

کارایی هوش مصنوعی در مدیریت ائتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

جلال اصغری^۱، پرهام معمارزاده^۲

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران،
asghari.ja@yahoo.com

^۲ دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران،
parham.memarzadeh@iau.ac.ir

چکیده

انرژی یکی از بحث‌های داغ و چالش‌های مهم پیشرو است که امروزه با افزایش جمعیت و مصارف نادرست با آن مواجه خواهیم بود. بیشترین مصرف انرژی را امروزه در بخش ساختمان‌های مسکونی به دلیل افزایش جمعیت و ساخت و سازهای وسیع مشاهده می‌کنید. بنابراین محققین در تلاش هستند با ارائه طرح‌های نو و کارآمد بتوانند مصرف انرژی را کنترل نمایند. برای این منظور و ارائه طرحی نو و کارآمد ابتدا باید با پارامترهای تاثیرگذار آشنا شد و از مهمترین پارامترها می‌توان به نوع معماری، مصالح تشکیل‌دهنده، شرایط جغرافیایی و محیط‌زیست و... اشاره کرد. در کنار مبحث داغ انرژی، یکی از مباحثی که امروزه در تلاش است تا در تار و پود تمام حوزه‌ها تنیده شود، هوش مصنوعی است. در زمینه هوش مصنوعی امروزه پیشرفت‌های وسیعی صورت گرفته و علاقه بسیاری را به خود جلب کرده است. محققین از هوش مصنوعی امروزه در جهت کنترل انرژی و ارزیابی سازه و... استفاده کرده و با ایجاد شبکه‌های عصبی چندلایه و ورودی‌های معتبر سعی بر آموزش دادن این شبکه‌ها دارند. ارزیابی مصرف انرژی و رتبه‌بندی برای وسایل مختلف در سراسر دنیا انجام می‌شود و کاری اسان است اما در ارتباط با سازه‌ها از نظر مصرف انرژی باید کمی تخصصی‌تر نگاه شود زیرا که همچون رتبه‌بندی وسایل اسان نخواهد بود. در جهت ارزیابی و رتبه‌بندی مصرف انرژی در سازه، پارامترهای زیادی دخیل است که باید به تمام آن‌ها توجه شود. هدف اصلی پیشرو آشنایی با برخی مفاهیم و مهمتر از آن آشنایی با هوش مصنوعی است.

کلمات کلیدی

هوش مصنوعی، انرژی تجدیدپذیر، ساختمان مسکونی

هستند و اگر در مصارف آن‌ها کنترل‌های لازم صورت نگیرد و یا جایگزینی ایجاد نشود به سرعت پایان می‌یابند و نسل‌های آینده با مشکلات فراوانی روبه‌رو خواهند شد. بنابراین تنوع در محصولات و رقابت بین آن‌ها برای بهتر شدن و کم مصرف‌تر شدن وجود دارد.

هوش مصنوعی امروزه توانسته اکثریت مردم دنیا را شیفته‌ی خود کند و به دلیل کارایی بالایی که دارد بتواند در تمام حوزه‌ها راه پیدا کند. به هر سمت و سویی که نگاه شود ردپای هوش مصنوعی در آن دیده می‌شود و به گونه‌ای است که تمام شرکت‌های بزرگ نرم‌افزاری در حال به روزرسانی خود و ارائه‌ی ورژن‌های جدید نرم‌افزارهای طراحی با هوش مصنوعی هستند تا کاربران در طراحی‌هایی که انجام می‌دهند بتوانند از هوش مصنوعی کمک بگیرند. این سرعت فراگیری هوش مصنوعی به صنعت ساختمان نیز رسیده و باعث شده است تا از آن در جهت مدیریت مصرف انرژی در ساختمان کمک گرفته شود. اما قبل از هر چیزی شناخت پارامترهای تاثیرگذار جزء اولویت‌های اول محسوب می‌شود و این

۱- مقدمه

در دنیایی که زندگی می‌کنیم تکنولوژی سوار بر قطاری به سرعت در حال رشد و توسعه است و مقصدی که در پیش گرفته قابل پیش‌بینی نیست. امروزه رقابت کاری سخت و دشوار است و برای بهتر بودن نیاز به خلاقیت و برنامه‌نویسی وجود دارد. به وضوح می‌توان گفت که پیشرفت تکنولوژی با افزایش جمعیت و افزایش جمعیت با افزایش مصرف انرژی رابطه‌ی مستقیمی دارد. رفته رفته انرژی به یکی از مسائل مهم بشر تبدیل شده است چراکه نمی‌توان منکر نیاز انسان‌ها به انرژی شد و از طرفی هم با اختراع وسایل گوناگون نیاز به انرژی روز به روز احساس می‌شود. در دهه‌های اخیر صنعت ساخت و ساز رشد بسیاری داشته و مصرف انرژی در بخش مسکونی سهم زیادی را به خود اختصاص داده است. بنابراین محققین به دنبال راه‌حلی هستند که بتوانند مصارف انرژی را کنترل نمایند چراکه منبع اصلی تمام این سوخت‌ها، سوخت‌هایی تجدیدناپذیر

پارامترهای تاثیرگذار شامل: نوع معماری، مصالح تشکیل دهنده (تعداد باز شو و مصالحی که به عنوان عایق حرارتی به کار گرفته شده یا خیر و...)، شرایط جغرافیایی و محیط زیست و... می باشد. محققین با بررسی پارامترهای مهم و به کمک هوش مصنوعی و الگوریتم های فراابتکاری مختلف توانسته اند داده ها و پارامترهای وسیعی را مدیریت نمایند که سرانجام این مدیریت، نوآوری و یا بهینه سازی پیشنهادات قبلی می باشد که در ارتباط با پیش بینی مصرف انرژی در سازه عملکرد خوبی به همراه داشته است.

مدیریت هوشمند سازه ها یک فناوری جدید در امر کنترل مصرف انرژی می باشد. که علاوه بر کاهش مصرف انرژی، امنیت و اسایش را نیز به دنبال خواهد داشت و کاهش هزینه در جهت نگهداری سازه را به همراه داشته و توجه ای ویژه ای نیز به محیط زیست دارد. به کمک این روش دیگر روش سنتی که در گذشته مورد استفاده قرار می گرفت کنار گذاشته شده و نارضایتی از مدیریت ساختمان نیز کاهش می یابد. در روش های سنتی که در گذشته مورد استفاده قرار می گرفت گاهی مواقع عدم همکاری بین ساکنین به وجود می آمد و در نتیجه ای آن مشکلات زیادی از جمله: پرداخت نکردن شارژ و... صورت می گرفت ولی با هوشمند سازی ساختمان ها علاوه بر دسترسی های یکسان ساکنین به امکانات، در زمان نیز صرفه جویی کرده و از سوء تفاهم ها و درگیری ها و... جلوگیری به عمل می آید. در این مقاله به دنبال شناخت بیشتر در ارتباط با مدیریت هوشمند ساختمان ها و پارامترهای مهم و تاثیرگذار و مهمتر از آن آشنایی با هوش مصنوعی خواهیم بود چرا که بدون داشتن درک اولیه درست از موضوع پیش رفتی حاصل نخواهد شد و در انتها از تمام مطالبی که بیان می شود به یک جمع بندی کلی می توان رسید.

۲- پیشینه پژوهش

Samadi و همکاران در سال (۲۰۱۰)، الگوریتمی جهت قیمت گذاری معرفی کردند که حداقل و حداکثر میزان هزینه های مصرف انرژی را نشان دهد [۱]. Dounis در سال (۲۰۱۰)، در ارتباط با هوش مصنوعی و سیستم های خبره در پژوهش خود توضیحاتی ارائه نموده و از هوش مصنوعی به عنوان ابزاری کارآمد در جهت طراحی یاد نموده است [۲]. Pablo Romero و همکاران در سال (۲۰۱۷)، پژوهشی در زمینه مصرف انرژی در بخش ساختمان های مسکونی به صورت جهانی انجام دادند. نتایج کار آن ها بیانگر آن بود که ساختمان های مسکونی مهمترین عامل و تاثیر را در تولید و پخش دی اکسید کربن دارند [۳]. Shakeri و همکاران در سال (۲۰۱۸)، الگوریتمی معرفی کردند برای خانه های هوشمند مجهز به سلول خورشیدی که تمامی مصرف لوازم مورد استفاده در خانه را تحت کنترل گرفته و در مصرف صرفه جویی به عمل آید [۴]. Naji و همکاران در سال (۲۰۱۶)، پژوهشی در زمینه یادگیری ماشین و ارزیابی مصرف انرژی انجام دادند. آن ها به کمک روش سیستماتیک مدلی جهت ارزیابی مصرف انرژی ELM مورد پژوهش قرار دادند که نتایج کار آن ها بیانگر این بود که از این روش می توان برای ارزیابی مصارف ساختمان با دادن داده هایی در ورودی استفاده کرد [۵]. Allouhi و همکاران در سال (۲۰۱۵)، پژوهشی در زمینه مصرف انرژی و بررسی جنبه های مختلف بهره روری انجام دادند که عبارت بودند از داده های واقعی، داده های رسمی از چند منبع، گزارش اطلاعات مصرف انرژی به صورت روزانه در بخش های ساختمان و با تجزیه و تحلیل اطلاعات بدست آمده قصد پیدا کردن عوامل موثر بر مصرف انرژی را داشتند [۶]. Aliero و همکاران در سال (۲۰۲۱)، پژوهشی در زمینه بررسی سیستم مدیریت خانه های هوشمند در جهت

شناخت چالش های پیش رو انجام دادند. نتایج پژوهش آن ها بیانگر این بود که عدم رعایت برخی ویژگی ها مانند حریم خصوصی و امنیت و... باعث خطرات متعدد از جمله سلامتی و... برای ساکنین می شود [۷]. Wang و همکاران در سال (۲۰۱۷)، پژوهشی در زمینه هوش مصنوعی و ارزیابی مصرف انرژی انجام دادند. نتایج حاصل از پژوهش آن ها بیانگر این بود که امکان وجود دو دسته بودن مدل های مبتنی بر هوش مصنوعی به صورت گروهی و منفرد جهت ارزیابی وجود دارد [۸]. Hasan و همکاران در سال (۲۰۲۲)، پژوهشی در زمینه توسعه سیستم مدیریت خانه های هوشمند انجام دادند و در آن جهت حداکثر سازی مصرف انرژی از پل های خورشیدی استفاده کردند [۹]. Cole و Kernan در سال (۱۹۹۶)، پژوهشی در زمینه مصرف انرژی انجام دادند و برای این منظور از یک ساختمان سه طبقه استفاده کردند [۱۰]. سیدزاده و همکاران در سال (۲۰۱۸)، پژوهشی در زمینه یادگیری ماشین و تخمین انرژی انجام دادند. آن ها در این پژوهش از چهار روش از جمله رگرسیون خطی و خوشه بندی استفاده کردند که در تخمین ارزیابی انرژی مصرفی ساختمان امکان دارد مورد استفاده قرار گیرد [۱۱]. Shibuya و Croxford در سال (۲۰۱۶)، پژوهشی در زمینه تاثیر اقلیم بر مصرف انرژی انجام دادند که برای این منظور از ساختمان های اداری استفاده کردند. نتایج حاصل از پژوهش آن ها کمک فراوانی در زمینه های مختلف به طراحان، برنامه ریزان و... در جهت مصرف انرژی و تولید کرد [۱۲].

Ardalan و همکاران در سال (۲۰۲۲)، پژوهشی در ارتباط با تبدیل برق از AC به DC انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در صورت تبدیل پی در پی برق باعث اتلاف انرژی بسیاری خواهد شد و مهمترین مصرف در بخش مسکونی می باشد [۱۳]. Tran و Chou در سال (۲۰۱۸)، پژوهشی در زمینه هوش مصنوعی و ارزیابی مصرف انرژی انجام دادند. آن ها به کمک داده های واقعی که جمع اوری آن ها از طریق یک شبکه ی هوشمندی آزمایشی در یک ساختمان بود موفق به پی بردن کاربرد و اثرات استفاده از هوش مصنوعی در ارزیابی مصارف انرژی شدند [۱۴]. Haroun و همکاران در سال (۲۰۲۱)، پژوهشی در زمینه هوش مصنوعی و اینترنت اشیا انجام دادند که در این پژوهش پی بردند که سیستم دارای سنسور خود پایدار که تشکیل شده از حسگرهای نانو و برداشت کننده ی انرژی نانو به اینترنت اشیا کمک فراوانی می کند [۱۵]. Papadopoulos و Kontokosta در سال (۲۰۱۹)، موفق به درجه بندی سازه ها شدند و برای این منظور از عملکرد انرژی مرتبط به داده های شهر استفاده کردند و روشی جدید برای اندازه گیری و همچنین سیستم درجه بندی سبز از سوی آن ها معرفی شد [۱۶]. Luo و همکاران در سال (۲۰۱۸)، برای خانه های تجهیز شده با سلول خورشیدی، مدل HEMS که دارای سه مرحله بود را در نظر گرفتند تا مصرف برق را به حداقل برسانند [۱۷]. Zhao و همکاران در سال (۲۰۱۶)، پژوهشی در زمینه مصرف انرژی در چین انجام دادند و برای این منظور از ساختمان های مسکونی استفاده کردند. نتایج کار آن ها بیانگر این بود که در بخش مسکونی نیازمند نظارت بر مصرف درست انرژی احساس می شود و سیاست حفاظت از انرژی باید رواج پیدا کند [۱۸].

۳- مصرف انرژی

انرژی که در بخش های مختلف مسکونی و تجاری در حال حاضر مصرف می شود از نوع سوخت های فسیلی و تجدید ناپذیر می باشد که دی اکسید کربن را به همراه خواهد داشت و دی اکسید کربن را می توان

یکی از گازهای اصلی گلخانه‌ای و تغییردهنده‌ی شرایط جوی دانست. برای جلوگیری و کاهش آسیب به محیط‌زیست بهتر است از انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های کارآمد در طراحی ساختمان‌ها استفاده شود [۱۹].

۴- آشنایی با انرژی‌های تجدید ناپذیر و تجدیدپذیر

معنی و مفهوم کلی انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر در پایان یافتن انرژی و چرخه‌ی تولید این انرژی‌ها خلاصه می‌شود و انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزینی مناسب برای انرژی‌های تجدید ناپذیر می‌باشد. از معروف‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر که امروز مورد استفاده قرار می‌گیرد انرژی خورشید است که با ساخت پنل‌های خورشیدی و قرار دادن آن بر روی بام‌ها، نور خورشید را ذخیره کرده و در جهت مصرف ساختمان و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به وجود فصول مختلف و تنوع آب و هوایی در ایران نسبت به دیگر کشورهای دنیا و همچنین وجود مناطق کویری وسیع و... این امکان وجود دارد تا به سمت انرژی‌های مختلف تجدیدپذیر حرکت کند و ظرفیت تولید انرژی از این طریق افزایش پیدا کند. باد یکی دیگر از انرژی‌های تجدیدپذیر است که از دیرباز در مصارف مختلف همچون حرکت کشتی، آسیاب، ایجاد توربین‌های بادی جهت تولید برق و... کاربرد داشته و متناسب با منطقه‌ی جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵- روش شناسایی اتلاف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

برای پی بردن به اتلاف انرژی در ساختمان مسکونی لازم است تا بررسی کاملی صورت بگیرد و سپس بررسی صورت گرفته به کمک یک الگو ایده‌الی که از یک ساختمان در اختیار بوده مورد مقایسه قرار داده شود تا اتلاف انرژی مشخص شود. اگر این بررسی‌ها به طور دقیق صورت گیرد به عنوان راهنما و دستورالعملی کاربردی در اختیار کنترل‌گرهای مصرف انرژی خانه‌های هوشمند قرار گرفته و باعث می‌شود وظیفشان را به درستی انجام دهند [۲۰]. بعضی از روش‌های شناسایی منابع اتلاف انرژی:

- نوع مصالح و میزان عایق: در انتخاب نوع مصالح باید دقت کافی وجود داشته باشد چراکه عایق‌هایی که در مناطق مختلف استفاده می‌شود با یکدیگر متفاوت هستند برای مثال در مناطق مرطوب، عایق رطوبتی صورت گیرد و میزان عایق هم با توجه به شرایط جوی و حفظ حرارت داخل ساختمان ممکن است متفاوت باشد.
- در اختیار داشتن اطلاعات سازه‌ای ساختمان: با در اختیار داشتن اطلاعات سازه‌ای و نوع مصالح و سیستم سازه‌ای و ... دید بهتر و تسلط کافی به ساختمان داشته و راحت‌تر می‌شود پی به اتلاف انرژی برد.
- روشنایی و بررسی وسایل داخلی ساختمان: با توجه به مباحث مقررات ملی و به کمک جدول‌هایی که در زمینه‌ی روشنایی تهیه و در اختیار مهندسین و عموم قرار داده شده می‌توان بهترین شدت روشنایی را برای قسمت‌های مختلف ساختمان تشخیص

داده و مورد استفاده قرار داد. همچنین با بررسی میزان مصرف برق وسایل مختلف در یک ماه و اختصاص دادن به همان اندازه برق در اختیار وسایل از اتلاف انرژی جلوگیری نمود.

۶- ارزیابی انرژی ساختمان

برای ارزیابی انرژی ساختمان می‌توان از محاسبات مهندسی، یادگیری ماشین و روش آماری استفاده کرد. به ترتیب برابر است با:

- محاسبات مهندسی: یک روش دقیق جهت استخراج مصرف انرژی با در نظر گرفتن تمام پارامترهای خارجی و داخلی ساختمان به کمک محاسبات پیچیده ریاضی و شبیه‌سازی آن به کمک مدل‌های نرم‌افزاری از جمله نورپردازی و تهویه و سیستم‌های مختلف مانند گرمایشی و...
 - یادگیری ماشین: به کمک الگوریتم‌های مختلف و ایجاد شبکه‌های عصبی و داده‌هایی که به عنوان ورودی جهت آموزش استفاده می‌شود، توانایی یادگیری امکان‌پذیر می‌شود.
 - روش آماری: به کمک اطلاعات و داده‌هایی که در گذشته به ثبت رسیده جهت مدل‌سازی مصرف انرژی و رگرسیون خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۷- انواع یادگیری ماشین

یادگیری به سه دسته تقسیم می‌شود:

- تحت نظارت در این روش با در دست داشتن مقداری داده جهت آموزش که ورودی‌های مشخص، خروجی‌های قابل پیش‌بینی تولید کند.
 - بدون نظارت همانند خوش‌بندی می‌باشد و داده‌هایی مشخص موجود نباشد.
 - تقویتی در این روش با تعامل با محیط به دنبال رفتار مطلوب می‌باشد و مابین روش تحت نظارت و بدون نظارت است.

۸- انواع روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش

مصنوعی

- منفرد از یک الگوریتم جهت یادگیری استفاده می‌کنند و تشکیل شده است از شبکه‌های عصبی، رگرسیون خطی و چندگانه و...
 - گروهی شامل دو نوع دسته‌بندی و رای گیری می‌باشد که از چندین مدل پیش‌بینی جهت تعیین داده‌های خروجی استفاده می‌شود.
 - ترکیبی از ترکیب دو یا چند تکنیک یادگیری ماشین استفاده می‌شود که معمولاً تکنیک یادگیری را با الگوریتم‌های بهینه‌ساز ترکیب می‌کند.

۹- معایب و مزایای پیش‌بینی انرژی مبتنی بر

هوش مصنوعی

معایب:

- استفاده از این روش در فرایند طراحی ساختمان کمی دشوار است زیرا نیازمند داده‌های آماری و از قبل موجود می‌باشد
 - نیازمند داده‌های وسیع جهت آموزش
 - هرگونه تغییری نیازمند طی کردن فرایند دوباره‌ی آموزش می‌باشد
 - ...
- مزایا:
- نسبت به روش مهندسی می‌توان گفت که به اطلاعات کمتری از ساختمان احتیاج داد.
 - نیاز به دانش و سطح علمی بالا جهت اشنایی با پارامترهای ساختمان برای توسعه‌ی مدل نیست
 - باعث کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان می‌شود
 - بارگذاری و ایجاد مدل پیش‌بینی به راحتی قابل انجام است
 - ...

۱۰- نتیجه‌گیری

بررسی‌هایی که توسط محققین صورت گرفته نشانه از بیشترین مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و در پی آن انتشار دی اکسید کربن را به همراه داشته که باعث به خطر افتادن محیط‌زیست و تغییرات در شرایط آب و هوایی شده است. سوخت‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد معمولاً از نوع سوخت‌های فسیلی می‌باشند و این نوع سوخت‌ها در دسته انرژی‌های تجدیدناپذیر قرار گرفته‌اند. با پیشرفت‌هایی که در تکنولوژی صورت گرفته محققین به دنبال جایگزین کردن انرژی‌های تجدیدناپذیر با انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند تا خطرات وارد بر محیط‌زیست را کاهش داده و از اتمام منابع سوخت‌های فسیلی جلوگیری نمایند. یکی از راهکارهایی که امروزه شاهد آن هستیم استفاده از پنل‌های خورشیدی در قسمت بام ساختمان‌ها می‌باشد تا با ذخیره‌ی نور خورشید در طی روز بتواند مصارف انرژی ساختمان را تامین نمایند. اما این چرخه‌ی تامین انرژی زمانی کارایی بهتری پیدا می‌کند که توانایی کنترل مصرف انرژی و درست استفاده کردن انرژی را نیز به همراه داشته باشد. مدیریت انرژی در ساختمان‌ها باعث می‌شود تا دید وسیع‌تر و اطلاع دقیق‌تری از مصرف انرژی نسبت وسایل داخل ساختمان پیدا کرده و علاوه بر آن در هزینه‌ها نیز صرفه‌جویی نماید.

امروزه محققین به روش‌های مختلف در تلاش هستند تا این مدیریت انرژی را به شکل بهینه‌تر تحت کنترل خود قرار دهند برای این منظور از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین و الگوریتم‌های مختلف و پلتفرم ... کمک گرفته‌اند تا آرامش و امنیت و راحتی را برای ساکنین به وجود بیاورند. پیشرفت و کارایی هوش مصنوعی در این چند دهه غیرقابل پیش‌بینی و متعجب کننده بوده و تمام زمینه‌های پژوهشی و نرم‌افزاری را در بر گرفته است. محققین به کمک جمع‌آوری داده‌های واقعی و آموزش دادن شبکه‌های عصبی در تلاش هستند تا از اتلاف انرژی جلوگیری کرده و به صورت خودکار مصرف انرژی را کنترل نمایند و هزینه‌ها را کاهش داده و کارایی و دسترسی‌ها را بدون محدودیت فاصله‌ی زمانی افزایش دهند و مهم‌تر از همه آسیب‌هایی که به

محیط زیست وارد می‌شود را به حداقل برسانند. البته پیشرفت‌هایی در این راه حاصل شده اما این راه همچنان نیاز به تکمیل شدن دارد. البته ناگفته نماند که با گسترش و هوشمندسازی شهرها و دستیابی به انرژی‌های پایدار، نیازمندی به هوش مصنوعی جهت مدیریت، بیشتر از قبل احساس خواهد شد.

۱۱- مراجع

- [۱] Samadi, P., "Optimal real-time pricing algorithm based on utility maximization for smart grid. in 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications", IEEE, 2010.
- [۲] Dounis, A. I., "Artificial intelligence for energy conservation in buildings. Advances in Building Energy Research", no. 4(1), pp. 267-299, 2010.
- [۳] Pablo-Romero, M. d., Pozo-Barajas, R. & Yñiguez, R., "Global changes in residential energy consumption. Energy Policy", vol. 101, pp. 342-352, 2017.
- [۴] Shakeri, M., "Implementation of a novel home energy management system (HEMS) architecture with solar photovoltaic system as supplementary source", Renewable energy, vol. 120, pp. 120-138, 2018.
- [۵] Naji, S., Keivani, A., Shamshirband, S., Alengaram, U. J., Jumaat, Z. M., Mansor, Z. & Lee, M., "Estimating building energy consumption using extreme learning machine method". Energy, vol. 97, pp. 506-516, 2016.
- [۶] Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y., "Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. Journal of cleaner production", vol. 109, pp. 118-130, 2015.
- [۷] Aliero, M. S., "Smart Home Energy Management Systems in Internet of Things networks for green cities demands and services". Environmental Technology & Innovation. Vol. 109, pp. 118-130, 2021.
- [۸] Wang, Z., & Srinivasan, R. S., "A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models". Renewable and sustainable energy reviews, vol. 75, pp. 796-808, 2017.
- [۹] Hasan, M., "Smart Home Automation System Powered by Renewable Energy". in 2022 IEEE International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE). IEEE, 2022.
- [۱۰] Cole, J. R., & Kernan, P. C., "Life-cycle energy use in office buildings". Building and environment, vol. 31, no. 4, pp. 307-317, 1996.
- [۱۱] Seyedzadeh, S. S., Rahimian, F. P., Glesk, I., & Roper, M., "Machine learning for estimation of building energy consumption and performance: a review". Visualization in Engineering, vol. 6, no. 1, pp. 1-20, 2018.
- [۱۲] Shibuya, T., & Croxford, B., "The effect of climate change on office building energy consumption in Japan". Energy and Buildings, vol. 117, pp. 149-159, 2016.
- [۱۳] Ardalan, C., "Pave the way for sustainable smart homes: A reliable hybrid AC/DC electricity infrastructure". Electric Power Systems Research. Vol. 210, pp. 108-128, 2022.
- [۱۴] Chou, J. S., & Tran, D. S., "Forecasting energy consumption time series using machine learning techniques based on usage patterns of residential householders". Energy, vol. 165, pp. 709-726, 2018.
- [۱۵] Haroun, A., "Progress in micro/nano sensors and nanoenergy for future AIoT-based smart home applications", Nano Express. Vol. 2, no. 2, 2021.
- [۱۶] Papadopoulos, S., & Kontokosta, C. E., "Grading buildings on energy performance using city benchmarking data". Applied Energy, vol. 233, pp. 244-252, 2019.
- [۱۷] Luo, F., "A multistage home energy management system with residential photovoltaic penetration". IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018, 15(1): p. 126-136, 2018.

- [١٨] Zhao, X., Li, N., & Ma, C., "Residential energy consumption in urban China: A decomposition analysis". *Energy Policy*, vol. ٤١, pp. ٦٤٤-٦٥٣, ٢٠١٢.
- [١٩] Valine-jadshoubi, M., "Application of BIM Concept in the Design of Energy-Efficient Buildings Lecture Available". ٢٠١٥.
(<https://www.researchgate.net/publication/٢٢٠٦٠٨٠٢٥>)
- [٢٠] Aminzadeh, R., "Energy Consumption Management Methods in Residential Buildings", National Conference on Energy Consumption Optimization in Science and Engineering, Babol. ٢٠١٤. (in Persian).