فصلنامه معماری سبز
سال هشتم، شماره ۱ (پیاپی: ۲۸)، بهار ۱۴۰۱، جلد دو
ISSN:2476-5368

کاربرد ابزار هوش مصنوعی در پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان

یاسر شهبازی[1*]، سحر حسین‌پور[2]، محسن مختاری کشاور[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵
کد مقاله: ۱۲۶۱۷

چکـیده

مصرف انرژی در بخش ساختمان‌ها به‌ویژه در ساختمان‌های مسکونی به دلیل توسعه اجتماعی و شهرنشینی، بیشترین سهم را در بین کلیه بخش‌های مصرف به خود اختصاص داده است. از فاکتورهای تعیین‌کننده‌ی میزان مصرف انرژی در ساختمان می‌توان به شرایط آب و هوایی و اقلیمی محل احداث ساختمان، مواد و مصالح بکار رفته در پوسته و جداره‌های خارجی ساختمان، نوع معماری و سازه ساختمان، تأسیسات مرکزی ساختمان(گرمایش، سرمایش، تهویه مطبوع و روشنایی)، لوازم و تجهیزات مصرف‌کننده (لوازم برقی و تجهیزات اداری) اشاره نمود. ازاین‌رو استفاده بهینه و ممانعت از هدر رفتن امکانات و گام برداشتن در جهت صرفه‌جویی و افزایش کارایی ساختمان، امری اساسی است. داده‌های بزرگ، منابع محاسباتی قدرتمند و مقرون به‌صرفه و الگوریتم‌های پیشرفته یادگیری ماشین در دهه‌های گذشته مورد تحقیق در بخش ساختمان‌ها بوده‌اند و پتانسیل خود را برای افزایش کارایی ساختمان نشان داده‌اند. اخیراً، هوش مصنوعی و به‌طورکلی تکنیک‌های یادگیری ماشین به‌طور خاص در پیش‌بینی و عملکرد انرژی ساختمان نقش مؤثری داشته و به همین ترتیب می‌توانند در بحث مصرف انرژی، مدیریت، صرفه‌جویی‌تر مصرف و در نهایت ایجاد راحتی و آسایش نقش بسزایی داشته باشند. هدف از این پژوهش، شناسایی ابزارهای هوش مصنوعی و کاربرد آن‌ها در بررسی مصرف انرژی می‌باشد.

پرتال جامع علوم انسانی

واژگـان کلـیدی: هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، مصرف انرژی، روش‌های پیش‌بینی

۱- دانشیار دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول) *y.shahbzi@tabriziau.ac.ir*
۲- دانشجوی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
۳- مدرس دانشگاهن هنر اسلامی تبریز

۱- مقدمه

ساختمان‌ها بخش عمده‌ای از مصرف انرژی کشور و انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهند. به‌عنوان‌مثال، بخش‌های مسکونی و تجاری / سازمانی کانادا تقریباً ۲۷/۳ درصد از کل انرژی ثانویه کشور را در سال ۲۰۱۳ مصرف کردند. در بین هر دو بخش، انرژی مورد نیاز برای گرمایش فضا، خنک‌کننده فضا و نیاز به آب گرم ۲۱٪ از کل مصرف انرژی ثانویه را تشکیل می‌دهد(NRCan 2007). در نتیجه، انرژی مورد نیاز برای حفظ شرایط داخلی در ساختمان قسمت قابل‌توجهی از کل مصرف انرژی و انتشار گلخانه را تشکیل می‌دهد. بنابراین، افزایش بهره‌وری انرژی و استفاده در ساختمان‌ها برای پایداری کلی ما از اهمیت زیادی برخوردار است(Handbook 2009). پیش‌بینی مصرف انرژی در یک ساختمان موجود برای پاسخ به تقاضا، تشخیص عیب، کنترل پیش‌بینی مدل ، بهینه‌سازی و مدیریت انرژی ضروری است(Handbook 2009). در دو دهه گذشته، از روش‌های مختلف پیش‌بینی برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان‌ها استفاده شده است(Ahmad et al. 2014; Biswas, Robinson, and Fumo 2016; Lü et al. 2015) که این روش‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های مهندسی، روش‌های آماری و روش‌های هوش مصنوعی. از این میان، بیشترین استفاده از روش‌های هوش مصنوعی(Chou and Tran 2018) و یادگیری ماشین است. یادگیری ماشین به‌طور کلی برای توصیف الگوریتم رایانه‌ای استفاده می‌شود که از داده‌های موجود درس می‌گیرد. این الگوریتم‌ها معمولاً از مقدار قابل توجهی‌داده و تعداد نسبتاً کمی از ویژگی های ورودی برای فرایند یادگیری استفاده می کنند. در سال های اخیر، تکنیک‌های زیادی مبتنی بر یادگیری ماشین، در بخش ساختمان برای تخمین بارهای گرمایش و سرمایش، مصرف و عملکرد انرژی برای شرایط مختلف ارائه شده است(Seyedzadeh et al. 2018). روش پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی، استفاده از انرژی ساختمان را با توجه به متغیرهای همبسته آن مانند شرایط محیطی، مشخصات ساختمان و وضعیت اشغال پیش‌بینی می کند(Wang and Srinivasan 2017).

۲- پیشینه پژوهش

پیشینه و تاریخچه این پژوهش به صورت خلاصه در جدول۱ زیر آمده است.

جدول ۱- پیشینه پژوهش (مأخذ: نگارنده)

عنوان پژوهش	نتیجه پژوهش
مروری بر کاربردهای شبکه عصبی مصنوعی[1] و ماشین بردار پشتیبان[2] و برای پیش‌بینی مصرف انرژی الکتریکی ساختمان(Ahmad et al. 2014)	این مقاله به بررسی پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان با استفاده از روش‌هوش مصنوعی می‌پردازد. این روش در حال حاضر در زمینه پیش‌بینی انرژی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و با توجه به مزیت آن برای مقابله با پیچیدگی سیستم ساختمان‌ها که تحت تاثیر بسیاری از پارامترهای ساختمان است، مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. در میان روش‌های هوش مصنوعی، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان از جمله مدل‌های پرکاربرد هستند. دقت تحلیل پیش‌بینی‌در این مطالعه در اولویت قرار دارد هم چنین در این مطالعه، روش ترکیبی پیشنهادی با سایر روش‌های منفرد برای اعتبارسنجی عملکرد روش ترکیبی مقایسه شد.
پیش‌بینی سری‌های زمانی مصرف انرژی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین بر اساس الگوهای استفاده خانوارهای مسکونی(Chou and Tran 2018)	این تحقیق مروری جامع از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی سری‌های زمانی مصرف انرژی با استفاده از داده‌های واقعی ارائه می‌کند. داده‌های زمان واقعی از یک شبکه هوشمند که در یک ساختمان آزمایشی نصب شده بود جمع آوری شد و برای ارزیابی کارایی و اثربخشی تکنیک‌های آماری و یادگیری ماشینی استفاده شد. تکنیک‌های شناخته شده هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در سناریوهای منفرد و گروهی استفاده شد. یک بررسی و تحلیل عمیق از مدل ترکیبی که تکنیک‌های پیش‌بینی و بهینه سازی را ترکیب می‌کند، ارائه شده است. مقایسه جامع نشان می‌دهد که مدل ترکیبی‌دقیق‌تر از مدل‌های تک و مجموعه است.
مروری بر پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان مبتنی بر هوش مصنوعی: تضاد قابلیت‌های مدل‌های پیش‌بینی منفرد [3] و گروه[4](Wang and Srinivasan 2017)	این مقاله اصول، کاربردها، مزایا و محدودیت های روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی را تشریح می‌کند. در این مقاله، یک بررسی کامل از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان با تمرکز ویژه بر روش‌های پیش‌بینی گروه ارائه شده است. روندهای تحقیقاتی فعلی روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی از پنج جنبه، یعنی نوع ساختمان، روش‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی، نوع انرژی‌های پیش‌بینی‌شده، مقیاس زمانی پیش‌بینی و نوع داده‌های ورودی مورد استفاده برای پیش‌بینی تحلیل می‌شوند. دو دسته اصلی از روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی، یعنی روش‌های پیش‌بینی منفرد و روش‌های پیش‌بینی

1 Artificial Neural Networks (ANN)
2 Support Vector Machine (SVM)
3 Singel Model
4 Ensemble Model

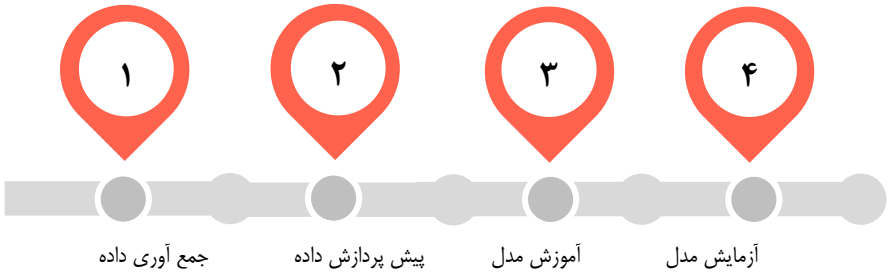
عنوان پژوهش	نتیجه پژوهش
	گروه مورد بحث و مقایسه قرار می‌گیرند.
مدل‌های مرسوم و مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف انرژی: مروری(Wei et al. 2019)	این مقاله به بررسی مدل‌های مرسوم و مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی مورد استفاده در پیش‌بینی مصرف انرژی می‌پردازد. طبقه بندی مدل‌ها در این مقاله انجام شده و افق، منطقه کاربردی و دقت پیش‌بینی مدل‌ها نیز مورد بحث قرار گرفته است. ۶۸ درصد معمولی مدل‌ها برای پیش‌بینی مصرف انرژی سالانه استفاده می‌شوند و ۶۴ درصد آن‌ها در سطح ملی استفاده می‌شود. مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی‌در تمام افق‌های پیش‌بینی و حوزه‌های کاربردی قوی و در مقیاس کامل هستند.
یادگیری ماشین برای تخمین مصرف انرژی و عملکرد ساختمان:مروری(Seyedzadeh et al. 2018)	این مقاله مروری اساسی بر روی چهار رویکرد اصلی یادگیری ماشین از جمله شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون‌های مبتنی بر گاوس و خوشه‌بندی ارائه می‌کند که معمولاً در پیش‌بینی و بهبود عملکرد انرژی ساختمان استفاده می‌شوند. علاوه بر این، چندین تکنیک پیش پردازش به کار رفته در مدل‌ها برای افزایش دقت پیش‌بینی به خوبی مورد بحث قرار گرفت.
روش‌های گروه برای پیش‌بینی سری‌های زمانی(Allende and Valle 2017)	گروه‌ها به عنوان یکی از موفق ترین رویکردها برای کارهای پیش‌بینی شناخته می‌شوند. این مقاله نوع جدیدی از مجموعه‌ها را توصیف می‌کند که هدف آن بهبود عملکرد پیش‌بینی این رویکردها در پیش‌بینی سری‌های زمانی است.
پیش‌بینی مصرف انرژی در ساختمان‌ها با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی: مروری(Runge and Zmeureanu 2019)	این مقاله با تمرکز ویژه بر بررسی کاربردها، داده‌ها، مدل‌های پیش‌بینی و معیارهای عملکرد مورد استفاده در ارزیابی‌های مدل، مروری بر مطالعات منتشر شده از سال ۲۰۰۰ ارائه می‌کند که از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف انرژی و تقاضای ساختمان استفاده کرده‌اند. نتیجه‌گیری نشان می‌دهد که اکثر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی یک مدل مبتنی بر جعبه سیاه بوده‌اند که از یک شبکه عصبی پیش‌خور استفاده می‌کنند.
معماری و روش‌های یادگیری عمیق [1]شبکه‌های عصبی: با استفاده از مدل‌های مبتنی بر مؤلفه در پیش‌بینی انرژی طراحی ساختمان(Singaravel, Geyer, and Suykens 2017)	این مطالعه معماری‌های یادگیری عمیق و روش‌های توسعه را در زمینه مدل‌سازی مبتنی بر مولفه برای پیش‌بینی تقاضای انرژی گرمایش و سرمایش ساختمان ارزیابی می‌کند. رویکرد مدل‌سازی مبتنی بر مؤلفه، نوعی مهندسی از یادگیری عمیق است. معماری یادگیری عمیق در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، ساده بوده و دقت پیش‌بینی بالاتری دارد.
مدل‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی برای ساختمان‌های ناهمگن با استفاده از رویکرد فیزیکی-آماری(Lü et al. 2015)	این پژوهش یک روش جدید برای پیش‌بینی تقاضای انرژی ارائه می‌کند که به چالش‌های ناهمگنی در مدل‌سازی انرژی ساختمان‌ها می‌پردازد. روش جدید مبتنی بر یک رویکرد فیزیکی-آماری است که برای محاسبه ناهمگونی ساختمان برای بهبود دقت پیش‌بینی طراحی شده است. مدل فیزیکی یک ورودی نظری برای توصیف مکانیسم فیزیکی زیربنایی جریان‌های انرژی فراهم می‌کند. سپس پارامترهای تصادفی به مدل فیزیکی معرفی می‌شوند و مدل سری زمانی آماری برای انعکاس عدم قطعیت‌های مدل و ناهمگنی فردی‌در ساختمان‌ها فرموله می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی و مدل می‌تواند بهبود قابل توجهی‌در دقت پیش‌بینی ارائه دهد.
یک روش انتخاب داده مرتبط برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان کم انرژی بر اساس ماشین بردار پشتیبان(Paudel et al. 2017)	ساختمان‌های کم انرژی به عنوان یک راه حل امیدوارکننده برای محیط ساخته شده برای برآورده کردن استانداردهای بازده انرژی بالا در نظر گرفته می‌شوند. این کار بر روی مدل هوش مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف انرژی این ساختمان‌ها تمرکز دارد. دو نوع رویکرد مدل‌سازی هوش مصنوعی: «همه داده‌ها» و «داده‌های مرتبط» در نظر گرفته می‌شوند. «همه داده‌ها» از تمام داده‌های آموزشی موجود استفاده می‌کند و «داده‌های مرتبط» از یک مجموعه داده کوچک نماینده روز استفاده می‌کند نتایج عددی نشان می‌دهد که رویکرد مدل‌سازی «داده‌های مرتبط» که بر نماینده کوچک متکی است، دقت بالاتری نسبت به رویکرد مدل سازی "همه داده‌ها" دارد.

۳- روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی

روش پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی شامل چهار مرحله اصلی است: جمع آوری‌داده‌ها، پیش پردازش داده‌ها، آموزش مدل و آزمایش مدل (شکل۱). دقت پیش‌بینی مدل پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی به انتخاب داده‌های ورودی بستگی‌دارد. به‌طور کلی، بیشتر داده‌های ورودی تأثیرگذار و بسیار همبسته ممکن است نتایج پیش‌بینی بهتری‌داشته باشند(Bui et al. 2020). قبل از استفاده از آن ها برای آموزش مدل پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی، پیش پردازش داده‌ها روی‌داده‌های جمع آوری شده انجام می‌شود تا در قالب مناسب سازماندهی شوند. برای بهبود کیفیت داده‌ها، ممکن است در این مرحله تکنیک‌های پیش پردازش داده مانند تحول داده‌ها، عادی سازی‌داده‌ها و درون یابی‌داده‌ها استفاده شود. مرحله سوم آموزش مدل پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی است. برای توسعه مدل نیاز به یک فرایند آموزش است. به‌طور خاص، روند آموزش با هدف انتخاب مناسب ترین پارامترهای بهبود عملکرد پیش‌بینی الگوریتم یادگیری است. قابل ذکر است، نوع پارامترها بین الگوریتم‌های مختلف یادگیری

1 Deep Learning

متفاوت است. جایگزین های پارامتر تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند اندازه داده‌های آموزش، انتخاب متغیرهای ورودی و شاخص های عملکرد قرار می‌گیرند(Tran, Luong, and Chou 2020).



شکل ۱- مراحل روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی

۳-۱- مزایا و معایب

در رابطه با مزایای روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی، طبق مطالعات مشخص شده است که در مقایسه با روش‌های مهندسی، روش پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی به اطلاعات فیزیکی‌دقیق ساختمان کمتری نیاز دارد و نیازی نیست که توسعه دهنده مدل دانش بالایی از پارامترهای ساختمان فیزیکی‌داشته باشد، که در عوض باعث صرفه جویی‌در وقت و هزینه برای انجام پیش‌بینی می‌شود. فرآیند کسب اطلاعات و بارگذاری‌داده‌ها در این روش‌ها نسبتاً راحت است، به‌این معنی که مدل پیش‌بینی را می‌توان به راحتی ایجاد کرد. هم چنین، روش‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی، هنگامی که مدل به خوبی آموزش داده شود، دقت پیش‌بینی امیدوارکننده‌ای را ارائه می‌دهند. در مقابل مزایا، این روش‌ها دارای معایبی نیز می باشند. بین پارامترهای فیزیکی ساختمان و ورودی های مدل رابطه صریحی وجود ندارد. استفاده از روش مبتنی بر هوش مصنوعی‌در مرحله طراحی ساختمان دشوار است زیرا برای آموزش مدل پیش‌بینی به داده‌های عملکرد تاریخی ساختمان احتیاج دارد. از دیگر معایب این روش‌ها، نیاز به داده‌های آموزش گسترده برای ایجاد مدل و حفظ کیفیت پیش‌بینی می‌باشد و پس از ایجاد تغییر در پوشش، سیستم یا عملکرد، مدل پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی نیاز به آموزش مجدد دارد(Wang and Srinivasan 2017).

۳-۲- انواع

بسیاری از الگوریتم‌های یادگیری مبتنی بر هوش مصنوعی و مدل‌های پیش‌بینی، برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد که براساس اجزای پیش‌بینی آن ها تک یا منفرد، گروهی و ترکیبی[1] هستند(Chou and Tran 2018).

مدل‌های پیش‌بینی منفرد از یک الگوریتم یادگیری استفاده می کنند. این مدل‌ها شامل شبکه عصبی مصنوعی، درخت طبقه بندی و رگرسیون [2]، ماشین بردار پشتیبان و رگرسیون خطی[3] است (Wang and Srinivasan 2017).

مدل‌های گروه شامل چندین مدل پیش‌بینی هستند که به روشی مشخص می‌شوند که داده‌های خروجی را تعیین می کند. روش‌های گروه شامل: رای گیری[4] ، دسته بندی [5] می‌باشد. این روش‌ها در سال های اخیر مورد توجه بحث یادگیری ماشین و جوامع محاسبات نرم قرار گرفته اند. امروزه به دلیل عملکرد مطلوب در پیش‌بینی، از روش‌های یادگیری گروه به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Allende and Valle 2017; Qiu et al. 2014; Tran, Luong, and Chou 2020).

مدل‌های ترکیبی شامل: مدل‌های یک فاز، مدل‌های چند فاز و پیشنهادی می باشند. این مدل‌ها دو یا چند تکنیک یادگیری ماشین را ترکیب می کنند. این مدل‌ها نسبت به بقیه مقاوم هستند و دقت پیش‌بینی بهتری را ارائه می‌دهند بر اساس مطالعات، مقایسه جامع نشان می‌دهد که مدل ترکیبی از مدل‌های منفرد و گروهی‌دقیق تر است (Chou and Tran 2018). اما برای پیش‌بینی استفاده از انرژی ساختمان به‌طور گسترده از روش پیش‌بینی منفرد استفاده می‌شود، یعنی ۹۱٪ از کل پیش‌بینی های مبتنی بر هوش مصنوعی از یک الگوریتم پیش‌بینی استفاده کرده اند(Wang and Srinivasan 2017). مدل‌های منفرد بهترین انتخاب برای کاربران مبتدی است که از مدل هوش مصنوعی‌در پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان‌ها استفاده می کنند. مدل‌های گروه بهترین انتخاب برای کاربرانی است که اصول و فنون یادگیری ماشین را می‌دانند اما افرادی که دانش کاملی از تکنیک‌های

1 Hybrid Model
2 Classification and Regression Tree (CART)
3Linear Regression (LR)
4 Voting
5 Bagging

هوش مصنوعی‌دارند و به مدل‌های بسیار دقیق و مؤثر نیاز دارند، باید از مدل‌های ترکیبی مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده کنند(Chou and Tran 2018).

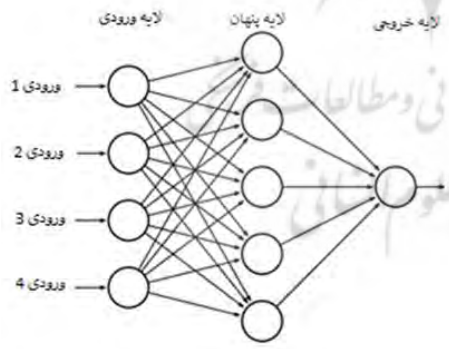
۴- عوامل مهم در روش‌ها یا مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی

یکی از عامل های مهم در روش‌ها یا مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی نوع ساختمان می‌باشد که شامل تجاری ،مسکونی ، آموزشی و تحقیقاتی و سایر انواع می‌شود. هم چنین انتخاب داده‌های ورودی که دارای همبستگی زیادی می باشند، برای پیش‌بینی استفاده از انرژی ساختمان مبتنی بر هوش مصنوعی بسیار مهم است. محققان داده‌های ورودی را براساس دانش خود از مدل پیش‌بینی و در دسترس بودن داده‌ها جمع آوری می کنند. از آنجایی که شرایط آزمایشی‌در مطالعات مختلف متفاوت است، ویژگی های ورودی مختلفی انتخاب شده اند تا به عنوان داده ورودی مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده شوند. داده‌های ورودی، بر اساس نوع، به سه دسته داده‌های هواشناسی، داده‌های اشغال و سایر موارد طبقه بندی می‌شوند. از عوامل مهم دیگر می‌توان به نوع انرژی اشاره کرد. انرژی پیش‌بینی شده می‌تواند به پنج دسته تقسیم شود، یعنی کل انرژی ساختمان / برق، گرمایش و انرژی خنک کننده ، انرژی گرمایش ، انرژی خنک کننده و سایر موارد. از طرفی‌در روش‌های پیش‌بینی مقیاس های مختلف زمان پیش‌بینی، به عنوان مثال، دقیقه به دقیقه، ساعتی، روزانه یا سالانه برای پیش‌بینی استفاده از انرژی در ساختمان انتخاب می‌شوند که طبق مطالعات، پیش‌بینی سالانه استفاده از انرژی ساختمان کمتر مورد تمرکز بوده است و تقریبا نیمی از محققان پیش‌بینی ساعتی را به عنوان پیش‌بینی خود انتخاب کرده اند(Wang and Srinivasan 2017).

در مورد پیش‌بینی مصرف انرژی، افق پیش‌بینی و منطقه کاربردی نیز تاثیر زیادی‌دارند که به ترتیب افق سنتی‌در سه دسته: پیش‌بینی بلند مدت (پیش‌بینی سالانه)، پیش‌بینی میان مدت (به عنوان مثال پیش‌بینی ماهانه و سه ماهه) و پیش‌بینی کوتاه مدت (یعنی زیر ساعتی، ساعتی، روزانه) و پیش‌بینی هفتگی) (Tamba et al. 2018; Wang and Srinivasan 2017; Wright, Chan, and Laforge 2012; Yezioro, Dong, and Leite 2008) و منطقه کاربردی به شش دسته : سطح جهانی، سطح ملی یا ایالتی، سطح منطقه‌ای یا توزیعی (سیستم توزیع و محدوده شهر)، بخش‌های جداگانه در داخل سطح توزیع و سطح مشتری جداگانه تقسیم می‌شوند(Wei et al. 2019).

۵- تکنیک‌های معمول یادگیری ماشین برای پیش‌بینی انرژی

شبکه های عصبی مصنوعی و ماشین های بردار پشتیبان از الگوریتم‌های محبوب یادگیری ماشین هستند که برای پیش‌بینی عملکرد انرژی ساختمان استفاده می‌شوند(Dong, Cao, and Lee 2005; Eisenhower et al. 2012; Magalhães, Leal, and Horta 2017; Paudel et al. 2017; Runge and Zmeureanu 2019).



شکل۲ - ساختار کلی یک شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی، یک سیستم پردازش اطلاعات است که از نورون های به هم پیوسته سیستم های بیولوژیکی الهام گرفته است. شبکه های عصبی مصنوعی معمولاً از سه نوع لایه اصلی تشکیل شده اند: یک لایه ورودی، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی (شکل۲). یک شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند چندین سطح لایه ورودی و پنهان داشته باشد. لایه ورودی متغیر (های) رگرسور است که برای‌دستیابی به برآورد متغیر هدف استفاده می‌شود(Runge and Zmeureanu 2019).

شبکه عصبی مصنوعی خود دارای انواعی است که در جدول ۲ آورده شده است.

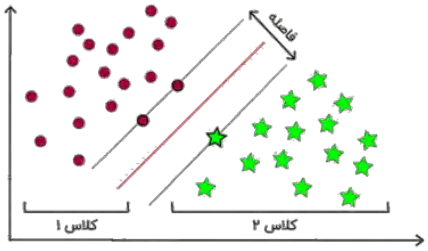
جدول۲- انواع شبکه عصبی

انواع شبکه عصبی	مشخصات
شبکه عصبی خوراکی[1] (Runge and Zmeureanu 2019)	شبکه عصبی پس از انتشار
شبکه عصبی عملکرد شعاعی[2] (Runge and Zmeureanu 2019)	یک شبکه عصبی سه لایه (در پیش‌بینی انرژی ساختمان استفاده شده است)
شبکه عصبی رگرسیون عمومی[1](Specht 1991)	یادگیری سریع، تخمین متغیر های هدف، همگرایی سریع با سطح اصلی

1 Feedforward Neural Network (FFNN)
2 Radial bios function Neural Network (RBNN)

	رگرسیون
شبکه عصبی خود رگرسیون غیرخطی[2] (Runge and Zmeureanu 2019)	به بسیاری از متغیر های ورودی مختلف نیاز ندارد، زمان آموزش مشابه FFNN، نتایج خوبی ارائه می‌دهد.

ماشین‌های بردار پشتیبان، مدل‌های بسیار قوی برای حل مسائل غیر خطی هستند و در تحقیقات و صنایع برای اهداف رگرسیون و طبقه بندی استفاده می‌شوند(شکل۳). از آنجا که ماشین های بردار پشتیبان می‌توانند با تعداد کمی از نمونه داده‌ها آموزش ببینند و راه حل های مناسبی برای مدل سازی موارد مطالعه بدون داده‌های تاریخی ارائه دهند(Seyedzadeh et al. 2018).



شکل ۳- ساختار کلی مدل ماشین بردار پشتیبان

دیگر الگوریتم‌های بالقوه مورد استفاده در زمینه پیش‌بینی انرژی ساختمان، درخت تصمیم گیری ، جنگل تصادفی است(Cheng and Cao 2014; Singaravel, Suykens, and Geyer 2018; Tsanas and Xifara 2012; Yu et al. 2010). این الگوریتم‌ها برای تصمیم گیری سریع در طراحی انرژی، بهینه سازی طراحی بر اساس پیش‌بینی های انرژی و پیش‌بینی‌های انرژی عملیاتی استفاده می‌شوند. یادگیری عمیق از دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین است که عملکرد بهتری‌داشته است. با این حال، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی انرژی در ساخت محدود است زیرا یادگیری عمیق، بیشتر در مجموعه داده‌های بسیار بزرگ تاثیر دقیقی‌دارد و عملکرد آن در مجموعه داده‌های کوچکتر ، مشابه سایر روش‌های یادگیری ماشین است(Singaravel, Suykens, and Geyer 2018). توجه به تحقیقات، شبکه عصبی ساده می‌تواند پیش‌بینی هایی با دقت مشابه مدل‌های یادگیری عمیق ارائه دهد (Singaravel, Geyer, and Suykens 2017).

۶- نتیجه گیری

با نگاهی بر مبانی هوش مصنوعی می‌توان بیان نمود که تمرکز اصلی یادگیری ماشین بر توسعه برنامه های رایانه‌ای است که بتوانند به داده‌ها دسترسی پیدا کنند و از آن برای یادگیری خود استفاده کنند. فرآیند یادگیری با مشاهدات یا داده‌ها آغاز می‌شود، مانند مثال‌ها، تجارب مستقیم و یا دستور العمل‌ها، تا به یک الگو در داده‌ها برسند و بر اساس مثال‌هایی که ارائه می‌شود، تصمیمات بهتری با سرعت بالا بگیرند. روش‌ها و تکنیک‌های هوش مصنوعی با وجود داشتن معایبی، دارای مزیت های مهمی است. کسب اطلاعات و بارگذاری‌داده ها نسبتا راحت می‌باشد بنابرین مدل را میتوان به راحتی ایجاد کرد از طرفی این روش‌ها دقت امیدوار کننده‌ای را ارائه می‌دهند. در رابطه با بررسی تاثیر ابزارهای هوش مصنوعی بر پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان با تمرکز بر رویکردهای اصلی پیش‌بینی انرژی، مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین حتی‌در مقایسه با مدل‌های آماری. بالاترین دقت و انعطاف پذیری را ارائه می نمایند. در این مقاله، ضمن معرفی ویژگی های ابزار هوش مصنوعی، ویژگی کاربرد آن ها در ارزیابی مصرف انرژی ساختمان مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

منابع

1. Ahmad, Ahmad S, Mohammad Y Hassan, Md Pauzi Abdullah, Hasimah A Rahman, F Hussin, Hayati Abdullah, and Rahman Saidur. 2014. 'A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting', Renewable and sustainable energy reviews, 33: 102-09.
2. Allende, Héctor, and Carlos Valle. 2017. 'Ensemble methods for time series forecasting.' in, Claudio moraga: A passion for multi-valued logic and soft computing (Springer).
3. Biswas, MA Rafe, Melvin D Robinson, and Nelson Fumo. 2016. 'Prediction of residential building energy consumption: A neural network approach', Energy, 117: 84-92.
4. Bui, Dac-Khuong, Tuan Ngoc Nguyen, Tuan Duc Ngo, and H Nguyen-Xuan. 2020. 'An artificial neural network (ANN) expert system enhanced with the electromagnetism-based firefly algorithm (EFA) for predicting the energy consumption in buildings', Energy, 190: 116370.

1 General regression Neural Network (GRNN)

2 Nonlinear autoregressive Neural Network (NARNN)

5. Cheng, Min-Yuan, and Minh-Tu Cao. 2014. 'Accurately predicting building energy performance using evolutionary multivariate adaptive regression splines', Applied Soft Computing, 22: 178-88.
6. 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.
7. Dong, Bing, Cheng Cao, and Siew Eang Lee. 2005. 'Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical region', Energy and Buildings, 37: 545-53.
8. Eisenhower, Bryan, Zheng O'Neill, Satish Narayanan, Vladimir A Fonoberov, and Igor Mezić. 2012' .A methodology for meta-model based optimization in building energy models', Energy and Buildings, 47: 292-301.
9. Handbook, ASHRAE Fundamentals. 2009. 'American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers', Inc.: Atlanta, GA, USA, 59.
10. Lü, Xiaoshu, Tao Lu, Charles J Kibert, and Martti Viljanen. 2015. 'Modeling and forecasting energy consumption for heterogeneous buildings using a physical–statistical approach', Applied Energy, 144: 261-75.
11. Magalhães, Sara MC, Vítor MS Leal, and Isabel M Horta. 2017. 'Modelling the relationship between heating energy use and indoor temperatures in residential buildings through Artificial Neural Networks considering occupant behavior', Energy and Buildings, 151: 332-43.
12. NRCan, NEUD. 2007. 'Energy Use Data Handbook Tables (Canada)', Commercial/Institutional Sector, Table, 1.
13. Paudel, Subodh, Mohamed Elmitri, Stéphane Couturier, Phuong H Nguyen, René Kamphuis, Bruno Lacarrière, and Olivier Le Corre. 2017. 'A relevant data selection method for energy consumption prediction of low energy building based on support vector machine', Energy and Buildings, 138: 240-56.
14. Qiu, Xueheng, Le Zhang, Ye Ren, Ponnuthurai N Suganthan, and Gehan Amaratunga. 2014. "Ensemble deep learning for regression and time series forecasting." In 2014 IEEE symposium on computational intelligence in ensemble learning (CIEL), 1-6. IEEE.
15. Runge, Jason, and Radu Zmeureanu. 2019. 'Forecasting energy use in buildings using artificial neural networks: A review', Energies, 12: 3254.
16. 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.
17. Singaravel, Sundaravelpandian, Philipp Geyer, and Johan Suykens" .۲۰۱۷ .Deep neural network architectures for component-based machine learning model in building energy predictions." In Proceedings of the Digital Proceedings of the 24th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Nottingham ,UK, 10-12.
18. Singaravel, Sundaravelpandian, Johan Suykens, and Philipp Geyer. 2018. 'Deep-learning neural-network architectures and methods: Using component-based models in building-design energy prediction', Advanced Engineering Informatics, 38: 81-90.
19. Specht, Donald F. 1991. 'A general regression neural network', IEEE transactions on neural networks, 2: 568-76.
20. Tamba, Jean Gaston, Ndjakomo Essiane, Emmanuel Flavian Sapnken, Francis Djanna Koffi, Jean Luc Nsouand, Bozidar Soldo, and Donatien Njomo. 2018' .Forecasting natural gas: A literature survey', International Journal of Energy Economics and Policy, 8: 216.
21. Tran, Duc-Hoc, Duc-Long Luong, and Jui-Sheng Chou. 2020. 'Nature-inspired metaheuristic ensemble model for forecasting energy consumption in residential buildings', Energy, 191: 116552.
22. Tsanas, Athanasios, and Angeliki Xifara. 2012. 'Accurate quantitative estimation of energy performance of residential buildings using statistical machine learning tools', Energy and Buildings, 49: 560-67.
23. 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.
24. Wei, Nan, Changjun Li ,Xiaolong Peng, Fanhua Zeng, and Xinqian Lu. 2019. 'Conventional models and artificial intelligence-based models for energy consumption forecasting: A review', Journal of Petroleum Science and Engineering, 181: 106187.

25. Wright, Connor, Christine W Chan, and Paul Laforge. 2012. 'Towards developing a decision support system for electricity load forecast.' in, Decision Support Systems (IntechOpen).
26. Yezioro, Abraham, Bing Dong, and Fernanda Leite. 2008. 'An applied artificial intelligence approach towards assessing building performance simulation tools', Energy and Buildings, 40: 612-20.
27. Yu, Zhun, Fariborz Haghighat, Benjamin CM Fung, and Hiroshi Yoshino. 2010. 'A decision tree method for building energy demand modeling', Energy and Buildings, 42: 1637-46.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی