز، می‌تواند از طریق رهگیری نور روز ورودی بر مصرف انرژی ساختمان تأثیر بگذارد. بررسی اثرات استفاده از سیستم‌های سایه‌انداز بر عملکرد حرارتی ساختمان در شهرهای مختلف با عرض جغرافیایی و شرایط آب و هوایی مختلف نشان می‌دهد که سیستم‌های سایه‌انداز، تأثیر زیادی در صرفه‌جویی در مصرف انرژی دارند (Manzan 2014). بنابراین باید با در نظر گرفتن مناسب‌ترین اندازه، موقعیت و نوع نصب به دقت طراحی شود. انجام یک طراحی کارآمد انرژی برای به حداقل رساندن مصرف انرژی ساختمان، نیازمند بیان کامل شکل ساختمان است. شکل ساختمان به عنوان یک عامل مهم در تأثیرگذاری بر مصرف انرژی ساختمان، در نظر گرفته می‌شود (Omrany and Marsono 2016). تعیین پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی در بخش ساختمان از مهمترین مراحل طراحی یک ساختمان است. طراحی‌های منفعل، در معماری امروز شهرهای شلوغ قابل اجرا نیست. لذا کارایی انرژی اینگونه ساختمان‌های شهری، به مسائلی مانند مساحت ساختمان، جهت گیری ساختمان، ارتفاع ساختمان، تعداد طبقات، اندازه پنجره‌ها، مصالح آن و تابش دریافتی خورشید وابسته است. پارامترهای تأثیرگذار بر مصرف انرژی در تحقیقات مختلف شامل شرایط نامساعد، میزان انتقال حرارت، نسبت پنجره به دیوار، تعداد پله‌ها، تجهیزات، روشنایی، نسبت طول به عرض و طول عمر ساختمان نیز معرفی شده اند (حبیب et al. 2014).

۶-۶- ارزیابی مصرف انرژی ساختمان‌ها

یکی از روش‌های مؤثر در کاهش انتشار CO₂ و مصرف انرژی در ساختمان‌ها، در نظر گرفتن بازده انرژی در مرحله طراحی بسیار اولیه است. از طرف دیگر، مدیریت کارآمد انرژی و نوسازی هوشمند می‌تواند عملکرد انرژی موجود را افزایش دهد. همه این راه‌حل‌ها، نیازمند پیش‌بینی دقیق انرژی برای تصمیم‌گیری بهینه است (Seyedzadeh et al. 2018). پیش‌بینی، قسمت مهمی از نظارت و مدیریت مداوم مصرف انرژی است. پیش‌بینی دقیق مصرف انرژی برای بهبود بهره‌وری انرژی ساختمان بسیار حیاتی است (Vázquez-Canteli et al. 2019). میزان مصرف انرژی پیش‌بینی شده در یک دوره باعث می‌شود مدیران تاسیسات و سیستم‌های انرژی از تغییر مطلع شوند (Chou and Tran 2018). برای اینکار به عنوان مثال، شبیه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان، به طور قابل‌توجهی توسعه یافته است (Guyot et al. 2019). در علوم ساختمانی، ارزیابی رفتارهای حرارتی و انرژی یک ساختمان، محاسبه میزان مصرف انرژی و دستیابی به اهداف خاص، به عنوان مثال: کاهش مصرف انرژی یا بهبود محیط‌های حرارتی داخلی معمولاً از طریق محاسبه دستی و با استفاده از معادلات مختلف مربوطه بدست می‌آید اما امروزه محیط‌های نرم‌افزاری مختلف همه این محاسبات را با انعطاف پذیری، دقت و سرعت بالا انجام می‌دهند.

۶-۱- شبیه‌سازی عملکرد انرژی

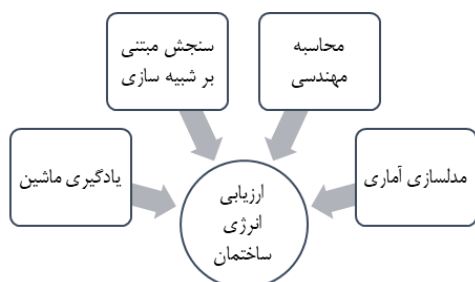
شبیه‌سازی، توسط نرم‌افزارهای شبیه‌سازی حرارتی پویا که به طور گسترده توسط طراحان استفاده می‌شوند، انجام می‌شود. امروزه، تعداد زیادی ابزار شبیه‌سازی که دارای محیط‌های کاربرپسند هستند، در دسترس می‌باشند. تیم‌های طراحی با بکارگیری این ابزارها، پس از تعیین پارامترها و اهداف شبیه‌سازی، می‌توانند به راه‌حل‌های جدیدی دست یابند که قبلاً از طریق طراحی مدل‌های مرسوم امکان پذیر نبود (Machairas, Tsangrassoulis, and Axarli 2014). یک رویکرد قابل‌توجه که می‌تواند برای بهبود عملکرد ساختمان به کار رود، طراحی مدل شبیه‌سازی پارامتریک می‌باشد. زیرا، ابزارهای پارامتریک پتانسیل حل فرمول‌های پیچیده طراحی را دارند و آزادی انطباق با نیازهای خاص را فراهم می‌کنند. ترکیب طراحی، و تجزیه و تحلیل توسط این چارچوب تسهیل می‌شود. طراحان می‌توانند با تجسم داده‌های تجزیه و تحلیل محیطی در پلتفرم طراحی، ارتباط معقولی بین تجزیه و تحلیل داده‌ها و طراحی ایجاد کنند. از این نظر، نرم‌افزار راینو رابطی را ارائه می‌دهد که هر نوع راه‌حل مدل‌سازی را می‌توان از طریق آن

بررسی کرد و افزونه گرسهاپر، مجموعه‌ای از قابلیت‌ها را که فراتر از گزینه‌های موجود ارائه شده توسط برنامه‌های کاربردی مدل‌سازی انرژی استاندارد است، ایجاد می‌کند.

در صورت وجود اطلاعات دقیق ساختمان، ابزارهای مدل‌سازی فیزیکی مانند انرژی پلاس^۱ یا ترنسیس^۲ در زمینه شبیه‌سازی عملکرد انرژی، می‌توانند بسیار دقیق باشند. اما متأسفانه، بیشتر اوقات به خصوص هنگام کار بر روی یک ساختمان موجود، چنین اطلاعاتی به راحتی قابل دستیابی نیست (Guyot et al. 2019).

۶-۲- پیش‌بینی مصرف انرژی

روش‌های ارزیابی انرژی ساختمان به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شود: محاسبه مهندسی، سنجش مبتنی بر شبیه‌سازی، مدل‌سازی آماری و یادگیری ماشین (شکل ۳). روش‌های مهندسی، از قوانین فیزیکی برای استخراج مصرف انرژی ساختمان در سطح کل یا سطوح زیر سیستم (سیستم فرعی) استفاده می‌کنند. دقیق‌ترین روش‌ها، برای استخراج دقیق مصرف انرژی برای تمام اجزای ساختمان با در نظر گرفتن جزئیات داخلی و خارجی به عنوان ورودی (به عنوان مثال اطلاعات آب و هوا، ساختار ساخت و ساز، سیستم گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع)، از محاسبات ریاضی پیچیده یا دینامیک ساختمان، استفاده می‌کنند.



شکل ۳- چهار دسته اصلی ارزیابی انرژی ساختمان (منبع: نگارنده)

شبیه‌سازی کارایی انرژی ساختمان، شامل مدل‌های نرم‌افزاری و رایانه‌ای برای شبیه‌سازی عملکرد انرژی با وضعیت از پیش تعریف شده است. به طور کلی، از شبیه‌سازی رایانه‌ای می‌توان برای انواع برنامه‌ها مانند نورپردازی و طراحی سیستم گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع استفاده کرد. وجود داده‌های انرژی ساختمان امکان استفاده از روش‌های بالا به پایین را برای ارزیابی عملکرد انرژی فراهم کرده است.

روش‌های آماری، از داده‌های تاریخی ساختمان استفاده می‌کنند و غالباً برای مدل‌سازی مصرف انرژی یا عملکرد ساختمان‌ها، رگرسیون را به کار می‌گیرند.

یادگیری ماشین، با استفاده از الگوریتم‌های رایانه، توانایی یادگیری به کمک داده‌ها را فراهم می‌کند. مفهوم یادگیری ماشین، با آمار محاسباتی مرتبط می‌باشد. از این رو، این روش همچنین می‌تواند به عنوان زیر مجموعه مدل آماری نیز در نظر گرفته شود. یادگیری ماشین، به طور کلی برای توصیف یک الگوریتم رایانه‌ای که از داده‌های موجود یاد می‌گیرد، استفاده می‌شود. این الگوریتم‌ها معمولاً برای فرآیند یادگیری، از مقدار قابل توجهی داده و تعداد نسبتاً کمی از ویژگی‌های ورودی استفاده می‌کنند. در سال‌های اخیر، تکنیک‌های یادگیری ماشین متعددی در بخش ساختمان برای تخمین بارهای گرمایشی و سرمایشی، مصرف انرژی و عملکرد آن تحت شرایط مختلف ارائه شده است.

تخمین کوتاه مدت انرژی در موارد منفرد، فقط اطلاعات آب و هوا (دما، رطوبت تابش خورشیدی) را در نظر می‌گیرد. با این حال، پیش‌بینی دقیق مصرف انرژی و بازده ساختمان چالشی است که ویژگی‌های مختلف تأثیرگذار مانند ویژگی‌های ساختاری، شیشه، نسبت پنجره به دیوار و جهت گیری، اشغال، لوازم خانگی، تنوع بار، ساعات کار و غیره نیز باید در نظر گرفته شود.

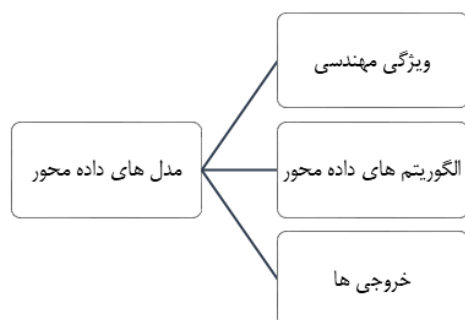
در بیشتر طرح‌های سنجش، سیستم عملکرد ساختمان^۳ ابزاری مهم برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان است که با ساختمان مرجع مقایسه می‌شود. علاوه بر این، برای ارزیابی، مشخصات پیچیده ساختمان و یک مهندس خبره برای تولید نتایج قابل اعتماد مورد نیاز است. روش‌های پیشنهادی، از روش‌های آماری برای پیش‌بینی و ارزیابی عملکرد انرژی بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از ساختمان و محیط استفاده می‌کنند (Seyedzadeh et al. 2018). تجزیه و تحلیل مصرف انرژی شامل روش‌هایی برای تجزیه و تحلیل داده‌های سری زمانی برای استخراج داده‌های مشخص و سایر ویژگی‌های داده است. پیش‌بینی سری زمانی، استفاده از مدلی برای پیش‌بینی مقادیر آینده بر اساس مقادیر مشاهده شده قبلی است. سری زمانی، دنباله‌ای مرتب از مقادیر است که در فواصل زمانی برابر ثبت می‌شوند. از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به طور گسترده‌ای برای پیش‌بینی مصرف انرژی استفاده می‌شود. پیش‌بینی میزان انرژی مورد نیاز ساختمان، مورد توجه مدیران تأسیسات انرژی است. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی تقاضای انرژی ساختمان بر اساس روش‌های فیزیکی و روش‌های مبتنی بر داده (از رگرسیون ساده تا روش‌های هوش مصنوعی) وجود دارد (Ferlito et al. 2015).

1 EnergyPlus

2 TRNSYS

3 Building Performance System(BPS)

به دلیل سهولت استفاده و سرعت عمل در جستجوی راه حل‌های بهینه، رویکرد مبتنی بر هوش مصنوعی در سال‌های اخیر محبوبیت یافته است (Wang and Srinivasan 2017). دسترسی روزافزون به داده‌های انرژی ساختمان، که با تصویب قوانین مشخص کردن انرژی شهری امکان‌پذیر شده است، منجر به علاقه جدیدی به تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه آن‌ها با دیگر داده‌ها، به عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد نسبی شده است. در این زمینه، مدل‌های سنجش آماری کاملاً مشهور شده‌اند. زیرا، این مدل‌ها معمولاً از الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده می‌کنند که می‌توانند روابط پیچیده بین مصرف انرژی و ویژگی‌های ساختمان را حل کنند (Chung 2012; Papadopoulos and Kontokosta 2019; Xuchao, Priyadarsini, and Eang 2010). رویه کلی مدل‌سازی داده محور شامل ویژگی مهندسی، الگوریتم‌های داده محور و خروجی‌ها می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- رویه کلی مدل‌های داده محور (منبع: نگارنده)

قبل از استفاده از یک روش مبتنی بر داده، داده‌ها ابتدا از شبیه‌سازی، اندازه‌گیری، بررسی یا پایگاه داده عمومی جمع‌آوری می‌شوند. سپس، داده‌ها باید کاملاً پردازش شوند تا داده‌های از دست رفته یا نادرست حذف یا اصلاح شوند. به این فرآیند، پاکسازی گفته می‌شود. پس از جمع‌آوری داده‌ها و پاکسازی داده‌ها، ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را در نتایج پیش‌بینی دارند، باید استخراج شوند. پس از آماده‌سازی کامل داده‌ها، الگوریتم‌های داده محور مناسب باید انتخاب و آموزش داده شوند. مدل‌های داده محور توسعه‌یافته می‌توانند برای پیش‌بینی انرژی ساختمان پس از اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گیرند.

پس از آموزش و اعتبارسنجی یک مدل داده محور، می‌توان از مدل توسعه‌یافته برای پیش‌بینی انرژی در زندگی واقعی استفاده کرد. قبل از اجرا، روند به روزرسانی ورودی‌های پیش‌بینی انرژی باید طی شود. چند استراتژی پروژرسانی برای پیش‌بینی انرژی چند مرحله‌ای ساختمان به شرح زیر است:

- مصرف انرژی در طی یک دوره خاص یا تقاضای برق در یک زمان خاص فقط بر اساس ورودی‌های برون‌زا (به عنوان مثال اطلاعات هواشناسی پیش‌بینی شده، شاخص زمان و غیره) در آن دوره زمانی خاص یا نقطه زمانی پیش‌بینی شده است.
- داده‌های تاریخی یکی از عوامل ورودی برای پیش‌بینی انرژی است. با این حال، داده‌های تاریخی به عنوان اطلاعات مداوم در نظر گرفته نمی‌شوند. این بدان معنی است که مصرف انرژی در مرحله بعدی ممکن است تحت تأثیر داده‌های مراحل قبلی، ناپیوسته باشد. داده‌های تاریخی می‌توانند دقت پیش‌بینی انرژی را تضعیف کنند. زیرا، داده‌های تاریخی اخیر، بیشتر از قبل در مصرف انرژی آینده تأثیر دارد.
- در این استراتژی، با به روزرسانی مقدار پیش‌بینی شده که توسط داده‌های تاریخی صورت گرفته است، داده‌های تاریخی برای مراحل آینده، حاصل می‌شود (Sun, Haghighat, and Fung 2020). اگر چه تشخیص داده شده است که انجام یک تجزیه و تحلیل دقیق از مصرف انرژی در مرحله حاضر یک کار دشوار است، با این حال، تلاش زیادی برای تولید مدل‌های پیش‌بینی و طبقه‌بندی تقریبی مصرف انرژی صورت گرفته است. به طور کلی، این مدل‌ها، عملکردهای برجسته‌ای دارند. این عملکردها شامل موارد زیر می‌باشند:
- اتخاذ تدابیر مختلف برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بر اساس پیش‌بینی دقیق
- پیاده‌سازی مدیریت تقاضا، پس از تعیین مشخصات مصرف برق
- طرح کلی یا نقشه برداری از انرژی در سطح شهری
- ایجاد پایگاه سنجش داده ساختمان در مقیاس چند منظوره
- ادغام فرایندهای طراحی، بهره‌برداری، مقاوم‌سازی ساختمان حاضر (Hong et al. 2014; Tardioli et al. 2015; Wei et al. 2018).

نتایج شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها، نه تنها می‌تواند اطلاعات ضروری در مورد ردپای انرژی در سهام ساختمان‌های منطقه‌ای ارائه دهد، بلکه تخمین بازده مالی، محیط زیستی و مزایای سرمایه‌گذاری را نیز تسهیل می‌کند. بنابراین جای تعجب نیست که شبیه‌سازی انرژی به ابزاری مطلوب برای ذینفعان در سراسر صنعت ساختمان از جمله سیاست‌گذاران، مالکان ساختمان، سرمایه‌گذاران، اپراتورها و مهندسان تبدیل شده است (Mathew et al. 2015; Wei et al. 2018). در زمینه یادگیری ماشین، انتخاب مدل شامل فرآیند شناسایی پارامترهای مدل است که باعث افزایش عملکرد الگوریتم یادگیری روی یک مجموعه داده خاص می‌شود. در زمینه سنجش انرژی، مدل‌ها باید به اندازه کافی پیچیده باشند تا تغییرات مصرف انرژی بین ساختمان‌های مختلف را توضیح دهند، اما نباید آنقدر پیچیده باشند که نویزهایی را که به طور پیش‌فرض در داده‌های انرژی وجود دارد، ضبط کنند (Kontokosta 2015).

۶-۳- رده‌بندی و رتبه‌بندی مصرف انرژی در دنیا و ایران

بازده انرژی یک ساختمان، با اندازه‌گیری انرژی مصرف شده‌ی آن ساختمان در طول یک سال از نظر گرمایش، آب گرم خانگی، تهویه، روشنایی و غیره، در شرایط عادی استفاده و در شرایط اشغال، محاسبه می‌شود. این داده‌ها بیانگر مقادیر نهایی مصرف انرژی هستند (Benavente-Peces and Ibadah 2020). مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان نیاز به درک کاملی از عملکرد ساختمان دارد که در وهله اول باید منابع انرژی و عمده مصارف نهایی ساختمان را شناسایی کرد. انرژی منابع موجود در یک ساختمان، معمولاً به برق، گاز طبیعی و منبع گرمایش محلی اشاره دارد. عمده استفاده‌های نهایی مربوطه نیز شامل سیستم گرمایش و سرمایش، سیستم تهویه و تهویه مطبوع، آب گرم خانگی، روشنایی، دوشاخه، آسانسور، تجهیزات آشپزخانه، تجهیزات جانبی و لوازم خانگی می‌باشد (Wei et al. 2018) (شکل ۵).

مجموعه‌ای از اقدامات برای کاهش تقاضای انرژی ساختمان‌ها به‌ویژه بخش مسکونی، توسط دستورالعمل عملکرد انرژی ساختمان‌ها مشخص شده است. این دستورالعمل‌ها شامل روش‌های محاسباتی جدید برای عملکرد انرژی، حداقل الزامات برای ساختمان‌های جدید، ممیزی انرژی، بازرسی دیگ بخار و صدور گواهینامه انرژی می‌باشند.



شکل ۵- استفاده انرژی در ساختمان (منبع: نگارنده)

کمپین دیس پلی^۱ یکی از این اقدامات است. این کمپین، یک طرح داوطلبانه می‌باشد که شهرداری‌ها می‌توانند برای نشان دادن تعهد خود به مسئله کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های عمومی، به آن ملحق شوند.

این کمپین، توسط انجمن اروپایی مقامات محلی متعهد به بهره‌وری انرژی اداره می‌شود. در سال ۱۹۹۰ ایجاد شد و اکنون بیش از ۱۰۰۰ شهر در ۳۰ کشور در این کمپین شرکت دارند. کمپین دیس پلی، با هدف تشویق مقامات محلی به نمایش عمومی انرژی و عملکردهای زیست محیطی ساختمان‌های خود است. در دهه گذشته، تقریباً ۵۰۰ مقام محلی و منطقه‌ای در اروپا در توسعه این کمپین شرکت داشته‌اند. پوستر دیس پلی، مشابه پوستر است که قبلاً در لوازم برقی اتحادیه اروپا پذیرفته شده است.

این رتبه‌بندی از A تا G را نشان می‌دهد که A کارآمدترین می‌باشد. ساختمان‌ها بر اساس مصرف انرژی اولیه، انتشار گازهای گلخانه‌ای (عمدتاً دی اکسید کربن) و مصرف آب رتبه‌بندی می‌شوند. بخش مهمی از منطق توسعه پوستر نمایش انرژی، ایجاد انگیزه در تصمیم‌گیرندگان برای حرکت به سمت یک رویکرد مشترک، جهت صدور گواهینامه اروپایی برای عملکرد انرژی ساختمان‌های غیرمسکونی و مشارکت مدیران شهرداری و عموم مردم در کاهش مصرف انرژی بود. گواهی عملکرد انرژی، مانند پوستر دیس پلی می‌تواند به عنوان محرکی برای تغییر رفتار انرژی عمل کند (Bull, Chang, and Fleming 2012).

به عبارتی، بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده در ساختمان، یک گواهی انرژی صادر می‌شود که درجه انرژی آن خانه را بر اساس یک حرف به ترتیب، حروف الفبا از A تا G تعیین می‌کند. یک خانه‌ی کارآمد با درجه انرژی A تا ۹۰٪، با درجه B تا ۷۰٪ و با درجه C تا ۳۵٪، نسبت به یک خانه در پایین‌ترین سطح، انرژی کمتری مصرف می‌کند. یک ساختمان با درجه انرژی بالا، باعث صرفه‌جویی در انرژی نسبت به یک ساختمان با درجه پایین می‌شود (Benavente-Peces and Ibadah 2020) (شکل ۶).

در نیویورک، اندازه‌گیری عملکرد در چندین مورد مانند آژانس ها و صنایع گسترش یافته است. همچنین، مفهوم درجه بندی مشابهی برای شرایط بهداشتی رستوران های شهر اعمال شده است. تحقیقات نشان داده است که افشای عمومی عملکرد رستوران منجر به بهبود شرایط بهداشتی شده است. در بخش ساختمان نیز، انتظار می‌رود که گریدهای انرژی ساختمان که در دسترس عموم قرار می‌گیرند، تأثیر مشابهی داشته باشند. رقابت را در بین مالکان ساختمان تشویق کنند و شرایط برای آنها فراهم شود تا

¹ Display

بهره‌وری انرژی را در تصمیمات خود لحاظ کنند. پیامدهای این تغییرات در بازار، قیمت گذاری املاک و مستغلات و ارزیابی دارایی‌ها است که عملکرد انرژی و سایر خطرات مرتبط با انرژی، مانند منسوخ شدن یا قرار گرفتن در معرض نظارتی را در نظر می‌گیرند (Palmer and Walls 2017; Papadopoulos and Kontokosta 2019; Walls et al. 2017).



شکل ۶- رتبه‌بندی از A تا G (منبع: نگارنده)

در ایران نیز استانداردهایی برای تعیین معیار مصرف انرژی و ارائه دستورالعمل برچسب انرژی برای ساختمان‌های مسکونی و غیر مسکونی تدوین شده است که در استاندارد مربوط به ساختمان‌های مسکونی نحوه ارزیابی و تعیین رده مصرف انرژی برای ساختمان‌های مسکونی بیان می‌شود. در این استاندارد، ساختمان‌های مسکونی به دو دسته ساختمان‌های کوچک با مساحت زیربنای مفید کمتر از ۱۰۰۰ متر مربع و ساختمان‌های بزرگ با مساحت بیش از ۱۰۰۰ متر مربع تقسیم می‌شود.

طبق این استاندارد، معیار محاسبه شاخص مصرف انرژی ساختمان می‌تواند از معیارهای ساده مانند ضریب انتقال حرارت پوسته خارجی ساختمان تا معیارهای پیچیده مانند میزان مصرف انرژی ساختمان متغیر باشد. در کشور ما به دلیل استفاده از حامل‌های مختلف انرژی در ساختمان، استفاده از انرژی اولیه در میدا در رابطه با ساختمان‌های موجود، در نظر گرفتن قبوض برق و سوخت در رابطه با ساختمان‌های در حال ساخت، محاسبه انرژی اولیه مناسب‌ترین روش می‌باشد. در این استاندارد، برای تعیین معیار مصرف انرژی و اعطای برچسب انرژی به ساختمان، شرایط اقلیمی و نوع کاربری تاثیرگذار می‌باشند.

شرایط اقلیمی: یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار در میزان مصرف انرژی ساختمان، شرایط اقلیمی و آب و هوایی منطقه جغرافیایی محل استقرار ساختمان است. با توجه به اینکه در ایران، مناطق با شرایط مختلف آب و هوایی وجود دارند و به عبارتی تنوع اقلیمی گسترده می‌باشد، شاید بهتر باشد، تقسیم‌بندی اقلیمی برای تعیین میزان مصرف انرژی انجام شود. در حال حاضر، کامل ترین تقسیم‌بندی اقلیمی، تقسیم‌بندی هشت‌گانه رسمی است که در این استاندارد آورده شده است (ISIRI 14253 1390) (جدول ۱).

جدول ۱- تقسیمات اقلیمی هشت‌گانه کشور (ISIRI 14253 1390)

نوع اقلیم	میانگین حداکثر دما در تابستان °C	میانگین رطوبت نسبی در تابستان %	میانگین حداقل دما در زمستان °C	میانگین رطوبت نسبی در زمستان %	نمونه شهر
۱ خلی سرد	۳۰-۲۵	۵۵-۴۵	۱۰-۵	۷۵-۶۵	سراب
۲ سرد	۴۰-۳۵	۴۰-۲۵	۱۰-۵	۷۵-۶۵	تبریز
۳ معتدل و بارانی	۳۰-۲۵	بیشتر از ۶۰	۵-۰	بیشتر از ۶۰	رشت
۴ نیمه خشک	۳۵-۳۰	بیشتر از ۵۰	۵-۰	بیشتر از ۶۰	مغان
۵ گرم و خشک	۴۰-۳۵	۴۵-۲۰	۵-۰	۶۰-۴۰	تهران
۶ بسیار گرم و خشک	۴۵-۳۵	۲۰-۱۵	۵-۰	۵۰-۳۵	زاهدان
۷ بسیار گرم و خشک	۵۰-۴۵	۳۰-۲۰	۱۰-۵	۷۰-۶۰	اهواز
۸ بسیار گرم و مرطوب	۴۰-۳۵	بیشتر از ۶۰	۲۰-۱۰	بیشتر از ۶۰	بندر عباس

کاربری: استاندارد موجود جهت تعیین رده مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی کاربرد دارد.

۱-۳-۶- تعیین رده مصرف انرژی

طبق این استاندارد، رده مصرف انرژی ساختمان با استفاده از نسبت انرژی به انجام مراحل زیر تعیین می‌شود:

- تعیین اقلیم ساختمان بر اساس جدول ۱
 - محاسبه شاخص مصرف انرژی اولیه ساختمان
 - محاسبه شاخص مصرف انرژی ایده‌آل ساختمان با استفاده از جدول ۲
 - تعیین نسبت انرژی با استفاده از معادله $R = E_{act}/E_{ideal}$ که در آن:
- E_{act} شاخص مصرف انرژی سالیانه ساختمان بر حسب زیربنای مفید $kwh/m^2/year$
- E_{ideal} شاخص مصرف انرژی اولیه سالیانه ساختمان ایده‌آل بر اساس جدول ۲
- تعیین گرید انرژی بر اساس جدول ۳ (ISIRI 14253 1390)

جدول ۲- شاخص مصرف انرژی ساختمان مسکونی ایده‌آل در اقلیم‌های مختلف بر حسب kwh/m2/year
(ISIRI 14253 1390)

اقلیم	ساختمان	
	مسکونی کوچک	مسکونی بزرگ
۱،۲	۱۱۱	۱۰۲
۳،۴	۱۵۶	۱۰۶
۵	۸۳	۸۷
۶	۸۶	۷۵
۷	۱۵۰	۱۳۸
۸	۱۳۰	۱۱۸

جدول ۳- تعیین رده مصرف انرژی ساختمان بر اساس نسبت انرژی R (ISIRI 14253 1390)

رده مصرف انرژی	کاربری	
	مسکونی کوچک	مسکونی بزرگ
A	$R < 1$	$R < 1$
B	$1/10 < R < 1/9$	$1/10 < R < 2/10$
C	$1/9 < R < 2/7$	$2/10 < R < 2/9$
D	$2/7 < R < 2/4$	$2/9 < R < 3/7$
E	$2/4 < R < 4/10$	$3/7 < R < 4/10$
F	$4/10 < R < 4/5$	$4/4 < R < 5/10$
G	$4/5 < R < 5/10$	$5/10 < R < 5/4$
برچسب تعلق نمی‌گیرد	$5/10 \leq R$	$5/4 \leq R$

۷- نتیجه‌گیری

انرژی، از عواملی است که در اکثر فعالیت‌ها استفاده می‌شود. معماری نیز، یکی از شاخه‌هایی است که انرژی در آن از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. ساختمان‌ها، به ویژه ساختمان‌های مسکونی، قسمت عمده‌ای از مصرف انرژی هر کشور و انتشار گازهای گلخانه‌ای را بر عهده دارند. بنابراین، تلاش در جهت کاهش مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی و مدیریت عملکرد انرژی ساختمان‌ها حائز اهمیت می‌باشد. راهکارها و دستورالعمل‌های بسیاری در زمینه بهینه‌سازی و بهره‌وری عملکرد انرژی ساختمان‌ها و همچنین کاهش تقاضای انرژی ساختمان‌های مسکونی، در چندین کشور، توسط سازمان‌های مربوطه ارائه شده است. آن‌ها، سیاست مشخص کردن انرژی و در معرض عموم قرار دادن میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها را در پیش گرفته‌اند تا همگان را به سمت کاهش مصرف انرژی و مدیریت عملکرد مصرف انرژی تشویق کنند.

در همین راستا، مسئله ارزیابی مصرف انرژی ساختمان‌ها، مطرح می‌شود. مراحل که برای ارزیابی مصرف انرژی ساختمان طی می‌شود، معمولاً شامل شبیه‌سازی مصرف انرژی، پیش‌بینی مصرف انرژی و رتبه‌بندی مصرف انرژی می‌باشند. روش‌های ارزیابی انرژی ساختمان، به چهار دسته تقسیم می‌شوند: محاسبه مهندسی، معیار مبتنی بر شبیه‌سازی، مدل‌سازی آماری و یادگیری ماشین. یادگیری ماشین، با به کارگیری الگوریتم‌های رایانه‌ای، توانایی یادگیری به کمک داده‌ها را فراهم می‌کند. در سال‌های به دلیل سهولت استفاده و دستیابی به راه حل‌های بهینه به صورت سریع، رویکرد مبتنی بر یادگیری ماشین در رابطه با ارزیابی انرژی ساختمان‌ها، محبوبیت یافته است.

منابع

۱. حبیب، فرح، برزگر، چشمه قصابانی. ۲۰۱۴. رتبه‌بندی پارامترهای موثر بر مصرف انرژی ساختمان با کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۴: ۴۷-۵۳.
2. Allouhi, Amine, Youness El Fouih, Tarik Kousksou, Abdelmajid Jamil, Youssef Zeraoui, and Youssef Mourad. 2015. 'Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends', Journal of cleaner production, 109: 118-30.
3. Amasyali, Kadir ,and Nora M El-Gohary. 2018. 'A review of data-driven building energy consumption prediction studies', Renewable and sustainable energy reviews, 81: 1192-205.
4. Bartlett, Rosemarie, Mark A Halverson, and Diana L Shankle. 2003. "Understanding building energy codes and standards." In.: Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).

5. Benavente-Peces, César, and Nisrine Ibadah. 2020. 'Buildings energy efficiency analysis and classification using various machine learning technique classifiers', *Energies*, 13: 3497.
6. Berardi, Umberto. 2017. 'A cross-country comparison of the building energy consumptions and their trends', *Resources, Conservation and Recycling*, 123: 230-41.
7. Bull, Richard, Nell Chang, and Paul Fleming. 2012. 'The use of building energy certificates to reduce energy consumption in European public buildings', *Energy and Buildings*, 50: 103-10.
8. Chou, Jui-Sheng, and Duc-Son Tran. 2018. 'Forecasting energy consumption time series using machine learning techniques based on usage patterns of residential householders', *Energy*, 165: 709-26.
9. Chung, William. 2012. 'Using the fuzzy linear regression method to benchmark the energy efficiency of commercial buildings', *Applied Energy*, 95: 45-49.
10. Cole, Raymond J, and Paul C Kernan. 1996. 'Life-cycle energy use in office buildings', *Building and environment*, 31: 307-17.
11. Çomaklı, Kemal, and Bedri Yüksel. 2004. 'Environmental impact of thermal insulation thickness in buildings', *Applied Thermal Engineering*, 24: 933-40.
12. De Boeck, Liesje, Stijn Verbeke, Amaryllis Audenaert, and Lisa De Mesmaeker. 2015. 'Improving the energy performance of residential buildings: A literature review', *Renewable and sustainable energy reviews*, 52: 960-75.
13. Dixit, Manish K. 2017. 'Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters', *Renewable and sustainable energy reviews*, 79: 390-413.
14. Ferlito, S, Mauro Atrigna, G Graditi, S De Vito, M Salvato, A Buonanno, and G Di Francia. 2015. "Predictive models for building's energy consumption: An Artificial Neural Network (ANN) approach." In 2015 xviii aitem annual conference, 1-4. IEEE.
15. Fouquier, Aurélie, Sylvain Robert, Frédéric Suard, Louis Stéphan, and Arnaud Jay. 2013. 'State of the art in building modelling and energy performances prediction: A review', *Renewable and sustainable energy reviews*, 23: 272-88.
16. Fumo, Nelson. 2014. 'A review on the basics of building energy estimation', *Renewable and sustainable energy reviews*, 31: 53-60.
17. Gaglia, Athina G, Evangelos N Dialynas, Athanassios A Argiriou, Effie Kostopoulou, Dimitris Tsiamitros, Dimitris Stimoniari, and Konstantinos M Laskos. 2019. 'Energy performance of European residential buildings: Energy use, technical and environmental characteristics of the Greek residential sector—energy conservation and CO₂ reduction', *Energy and Buildings*, 183: 86-104.
18. Gao, Xuefeng, and Ali Malkawi. 2014. 'A new methodology for building energy performance benchmarking: An approach based on intelligent clustering algorithm', *Energy and Buildings*, 84: 607-16.
19. Guyot, Dimitri, Florine Giraud, Florian Simon, David Corgier, Christophe Marvillet, and Brice Tremeac. 2019. 'Overview of the use of artificial neural networks for energy-related applications in the building sector', *International Journal of Energy Research*, 43: 6680-720.
20. Harvey, LD Danny, Katarina Korytarova, Oswaldo Lucon, and Volha Roshchanka. 2014. 'Construction of a global disaggregated dataset of building energy use and floor area in 2010', *Energy and Buildings*, 76: 488-96.
21. Hong, Tianzhen, Le Yang, David Hill, and Wei Feng. 2014. 'Data and analytics to inform energy retrofit of high performance buildings', *Applied Energy*, 126: 90-106.
22. Hsu, David. 2014. 'Improving energy benchmarking with self-reported data', *Building Research & Information*, 42: 641-56.
23. ISIRI 14253, Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 1390. 'Residential Building- Criteria for Energy Consumption and Energy Labeling Instruction.'
24. Kontokosta, Constantine E. 2013. 'Energy disclosure, market behavior, and the building data ecosystem', *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1295: 34-43.
25. ———. 2015. 'A market-specific methodology for a commercial building energy performance index', *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 51: 288-316.
26. Machairas, Vasileios, Aris Tsangrassoulis, and Kleo Axarli. 2014. 'Algorithms for optimization of building design: A review', *Renewable and sustainable energy reviews*, 31: 101-12.

27. Manzan, Marco. 2014. 'Genetic optimization of external fixed shading devices', *Energy and Buildings*, 72: 431-40.
28. Mathew, Paul A, Laurel N Dunn, Michael D Sohn, Andrea Mercado, Claudine Custudio, and Travis Walter. 2015. 'Big-data for building energy performance: Lessons from assembling a very large national database of building energy use', *Applied Energy*, 140: 85-93.
29. Mena, R, F Rodríguez, M Castilla, and Manuel R Arahál. 2014. 'A prediction model based on neural networks for the energy consumption of a bioclimatic building', *Energy and Buildings*, 82: 142-55.
30. Nejat, Payam, Fatemeh Jomehzadeh, Mohammad Mahdi Taheri, Mohammad Gohari, and Muhd Zaimi Abd Majid. 2015. 'A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries)', *Renewable and sustainable energy reviews*, 43: 843-62.
31. Omrany, Hossein, and Abdul Kadir Marsono. 2016. 'Optimization of building energy performance through passive design strategies', *British Journal of Applied Science & Technology*, 13: 1-16.
32. Pablo-Romero, María del P, Rafael Pozo-Barajas, and Rocío Yñiguez. 2017. 'Global changes in residential energy consumption', *Energy Policy*, 101: 342-52.
33. Palmer, Karen, and Margaret Walls. 2017. 'Using information to close the energy efficiency gap: a review of benchmarking and disclosure ordinances', *Energy Efficiency*, 10: 673-91.
34. Papadopoulos, Sokratis, and Constantine E Kontokosta. 2019. 'Grading buildings on energy performance using city benchmarking data', *Applied Energy*, 233: 244-53.
35. Pérez-Lombard, Luis, José Ortiz, and Christine Pout. 2008. 'A review on buildings energy consumption information', *Energy and Buildings*, 40: 394-98.
36. Ribeiro, David. 2018. 'Developments in local energy efficiency policy: a review of recent progress and research', *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 5: 109-15.
37. Santin, Olivia Guerra, Laure Itard, and Henk Visscher. 2009. 'The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock', *Energy and Buildings*, 41: 1223-3.
38. Scofield, John H. 2014. "ENERGY STAR building benchmarking scores: good idea, bad science." In *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 267-82.
39. Seyedzadeh, Saleh, Farzad Pour Rahimian, Ivan Glesk, and Marc Roper. 2018. 'Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review', *Visualization in Engineering*, 6: 1-20.
40. Shibuya, Toshihiko, and Ben Croxford. 2016. 'The effect of climate change on office building energy consumption in Japan', *Energy and Buildings* 59. 117-149
41. Sun, Ying, Fariborz Haghighat, and Benjamin CM Fung. 2020. 'A review of the-state-of-the-art in data-driven approaches for building energy prediction', *Energy and Buildings*, 221: 110022.
42. Tardioli, Giovanni, Ruth Kerrigan, Mike Oates, O'Donnell James, and Donal Finn. 2015. 'Data driven approaches for prediction of building energy consumption at urban level', *Energy Procedia*, 78: 3378-83.
43. Ueno, Tsuyoshi, Ryo Inada, Osamu Saeki, and Kiichiro Tsuji. 2006. 'Effectiveness of an energy-consumption information system for residential buildings', *Applied Energy*, 83: 868-83.
44. Vázquez-Canteli, José R, Stepan Ulyanin, Jérôme Kämpf, and Zoltán Nagy. 2019. 'Fusing TensorFlow with building energy simulation for intelligent energy management in smart cities', *Sustainable Cities and Society*, 45: 243-57.
45. Walls, Margaret, Todd Gerarden, Karen Palmer, and Xian Fang Bak. 2017. 'Is energy efficiency capitalized into home prices? Evidence from three US cities', *Journal of Environmental Economics and Management*, 82. 24-104
46. Wang, Zeyu, and Ravi S Srinivasan. 2017. 'A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models', *Renewable and sustainable energy reviews*, 75: 796-808.
47. Wei, Yixuan, Xingxing Zhang, Yong Shi, Liang Xia, Song Pan, Jinshun Wu, Mengjie Han, and Xiaoyun Zhao. 2018. 'A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption', *Renewable and sustainable energy reviews*, 82: 1. 27-47

48. Xin, Liang, Yuchao Wang, and Huixuan Fu. 2020. 'Omnidirectional mobile robot dynamic model identification by narx neural network and stability analysis using the aplf method', *Symmetry*, 12: 1430.
49. Xuchao, Wu, Rajagopalan Priyadarsini, and Lee Siew Eang. 2010. 'Benchmarking energy use and greenhouse gas emissions in Singapore's hotel industry', *Energy Policy*, 38: 4520-27.
50. Yoshino, Hiroshi, Tianzhen Hong, and Natasa Nord. 2017. 'IEA EBC annex 53: Total energy use in buildings—Analysis and evaluation methods', *Energy and Buildings*, 152: 124-36.
51. Zhao, Xiaoli, Na Li, and Chunbo Ma. 2012. 'Residential energy consumption in urban China: A decomposition analysis', *Energy Policy*, 41: 644-53.
52. Zhou, Junli, Guoqiang Zhang, Yaolin Lin, and Yuguo Li. 2008. 'Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings', *Energy and Buildings*, 40: 979-86.