**(مروری بر پرکاربردترین الگوریتم های هوش مصنوعی در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان)**

**دکتر مجتبی کرکه آبادی1\*، هانیه سلطانی شایگان2،**

1- دکترا معماری سیستم های کامپیوتری و مدرس دانشگاه آزاد واحد ورامین پیشوا

2- دانشجو کارشناسی کامپیوتر نرم افزار ،

**چكيده**

حدود 40 درصد انرژی مصرفی نهایی در سراسر جهان توسط ساختمان ها مصرف می شود و به طور تقریبی یک سوم از گازهای گلخانه ای را تولید می کنند. طراحی ساختمان های با کارایی انرژی بالا و شناسایی روش های بهینه سازی انرژی ،نه تنها آلودگی های زیست محیطی را کاهش می دهد، بلکه نیاز به منابع انرژی تجدید ناپذیر را هم کاهش می دهد. استفاده از هوش مصنوعی یکی از این روش ها است. محققان با استفاده از الگوریتم های بهینه سازی هوش مصنوعی و تغییرات در پارامترها به منظور کاهش مصرف انرژی ،این موضوع را بررسی نموده اند. این روش می تواند نتایج دقیق تری نسبت به دیگر ابزارهای شبیه سازی انرژی ساختمان ارائه دهد. در این مقاله، چندین الگوریتم برای بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان ارائه شده است. هدف این مقاله، شناسایی الگوریتم های دقیق و پرکاربرد در این راستا هست. الگوریتم هایی که دارای میزان خطای، سرعت و دقت بالا در محاسبات هستند. از نتایج میتوان دریافت که الگوریتم های پرکاربرد برای بهینه سازی مصرف انرژی و پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان ها: الگوریتم ژنتیک ،شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان هستند. الگوریتم بهینه سازی می تواند بسته به محدودیتهای داده شده و شکل کلی مسئله، انتخاب شود.

**واژه‌هاي كليدي:** الگوریتم های بهینه سازی، بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان ،الگوریتم های هوش مصنوعی، الگوریتم های یادگیری ماشین، الگوریتم ژنتیک ،شبکه های عصبی مصنوعی

**1- مقدمه**

در سال های اخیر ،محیط زیست به طورجدی آسیب دیده است و بلایای طبیعی مختلفی به طور مکرر رخ داده است. مشکلات انرژی و زیست محیطی به محتوای مهمی تبدیل شده است که توسعه اقتصادی کشورها را محدود می کند. با پیشرفت مستمر ساخت وساز، مصرف انرژی در حال افزایش است )نگارندگان ،(1402. بیش از 40 درصد از کل مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای )GHG( مربوط به بخش ساختمان است )[1] (. ضمن اینکه، فناوری استفاده از انرژی قدیمی و کارایی پایینی دارد، به دلیل استفاده از منابع غیرقابل تجدید، آلودگی شهری جدی به وجود خواهد آمد و بحران زیست محیطی را ایجاد می کند. این مسئله باعث ایجاد یک چرخه بیهوده بین انرژی ،محیط زیست و توسعه اقتصادی می شود )نگارندگان ،1402( در سال های اخیر، با افزایش بحران انرژی در کره زمین، توجه همه ،به ویژه طراحان، به بهبود کارایی انرژی در ساختمان ها جلب شده است )[46] (. پیش بینی مصرف انرژی بخشی جدایی ناپذیر از برنامه ریزی و کنترل انرژی مورداستفاده در بخش ساختمان است )[40]( بنابراین، ارائه راه حل هایی که قادر به کاهش مصرف انرژی در این حوزه باشند، بسیار حائز اهمیت است )[16](. تلاش ها برای کاهش اثرات زیست محیطی بخش ساختمان بیشتر بر استراتژی های غیرفعال برای توسعه ساختمان های سازگار با محیط زیست متمرکزشده است )[12](. بهینه سازی مصرف انرژی ،به ویژه در حوزه ساخت وساز و به طور خاص در مرحله طراحی، امری بسیار حیاتی است) [1] ، (. بهینه سازی انرژی ساختمان) BEO(، یک فناوری جدید، به یک زمینه تحقیقاتی بسیار فعال تبدیل شده است )[36]( فرآیندی است که به دنبال یافتن بهترین راه حل برای یک مشکل هست. هر مسئله بهینه سازی می تواند به عنوان یک مسئله نقشه برداری ازتصمیم گیری تا هدف در نظر گرفته شود )[7] و [39](. راه حل مشکل به طور معمول، با استفاده از الگوریتم های مختلف بهینه سازی حل می شود. الگوریتم، یک فرآیند قطعی کاملاً تعریف شده است که داده های ورودی یک یا چند متغیر را دریافت کرده و مجموعه ای از مقادیر را به عنوان خروجی تولید می کند؛ بنابراین، یک الگوریتم، فرآیند محاسباتی است که داده های ورودی را به نتایج خروجی تبدیل می کند )[9]( مزایای بهینه سازی نشان داده شده است که احتمالاً مصرف انرژی ساختمان را تا 30٪ در مقایسه با یک طرح معیار کاهش می دهد )[36](. ارزیابی عملکرد الگوریتمها در حل مسائل بهینه سازی انرژی ساختمان) BEO( با ویژگیهای مختلف برای انتخاب الگوریتم های مناسب برای دستیابی به بهترین راه حل طراحی ضروری است [37]این پروژه سعی دارد به این پرسش پاسخ دهد که الگوریتم های هوش مصنوعی به منظور بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان کدماند؟ هدف از این مقاله، معرفی روش های نوین برای بهینه سازی مصرف انرژی و اخذ تصمیمات مناسب توسط سیستم هست تا به طراحان کمک کند که در این راستا هدفمندتر اقدام به طراحی نمایند و گامی در جهت توسعه پایدار جهانی برداشته شود.

# **2- پیشینه تحقیق**

در مقاله «بهینه سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم PSO )مطالعه موردی شهرستان بندرعباس[11] متغیرهای مؤثر در کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها را بررسی نمودند و نتایج تحقیقات به طورکلی با بهینه سازی مصرف انرژی همراه بوده است. به طور خلاصه، با تغییر پارامترهای ساختمان میتوان مصرف انرژی آن را کاهش داد و این تغییرات هزینه قابل توجهی به همراه نخواهند داشت. همچنین، توجه به پارامترهایی که می توانند منجر به کاهش مصرف انرژی و دیاکسید کربن شوند ،ازجمله تعداد پنجرهها و جهت آنها، می تواند به کاهش هزینه های جاری ساختمان و بهای انرژی کمک کند. در مقاله «بهینه سازی چند هدفه شاکله پنجره به منظور تأمین همزمان مؤلفه های آسایش بصری و کارایی انرژی از طریق الگوریتم ژنتیک )نمونه موردی: کالس درس ابتدایی در تهران - ایران[12]دریافتند که با بهینه سازی چند هدفه و تجسم مرزهای فضای راه حل، پیچیدگی مشکل را به طور قابل توجهی کاهش می دهد و می تواند به طراح کمک کند تا به یک مجموعه از متغیرها دست پیدا کند که به طور همزمان مقادیر نسبتاً خوب از تمام توابع هدف موردنظر را داشته باشد .این روش امکان انتخاب گزینه هایی با الویت متفاوت برای هر یک از اهداف متضاد را برای دستیابی به توافق بین انتظارات پروژه و طراحی نهایی فراهم می کند. [22]در مقاله " توسعه یک کنترلکننده گرمایش شبکه عصبی برای ساختمان های خورشیدی شبکه های عصبی" یک کنترلکننده گرمای مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعــی ارائه نمودند که قادر اســت مقدار انــرژی لازم برای تأمین دمای مناسب سـاختمان را بر اساس وضعیت آب و هوایی تعیین نماید. [14]( در مقاله " کاربرد ANN )شبکه عصبی- مصنوعی( در کنترل حرارتی مسکونی" در راستای تأمین آسایش حرارتی در ساختمان های مسکونی، از شبکه عصبی مصنوعی برای تولید یک ساختار پیشرفته استفاده کردند. [15]( در مقاله " پیش بینی بار انرژی خنک کننده روزانه برای ساختمان های سازمانی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی" نشان میدهند که شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار خوبی قادر است مصرف انرژی روزانه بار ســرمایش ساختمان ها را تعیین کند. [16]( در مقاله "بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک" نشان دادند که الگوریتم ژنتیک با یک موتور تحلیل مرتبط شد تا بتواند پاسخهای تولیـدش را توسـط آن ارزیـابی کرده و با اعمال پروسه بهینه سازی، بهترین پاسخها را برای مسئله طراحی ارائه کند. در مقاله "پیش بینی مصرف انرژی ایران با استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با الگوهای سنتی" [35]( نشان دادند که نسبت به سایر مدل های موردبررسی، مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی دارای بالاترین دقت در پیش بینی مصرف انرژی است. در مقاله "تجزیه وتحلیل فنی-اقتصادی و زیست محیطی الگوریتم ژنتیک) GA( ذخیره سازی انرژی گرمایی سرد) CTES( بهینه سازی شده برای کاربردهای تهویه مطبوع" [41]( در این تحقیق، بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چند هدفه با دو مبرد مختلف در چرخه تبرید فشردهسازی بخار سیستمها انجام شد و سیستمی با نقطه طراحی مناسب با استفاده از تصمیم گیری چند معیارِ انتخاب شد. مصرف برق در سیستم مبتنی بر ذخیره انرژی حرارتی در مقایسه با سیستم معمولی کمتر بود. همچنین، دو سیستم مدلسازی شده بر اساس رسانه ذخیره سازی، استراتژی های عملیاتی و مبرد مورداستفاده مقایسه شدند.

در مقاله" رویکردی جدید برای بهینه سازی مدل های انرژی ساختمان با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین " [19]

) ( نشان دادند که الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بیزی، پلهایی را بین مدل های انرژی ساختمان مبتنی بر فیزیک و ابزارهای بهینه سازی قوی موجود در پایتون ارائه می کند که می تواند امکان دستیابی به بهینه سازی جهانی را به شیوهای کارآمد محاسباتی فراهم کند. [37]( در مقاله " کاربرد مدل هوش مصنوعی پیش بینی تابش خورشیدی برای سیستم های انرژی های تجدید پذیر"، نشان دادند که اجرای اساسی CNN-LSTM می تواند برای تکمیل روش های مرسوم برای پیش بینی SR، فراهم کردن امکانات برای نظارت بر تشعشع با هزینه کم و تشویق اتخاذ مدیریت مبتنی بر داده استفاده شود. در مقاله" بهینه سازی مبتنی بر مدل RBFOpt: پروژه GENI US به حداکثر رساندن راندمان انرژی و عملکرد نور روز در ساختمان های اداری در BI M"، [26](، نشان دادند که ابزارهای BI M و برنامه نویسی بصری را با تکنیک های هوش مصنوعی مانند الگوریتم های ژنتیک و بهینه سازی مبتنی بر مدل RBFOpt ادغام می کند .

الگوریتم های بهینه سازی برای شناسایی بهترین راه حل هایی که تمام اهداف طراحی را برآورده می کنند، استفاده می شوند و به معماران کمک می کنند تا طرحهای خود را بهینه کنند و به نتایج دلخواه برسند. در مقاله" بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک و ذرات ازدحام برای بهینه سازی روشنایی روز و عملکرد انرژی دفاتر در اسکندریه مصر"، [22]( نشان دادند عملکرد الگوریتم بهینه سازی می تواند با تغییر پیکربندی بافت شهری در حین حل مشکل مشابه تحت متغیرها و اهداف طراحی متفاوت باشد. در مقاله" مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای بهره وری انرژی پوشش ساختمان مسکونی تحت شرایط مختلف آب و هوایی در مصر"، [23](، تأیید کردند که راه حل های بهینه در تمام اقلیمها با موفقیت کاهش مصرف انرژی و LCC را متعادل کرده اند؛ اما ساعات عدم آسایش در هر دو اقلیم مدیترانه ای و نیمه خشک نسبت به اقلیم خشک درصد کاهش کمتری دارد. در مقاله " کاربرد یادگیری ماشین) ML( و الگوریتم ژنتیک )GA( برای بهینه سازی طراحی دیوار بال پنجره برای تهویه طبیعی" [32]( از شبیه سازیهای دینامیک سیالات محاسباتی )CFD( و شبکه های عصبی مصنوعی) ANN( برای پیش بینی حرکت هوای داخل خانه با زمان و بار محاسباتی کمتر استفاده کردند. این پژوهش همراه با الگوریتم ژنتیک) GA(، رویکردی را توسعه می دهد که تهویه طبیعی را در اتاقهایی با پنجره های یک طرفه امکانپذیر می کند. [40]( در مقاله " بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات تک و چند هدفه و ژنتیک" نشان دادند مصرف برق سرمایشی سالانه حدود 8/19 تا 3/33 درصد کاهش و گرمایش و روشنایی سالانه به ترتیب 7/1 تا 8/4 درصد و 5/0 تا 6/2 درصد در مقایسه با مدل های دیگر افزایش داده شده است که منجر به کاهش بهینۀ 6/1 تا 3/11 درصد از کل تقاضای برق سالانۀ ساختمان می شود.

در مقاله" مصرف انرژی و بهینه سازی تولید دیاکسید کربن در یک ساختمان آموزشی با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی شده و سیستم کلونی مورچه ها[26]( متغیرهایی مانند مصالح دیوار و سقف ،تعداد و نوع پنجرهها و ضخامت عایق دیوار و سقف انتخاب کردند. چندین حالت مختلف با استفاده از نرم افزار Desi gnBui l der مورد ارزیابی قرار گرفت. آموزش داده ها با یک ماشین بردار پشتیبانی شده) SVM( رابطه بین ورودی ها و دو خروجی حیاتی، یعنی میزان مصرف انرژی و تولید 2CO را نشان داد و از الگوریتم کلونی مورچه ها برای بهینه سازی استفاده شد. بر اساس یافته ها، نسبت پنجره های شمالی و شرقی به دیوار در یک جهت 70 درصد است ،درحالیکه نسبت پنجره جنوبی به دیوار در همان جهت بین 35 تا 50 درصد است. زمانی که نسبت و درصد پنجره غربی به دیوار غربی بین 60 تا 70 درصد باشد، مقدار انرژی تولیدی و 2CO به سطوح ناچیز کاهش می یابد. در مقاله" ماشین های بردار پشتیبان موازی که برای پیش بینی مصرف انرژی چند ساختمان به کار می روند" [27]( در این مقاله، اجرای موازی روش ماشین های بردار پشتیبان) SVM( برای اولین بار برای پیش بینی مصرف انرژی در چندین ساختمان بر اساس مجموعه داده های سری زمانی بزرگ اعمال کردند. SVM عملکرد خوبی در پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان برای برخی از کارهای مرتبط نشان داده است . در مقاله" پیش بینی مصرف انرژی در ساختمان ها با استفاده از ماشین بردار پشتیبان" [28]( با استفاده از ماشین بردار پشتیبان، مدلی برای پیش بینی مصرف انرژی ایجاد شد. م[43]ین درصد خطای مطلق مدل 2.44 درصد و ضریب تعیین مدل 94.72 2R درصد است که برارزش کلی مدل را بیان می کند. این مدل برای همه شرکت کنندگان در طراحی ساختمان ها، به ویژه در مراحل اولیه مفید است. این می تواند به عنوان یک مدل پشتیبان تصمیم در طول فرآیند انتخاب طراحی ساختمان بهینه عمل کند. در مقاله" استفاده از ماشین های بردار پشتیبان برای پیش بینی مصرف انرژی ساختمان در چین" [42]( نتایج نشان می دهد که روش SVM می تواند مصرف انرژی ساختمان را با دقت خوبی با MSE کمتر از 31-E و ²r بیش از 0.991 تخمین بزند. در مقاله" تجزیه وتحلیل دقت و مقایسه مدل یادگیری ماشین که در پیش بینی مصرف انرژی ساختمان اتخاذشده" [30]( شبکه عصبی مصنوعی) ANN( و ماشین بردار پشتیبان )SVM(، به عنوان مدل های اپیدمی، از نظر پیچیدگی فرآیندهای پیش بینی، دقت نتایج، مقدار داده های تاریخی موردنیاز، تعداد ورودیها و غیره مقایسه شدند. از طریق مقایسه بین روش های یادگیری ماشین) ANN و SVM( بهصورت واحد و ترکیبی ،میتوان دریافت که مدل های مختلف دارای ویژگیهای مختلفی هستند که در شرایط مختلف قابلاجرا میباشند. در مقاله" بهینه سازی مصرف انرژی سیستم HVAC در ساختمان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک چندهدفه" [31]( نشان دادند ،ANN همبستگی خوبی بین متغیرهای تصمیم گیری و تابع هدف انجام داد. علاوه بر این ،MOGA با موفقیت چندین متغیر طراحی ممکن جایگزین را برای دستیابی به سیستم بهینه از نظر آسایش حرارتی و مصرف انرژی سالانه فراهم می کند .درنتیجه، بهینه سازی که دو هدف را در نظر میگیرد ،بهترین نتیجه را در رابطه با آسایش داراست.

**3 -روش تحقیق**

روش تحقیق، به لحاظ ماهیت روش توصیفی تطبیقی و به لحاظ هدف بنیادی است. ابزار گردآوری داده ها، مطالعات اسنادی و مقایسه ای است. در این پژوهش در ابتدا الگوریتم های یادگیری ماشین هوش مصنوعی معرفی می شوند، سپس به الگوریتم های تحت نظارت یادگیری ماشین پرداخته شده است. در مرحله بعد مهم ترین و پرکاربردترین الگوریتم های تحت نظارت یادگیری ماشین که در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، بیشتر مورداستفاده قرار میگیرند معرفی میگردند.

**4-مبانی نظری**

**1-4- هوش مصنوعی**

هوش مصنوعی) AI (، اصطلاحی است که توسط پروفسور برجسته استنفورد، جان مک کارتی در سال 1955 ابداع شد و به عنوان "علم و مهندسی ساخت ماشین های هوشمند" تعریف شد. بسیاری از تحقیقات انسان ها ماشین ها را برنامه ریزی می کنند تا به شیوهای هوشمندانه رفتار کنند، مانند بازی شطرنج، اما امروزه، ما بر ماشین هایی تأکید می کنیم که حداقل تا حدودی مانند انسان ها می توانند یاد بگیرند [32]

**2-4-یادگیری ماشین**

آرتور ساموئل، پیشگام در زمینه بازی های رایانه ای و هوش مصنوعی، در سال 1959 در I BM اصطلاح "یادگیری ماشین" را مطرح کرد. وی این اصطلاح را به عنوان "زمین های که به رایانه ها امکان یادگیری بدون برنامه ریزی صریح می دهد" تعریف نمود. یادگیری ماشین به معنای برنامه نویسی رایانه ها برای بهبود معیار عملکرد با استفاده از داده های نمونه یا تجربه گذشته هست. در این روش، یک مدل برای برخی پارامترها تعریف می شود و سپس با استفاده از داده های آموزشی یا تجربه گذشته، یک برنامه رایانه ای برای بهینه سازی پارامترهای مدل اجرا می شود. این مدل ممکن است برای پیش بینی در آینده استفاده شود یا به منظور کسب دانش از داده ها به کار رود [35]. یک شاخه از هوش مصنوعی یادگیری ماشین هست به مطالعه و ساخت دستگاه هایی با قابلیت یادگیری از داده ها می پردازد [34]. یادگیری ماشین به معنای تغییر و تطبیق عملکرد رایانه ها )خواه این اقدامات پیش گویانه باشد، یا کنترل یک ربات را انجام دهند( با هدف دقیقتر شدن این عملکردها است. در این روش، دقت تعیین شده با میزان عملکرد صحیح انتخاب شده، هماهنگ می شود[35].

**3-4- انواع الگوریتم های یادگیری ماشین**

الگوریتم های یادگیری تحت نظارت الگوریتم های یادگیری بدون نظارت الگوریتم های یادگیری نیمه نظارتی

الگوریتم های یادگیری تقویتی [36].

ما در این پژوهش به الگوریتم های یادگیری تحت نظارت خواهیم پرداخت.

در روش یادگیری نظارتشده، ورودی و خروجی الگوریتم از ابتدا مشخص است. در واقع، الگوریتم یادگیری ماشین نظارت شده، شروع به تجزیه وتحلیل روی مجموعه داده های ورودی می کند. در نهایت، الگوریتم یادگیری نظارت شده پس از آموزش دیدن روی مجموعه داده دارای خروجی های مشخص، یک الگو و یا به بیان بهتر، مدلی را استنباط می کند که داده های ورودی بر اساس آن به داده های خروجی مبدل می شوند [37].

**4-4- الگوریتم های یادگیری ماشین تحت نظارت**

از انواع الگوریتم های یادگیری ماشین تحت نظارت میتوان الگوریتم گرادیان کاهشی، الگوریتم رگرسیون خطی، الگوریتم تجزیه وتحلیل رگرسیون چند متغیره ،الگوریتم رگرسیون لجستیک ،الگوریتم درخت تصمیم ،الگوریتم ماشین بردار پشتیبان ،الگوریتم یادگیری بیزی ،الگوریتم نایو بیز، الگوریتم k نزدیکترین همسایه، الگوریتم خوشه بندی، الگوریتم پس انتشار [45]. شبکه های عصبی [39] را نام برد.

از محبوبترین مدل های پیش بینی داده محور یا الگوریتم های یادگیری ماشین تحت نظارت میتوان موارد زیر را نام برد:

**1-****4-4- شبكه عصبی مصنوعی**

شبکه عصبی مصنوعی یک مدل ریاضی است که بر پایه ساختار و عملکرد سیستم عصبی انسانی ساخته شده است و برای حل مسائل پیچیده در حوزه های مختلفی ازجمله تشخیص الگو، پردازش تصویر، ترجمه ماشینی و تشخیص گفتار استفاده می شود. شبکه عصبی مصنوعی از چندین لایه نورون و ارتباطات میان آنها تشکیل شده است که با پردازش و تحلیل داده ها، قابلیت یادگیری و بهبود عملکرد را داراست [40]. این شبکه از سه لایه از نورون های به هم پیوسته تشکیل شده است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی. کار و توانایی اصلی شبکه عصبی مصنوعی ایجاد ارتباط بین لایه های مختلف سلول های عصبی تعریف شده است. وزن این اتصال از فرایند یادگیری گرفته شده و تابع فعالسازی وزن ورودی نورونها را به خروجی فعالسازی تبدیل می کند [41]. شبکه های عصبی مصنوعی از نوع سیستم های دینامیکی هوشمند مدل-آزاد مبتنی بر داده های تجربی می باشند که به ارتباط هیچ پذیرهای نیاز ندارند و به وسیله پردازش کردن رویداده های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده ها را به ساختار شبکه منتقل می کنند. شبکه های عصبی مصنوعی بر اساس محاسبات رویداده های عددی یا مثالها قوانین کلی را فرامی گیرند و در مدلسازی ساختار نرو-سیناپتیکی مغز بشر می کوشند، [42].

**2-4-4- ماشین بردار پشتیبان**

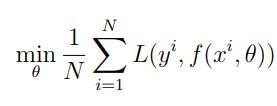
استفاده از ماشین های بردار پشتیبان (SVM) که توسط Vapni k ارائه گردید ،به عنوان یکی از راه حل های گسترده در یادگیری ماشین و تشخیص الگو ،مورداستفاده قرار میگیرد. SVM پیش بینی خود را با استفاده از ترکیبی خطی از تابع Kernel که بر روی مجموعه ای از داده های آموزشی با نام بردارهای پشتیبان عمل می کند، انجام می دهد. روش ارائه شده به وسیله SVM با روش های مقایسه پذیر مثل شبکه های عصبی متفاوت است، زیرا SVM همیشه به دنبال یافتن مینیمم سراسری است .ویژگی های یک SVM به شدت به انتخاب Kernelآن وابسته است. تعلیم SVM موجب یک مسئله برنامه ریزی درجه دوم (OP) از نوع مقید می شود که حل آن برای حجم زیادی از نمونه ها می تواند با روش های عددی بسیار دشوار باشد؛ بنابراین برای ساده سازی حل این مسئله بهینه سازی ،روش های زیادی ارائه شده اند که متناسب با نیاز ،قابل استفاده و پیاده سازی هستند [43] هدف SVM طبقه بندی صحیح اشیا بر اساس مثال هایی در مجموعه داده های آموزشی است. مزایای SVM به شرح زیر است: می تواند داده های نیمه ساختاریافته و ساختاریافته را مدیریت کند ،درصورتیکه بتوان تابع هسته مناسب را استخراج کرد، می تواند عملکرد پیچیده را مدیریت کند [45].

**3-4-4- الگوریتم ژنتیک**

الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، الهام گرفته از نظریه تکامل داروین هست )[44]( الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل ،مجموعه ای بسیار بزرگ از جواب های ممکن را تولید می نماید. هر یک از این جواب ها با استفاده از یک تابع تناسب برای ارزیابی ،موردبررسی قرار می گیرد. آنگاه با استفاده از عملگرهای تکامل ژنتیکی، جواب های جدید تولید می گردند. در الگوریتم ژنتیک، این جواب ها توسط تابع تناسب با یکدیگر مقایسه و ارزیابی می شوند و بدین ترتیب، فضای جستجو در جهت تکامل به راه حل مطلوب تر می رسد. این الگوریتم به طورکلی، یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است و بخش های آن اغلب به صورت تصادفی انتخاب می شوند. این تکرار زمانی خاتمه می یابد که تابع تناسب یا یکی از شرایط تعیین شده به مقدار موردنظر برسد. امروزه به طور گسترده در حل مسائل بهینه سازی و فرایندهای یادگیری استفاده میگردند )[45].

**5-4- بهینه سازی در یادگیری ماشین تحت نظارت**

در یادگیری تحت نظارت، هدف اصلی یافتن یک تابع بهینه هست که تابع زیان را از نمونه های آزمایشی به حداقل برساند.

**(1)

که N تعداد نمونه های آزمایشی ،θ پارامتر تابع بهینه xi ،f بردار ویژگی نمونه i-ام ،yi برچسب متناظر نمونه i-ام و L تابع زیان است. در یادگیری تحت نظارت، از تابعهای زیان میتوان به فصله اقلیدسی، آنتروپی متقاطع و موارد دیگر اشاره کرد .معمولاً در رگرسیون از مینیمم کردن مربع خطاها روی نمونه های آزمایشی برای تابع زیان استفاده می شود [46].

**5-یافته ها**

**جدول 1: مروری بر عملكرد شبكه عصبی مصنوعی در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، مأخذ: نگارنده ،1402**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **شبكه عصبی مصنوعی** | | |
| **توضیحات** | **منبع** | **نویسنده** |
| تغییر پارامترهای ساختمان می تواند مصرف انرژی آن را کاهش دهد | بهینه سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم PSO )مطالعه موردی  شهرستان بندرعباس(" | اله یاری و همکاران  1400 |
| یک کنترل کننده گرمای مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعــی ارائه نمودند که قادر اســت مقدار انــرژی لازم برای تأمین دمای مناسب سـاختمان را بر اساس وضعیت آب و هوایی تعیین نماید | توسعه یک کنترلکننده گرمایش شبکه عصبی  برای ساختمان های خورشیدی شبکه های عصبی | آرگیریو و همکاران  2000 |
| شــبکه عصبــی مصنوعی را برای تولید ساختاری پیشرفته برای تأمین آســایش حرارتی در ساختمان های مسکونی به کاربردند | کاربرد ANN )شبکه عصبی- مصنوعی( در کنترل حرارتی مسکونی | مون و همکاران  2009 |
| شبکه عصبی مصنوعی با دقت بسیار خوبی قادر است مصرف انرژی روزانه بار ســرمایش ساختمان ها را تعیین کند | پیش بینی بار انرژی خنک کننده روزانه برای ساختمان های سازمانی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی | دب و همکاران2016 |
| مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی نسبت به دیگر مدل های موردبررسی، دارای بالاترین دقت در پیش بینی مصرف انرژی هست | پیش بینی مصرف انرژی ایران با استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با الگوهای سنتی | میر فخرالدینی  و همکاران 1400 |
| اجرای اساسی CNN-LSTM می تواند برای تکمیل  روش های مرسوم برای پیش بینی SR، فراهم کردن امکانات برای نظارت بر تشعشع با هزینه کم و تشویق اتخاذ مدیریت مبتنی بر داده استفاده شود | کاربرد مدل هوش مصنوعی پیش بینی تابش  خورشیدی برای سیستم های انرژی های تجدید پذیر | الکهطانی و همکاران  2023 |
| ANN همبستگی خوبی بین متغیرهای تصمیم گیری و تابع هدف انجام داد. علاوه بر این ،MOGA با موفقیت چندین متغیر |  |  |
| طراحی ممکن جایگزین را برای دستیابی به سیستم بهینه از نظر آسایش حرارتی و مصرف انرژی سالانه فراهم می کند .درنتیجه، بهینه سازی که دو هدف را در نظر میگیرد، بهترین نتیجه را در رابطه با آسایش حرارتی و مصرف انرژی در مقایسه با طراحی کیس پایه نشان می دهد. | بهینه سازی مصرف انرژی سیستم HVAC در ساختمان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم  ژنتیک چندهدفه | نصرالدین و همکاران  2019 |

**جدول 2: مروری بر عملكرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، مأخذ: نگارنده ،**

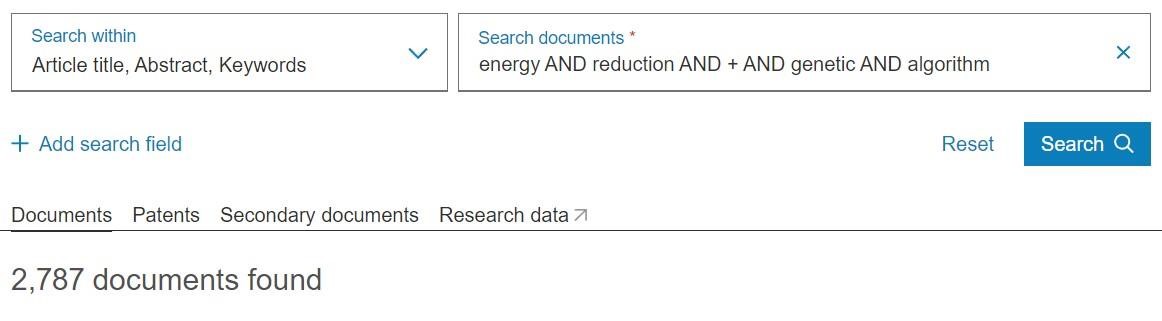
**1402**

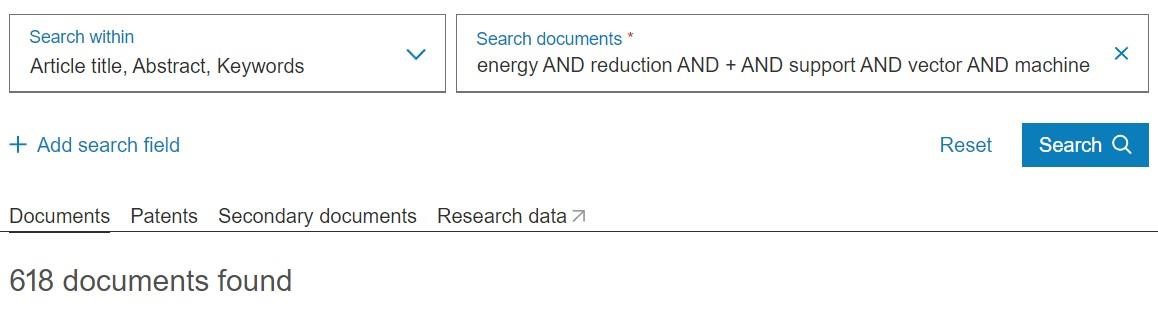
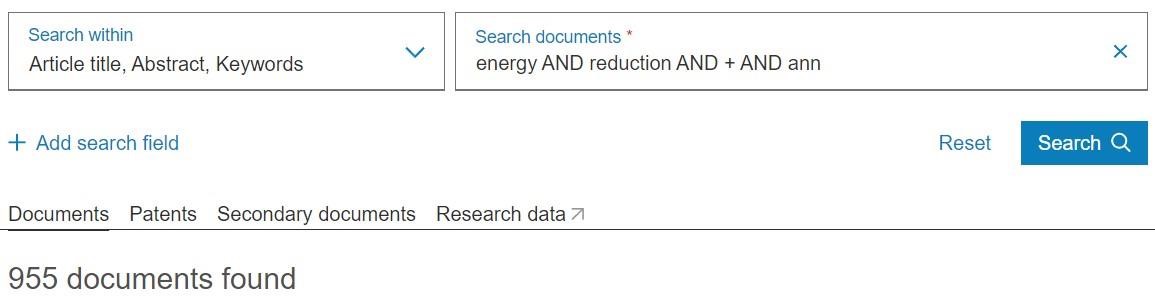
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ماشین بردار پشتیبان** | |  |
| **توضیحات** | **منبع** | **نویسنده** |
| متغیرهایی مانند مصالح دیوار و سقف، تعداد و نوع پنجرهها و |  |  |
| ضخامت عایق دیوار و سقف انتخاب کردند. چندین حالت مختلف با استفاده از نرمافزار Desi gnBui l der مورد ارزیابی قرار گرفت .  آموزش دادهها با یک ماشین بردار پشتیبانی شده )SVM( رابطه بین ورودیها و دو خروجی حیاتی، یعنی میزان مصرف انرژی و تولید 2CO را نشان داد و از الگوریتم کلونی مورچهها برای بهینه سازی استفاده شد | مصرف انرژی و بهینه سازی تولید  دیاکسید کربن در یک ساختمان آموزشی با  استفاده از ماشین بردار پشتیبانی شده و سیستم کلونی مورچهها | آنوپانگ و همکاران  2023 |
| اجرای موازی روش ماشین های بردار پشتیبان )SVM( برای اولین |  |  |
| بار برای پیش بینی مصرف انرژی در چندین ساختمان بر اساس مجموعه داده های سری زمانی بزرگ اعمال کردند .SVM عملکرد خوبی در پیش بینی عملکرد انرژی ساختمان برای برخی از کارهای مرتبط نشان داده است | ماشین های بردار پشتیبان موازی که برای پیش بینی مصرف انرژی چند ساختمان به کار میروند | زایو و ماگولز  2010 |
| استفاده از ماشین بردار پشتیبان، مدلی برای پیش بینی مصرف  انرژی ایجاد شد. م[43]ین درصد خطای مطلق مدل 2.44 درصد و |  |  |
| ضریب تعیین مدل 94.72 2R درصد است که برازش کلی مدل را بیان می کند. این مدل برای همه شرکتکنندگان در طراحی ساختمان ها، به ویژه در مراحل اولیه مفید است. این می تواند به عنوان یک مدل پشتیبان تصمیم در طول فرآیند انتخاب طراحی ساختمان بهینه عمل کند. | پیش بینی مصرف انرژی در ساختمان ها با استفاده از ماشین بردار پشتیبان | ساماردزیوسکا و همکاران  2021 |
| روش SVM می تواند مصرف انرژی ساختمان را با دقت خوبی با  MSE کمتر از 31-E و ²r بیش از 0.991 تخمین بزند | استفاده از ماشین های بردار پشتیبان برای پیش بینی مصرف انرژی ساختمان در چین | ژیتونگ و همکاران  2015 |
| شبکه عصبی مصنوعی )ANN( و ماشین بردار پشتیبان )SVM(، |  |  |
| به عنوان مدل های اپیدمی، از نظر پیچیدگی فرآیندهای پیش بینی، دقت نتایج، مقدار داده های تاریخی موردنیاز، تعداد ورودیها و غیره مقایسه  شدند. از طریق مقایسه بین روش های یادگیری ماشین )ANN و SVM( بهصورت واحد و ترکیبی ،میتوان دریافت که مدل های مختلف دارای ویژگیهای مختلفی هستند که در شرایط مختلف قابلاجرا میباشند | تجزیه وتحلیل دقت و مقایسه مدل  یادگیری ماشین که در پیش بینی مصرف انرژی ساختمان اتخاذشده | لیو و همکاران 2019 |

**جدول 3: مروری بر عملكرد الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان، مأخذ: نگارنده ،1402**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **الگوریتم ژنتیک** | | |
| **توضیحات** | **منبع** | **نویسنده** |
| بهینه سازی چند هدفه با تجسم مرزهای فضای راه حل به طور قابل ملاحظهای پیچیدگی مشکل را کاهش داده و می تواند طراح را در  دستیابی به مجموعه ای از متغیرهایی که به طور همزمان مقادیر نسبتاً  خوب از تمام توابع هدف در نظر گرفتهشده و امکان انتخاب گزینه هایی با الویت هر یک از اهداف متضاد برای دستیابی به توافق بین انتظارات پروژه و طراحی نهایی را پشتیبانی کند | بهینه سازی چند هدفه شاکله پنجره  به منظور تأمین همزمان مؤلفه های آسایش بصری و کارایی انرژی از طریق الگوریتم ژنتیک )نمونه موردی: کلاس درس ابتدایی در تهران - ایران) | محمدی و مفیدی شمیرانی  1399 |
| الگوریتم ژنتیک با یک موتور تحلیل مرتبط شد تا بتواند پاسخهای تولیـدش را توسـط آن ارزیـابی کرده و با اعمال پروسه بهینه سازی، بهترین پاسخها را برای مسئله طراحی ارائه کند | بهینه سازی مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک | سعیدی و شهرآئینی  1381 |
| مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی نسبت به دیگر مدل های موردبررسی، دارای بالاترین دقت در پیش بینی مصرف انرژی هست | پیش بینی مصرف انرژی ایران با استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با الگوهای سنتی | میرفخرالدینی و همکاران  1400 |
| بهینه سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک چند هدفه با دو مبرد مختلف )R134a و 717R( در چرخه تبرید فشردهسازی بخار سیستمها انجام |  |  |
| شد. سپس یک نقطه طراحی سیستم واحد با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیارِ انتخاب شد. مصرف برق هنگام استفاده از  سیستم مبتنی بر ذخیره انرژی حرارتی در مقایسه با سیستم معمولی برای برنامههای تهویه مطبوع کمتر بود. دو سیستم مدلسازی شده بر اساس رسانه ذخیره سازی، استراتژی های عملیاتی و مبرد مورداستفاده مقایسه شدند | تجزیه وتحلیل فنی-اقتصادی و  زیست محیطی الگوریتم ژنتیک )GA(  ذخیره سازی انرژی گرمایی سرد )CTES( بهینه سازی شده برای کاربردهای تهویه مطبوع | بارثوال و همکاران  2021 |
| الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بیزی، پلهایی را بین مدل های انرژی  ساختمان مبتنی بر فیزیک و ابزارهای بهینه سازی قوی موجود در پایتون ارائه می کند که می تواند امکان دستیابی به بهینه سازی جهانی را به شیوهای کارآمد محاسباتی فراهم کند | رویکردی جدید برای بهینه سازی مدل های انرژی ساختمان با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین | [19]  2023 |
| ابزارهای BI M و برنامه نویسی بصری را با تکنیک های هوش |  |  |
| مصنوعی مانند الگوریتم های ژنتیک و بهینه سازی مبتنی بر مدل RBFOpt ادغام می کند. الگوریتم های بهینه سازی برای شناسایی بهترین راه حل هایی که تمام اهداف طراحی را برآورده می کنند، استفاده می شوند و به معماران کمک می کنند تا طرحهای خود را بهینه کنند و به نتایج دلخواه برسند | بهینه سازی مبتنی بر مدل RBFOpt:  پروژه GENI US به حداکثر رساندن راندمان  انرژی و عملکرد نور روز در ساختمان های  اداری در BI M" | راتایچاک و همکاران  2023 |
| عملکرد الگوریتم بهینه سازی می تواند با تغییر پیکربندی بافت شهری در حین حل مشکل مشابه تحت متغیرها و اهداف طراحی متفاوت باشد | بررسی عملکرد الگوریتم ژنتیک و ذرات ازدحام برای بهینه سازی روشنایی روز و عملکرد انرژی دفاتر در اسکندریه مصر | علام و بسیونی 2023 |
| راه حل های بهینه در تمام اقلیمها با موفقیت کاهش مصرف انرژی و LCC را متعادل کرده اند؛ اما ساعات عدم آسایش در هر دو اقلیم مدیترانه ای و نیمه خشک نسبت به اقلیم خشک درصد کاهش کمتری دارد. | مدل بهینه سازی الگوریتم ژنتیک چند  هدفه برای بهره وری انرژی پوشش ساختمان مسکونی تحت شرایط مختلف آب و هوایی در مصر | الشیخ و همکاران  2021 |
| از شبیه سازیهای دینامیک سیالات محاسباتی )CFD( و |  |  |
| شبکه های عصبی مصنوعی )ANN( برای پیش بینی حرکت هوای داخل خانه با زمان و بار محاسباتی کمتر استفاده کردند. این پژوهش همراه با الگوریتم ژنتیک )GA(، رویکردی را توسعه می دهد که تهویه طبیعی را در اتاقهایی با پنجره های یک طرفه امکانپذیر می کند | کاربرد یادگیری ماشین )ML( و الگوریتم ژنتیک )GA( برای بهینه سازی طراحی دیوار بال پنجره برای تهویه طبیعی | یی و همکاران 2023 |
| مصرف برق سرمایشی سالانه حدود 8/19 تا 3/33 درصد کاهش |  |  |
| و گرمایش و روشنایی سالانه به ترتیب 7/1 تا 8/4 درصد و 5/0 تا 6/2 درصد در مقایسه با مدل های دیگر افزایش داده شده است که منجر به کاهش بهینۀ 6/1 تا 3/11 درصد از کل تقاضای برق سالانۀ ساختمان می شود. | بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات  تک و چند هدفه و ژنتیک | زاهدی و همکاران  1401 |

طبق بررسی مقالات مختلف در سایتهای معتبر انتشار مقالات علمی و همچنین جستجوی اسکوپوس )شکل (1 میتوان دریافت که از بین سه الگوریتم معرفی شده، در راستای کاهش و بهینه سازی انرژی ساختمان تا سال 2023، به ترتیب الگوریتم ژنتیک با 2787 موردپژوهشی، شبکه عصبی مصنوعی با 955 موردپژوهشی و شبکه بردار پشتیبان با 618 عنوان پژوهشی ،مورداستفاده قرارگرفته اند.





**شكل 1. جستجوی مقالات پژوهشی الگوریتم های معرفیشده و کاهش انرژی در اسكوپوس، مأخذ: نگارنده ،1402**

**6-بحث و نتیجه گیری**

هدف از این مطالعه مروری معرفی پرکاربردترین الگوریتم های یادگیری ماشین تحت نظارت هوش مصنوعی، برای بهینه سازی عملکرد انرژی ساختمان است .اخیراً به دلیل سرعت و دقت بالا ،الگوریتم های هوش مصنوعی، در بسیاری از تحقیقات به منظور بهبود عملکرد انرژی ساختمان ها مورداستفاده قرارگرفته اند. در این تحقیق ،پژوهش هایی با هدف بهینه سازی مصرف انرژی ساختمان ها با استفاده از هوش مصنوعی موردبررسی قرار گرفته و الگوریتم های مختلف هوش مصنوعی در این راستا استفاده شده اند. بر اساس نتایج بهدست آمده از جستجوی اسکوپوس، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان به ترتیب بیشترین کارایی را در بهینه سازی و پیش بینی مصرف انرژی ساختمان ها از خود نشان داده اند. با توجه به پرکاربرد بودن الگوریتم ژنتیک در این حوزه ،میتوان آن را به عنوان یک گزینه مناسب برای بهینه سازی و پیش بینی مصرف انرژی در نظر گرفت. در این الگوریتم به دلیل اینکه معمولاً چندین متغیر برای ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان در نظر گرفته می شود و این متغیرها را می توان به راحتی در لایه های مختلف ورودی الگوریتم قرارداد، می تواند به عنوان یکی از گزینه های اصلی برای بهینه سازی و پیش بینی مصرف انرژی مورداستفاده قرار گیرد. همچنین، الگوریتم ژنتیک همانند سایر الگوریتم ها دارای اشکالاتی است و در پژوهش های انجام شده تا به حال، از راه حل های مختلفی برای افزایش دقت و سرعت آن استفاده شده است .یکی از راه حل هایی که برای بهبود عملکرد الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده است ،تلفیق آن با الگوریتم ها و روش های دیگر هست. لازم به ذکر است که هر الگوریتم یادگیری ماشین، نیازهای شرطی خاص خود را دارد و برای انتخاب هر یک از آنها، باید با توجه به نیاز و داده های موجود، تصمیم گیری صورت گیرد. درصورتیکه الگوریتم های یادگیری ماشین به درستی انتخاب گردند، پیش بینی های دقیق تری را ارائه می دهند و در نهایت با اطمینان میتوان از نتایج برای بهینه سازی مصرف انرژی استفاده نمود. انتظار می رود این پژوهش دیدگاهی به خوانندگان بدهد تا بتوانند در شناسایی گزینه های موجود الگوریتم های هوش مصنوعی، تصمیمی آگاهانه بگیرند و سپس الگوریتم مناسب را در زمینه حل مسئله خاص انتخاب کنند.

**مراجع**

[1] Baldwin, S. (2015) Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities; U.S. Department of Energy: Washington, DC, USA.

[2]Heydari, Shahin, (2014), thermal compatibility in architecture is the first step in saving energy consumption, Tehran: Tehran University Press.

[3]Yan Zhang, Bak Koon Teoh, Maozhi Wu, Jiayu Chen, LimaoZhang, (2023). Dat a-driven estimation of building energy consumption and GHG emissions using explainable artificial intelligence, Energy, Volume 262, Part A, 125468. I SSN 0360-5442[,](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125468) [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125468) [.org/10.1016/j](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125468) [.energy.2022.125468.](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125468)

[4]Ghafari Jabbari Sh, Sal eh E (2013). Housing Design Solutions in Tehran Energy Optimization. Journal of Energy Pl anni ng and Policy Research, 1st year, No.1, 2013.

[5]Abraham Nathan Zoure, Paolo Vincenzo Genovese, (2023). Implementing natural ventilation and daylighting strategies for thermal comfort and energy efficiency in office buildings in Burkina Faso, Energy Report s, Volume 9, Pages 3319-3342. IIII 2352-4847. https://doi .org/10.1016/jegyr.2023.02.017.

[6]Wet ter, M.; Wright , J . (2003). Comparison of a generalized pat t ern search and a genetic algorithm optimization met hod. I n Proceedings of the 8t h I BPSA Conference, Eindhoven, The Netherlands, 11–14 August ; pp. 1401–1408.

[7]Al -Homoud MS. (1997). Optimum thermal design of office buildings. International Journal of Energy Research 21: 941-957.

[8]Shi Y. (2014). Development al swarm intelligence: developmental learning perspective of swarm intelligence algorithms. International Journal of Swarm Intelligence Research 5

:36–54.

[9]Souomela , J . (2013). Survey of localalgorithms. ACM Computing Surveys 45: 24-40

[10]Si , Binghui , Zhi chao Ti an, Wenqiang Chen, XingJin, Xi n Zhou, and Xi ng Shi . (2019).

"Performance Assessment of Algorithms for Building Energy Optimization Problems with Different Properties" Sustain ability 11, no. 1: 18[.](https://doi.org/10.3390/su11010018) [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.3390/su11010018) [.org/10.3390/su11010018](https://doi.org/10.3390/su11010018)

[11]Allah yari , F., Behbahani nia, A., Rahami , H., Farahani , M., & Khadi vi , S. (2021). Optimizing energy consumption in the building sect or using neural networks and PSO algorithms (Case study: Bandar Abbas ci t y). Journal of Environmental Science and Technology, 23(10), 1-17. doi : 10.30495/jest .2021.53494.5103

[12]Mohammadi, Firouzeh and Mofidi Shemirani, Sidmjid (2019). Multi-objective optimization of the window shape in order to simultaneously provide the components of visual comfort and energy efficiency through genetic algorithm (case example: elementary classroom in Tehran-Iran). Geography of the land,

. https://si d.i r/paper/951351/f a1-20,) 68(17

[13]Argiriou, AA & Bel l as-Velidis, Ioannis & Balaras, Constantinos. (2000). Development of a neural network heating control l er f or solar buildings. Neural networks : the official journal of the International Neural Network Society. 13. 811-20. 10.1016/I0893-6080)00(00057-5.

[14]Moon, Jin & Jung, Sung Kwon & Ki m, Jong-Jin. (2009(. IIIIIIIIIII II III )IIIIIIIIII-neural network) in residential thermalcontrol . I BPSA 2009 - International Bui l di ng Performance Simulation Association 2009.

[15]Chi rag Deb, Lee Siew Eang, Junjing Yang, Mat theos Santamouris, (2016). Forecasting diurnal cooling energy load for institutional buildings using Artificial Neural Networks, Energy and Bui l dings, Volume 121, Pages 284-297, I SSN 0378-7788, [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.050) [.org/10.1016/j](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.050) [.enbuild.2015.12.050.](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.050)

[16]Saeedi Mohammad Hassan, Shahr aayini Ebrahim, (1381). Optimization of energy consumption in buildings using genetic algorithm, the second conference on optimization of fuel consumption in buildings, Tehran, 2432/ <https://civilica.com/doc>

[17]Mirfakhredini et al (1400), Forecasting Iran's energy consumption using the genetic algorithm-artificial neural network hybrid model and comparing it with traditional models

[18]Barthwal , Mohit & Dhar, Atul & Powar, Satvasheel , (2021). ["The techno-economic and envi ronmental analysis of genet i](https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v283y2021ics0306261920316445.html) [c al gori t hm (GA) opt i mi zed cold thermal energy storage (CTES) for air-conditioning applications,"](https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v283y2021ics0306261920316445.html) [Appl i ed Energy,](https://ideas.repec.org/s/eee/appene.html) Elsevier, vol . 283(C).

[19]Kubwimana, Benjamin & Najafi , Hamidreza. (2023). A Novel Approach f or Optimizing Bui l di ng Energy Models Using Machi ne Learning Algorithms. Energies. 16. 10.3390/en16031033.

[20]Alkahtani , Hasan, Theyazn H. H. Aldhyani , and Saleh Nagi Alsubari . (2023). "Application of Artificial Intelligence Model Solar Radiation Prediction f or Renewable Energy }0}Systems" Sustain ability 15, no. 8: 6973. https://doi .org/10.3390/su15086973.

[21]Shet a, A., & Turabi eh, H. (2006). A comparison bet ween genetic algorithms and sequential quadratic programming in solving constrained optimization problems. Inter national Journal on artificial intelligence and machine learning (AI ML), 6(1), 67-74.

[22][Al l am, A.S.](https://www.emerald.com/insight/search?q=Amr%20S.%20Allam)[, Bassi oni](https://www.emerald.com/insight/search?q=Hesham%20Bassioni) [, H.](https://www.emerald.com/insight/search?q=Hesham%20Bassioni)[, Ayoub, M.](https://www.emerald.com/insight/search?q=Mohammed%20Ayoub) and [Kamel](https://www.emerald.com/insight/search?q=Wael%20Kamel) [, W.](https://www.emerald.com/insight/search?q=Wael%20Kamel) (2023), "Investigating the performance of genetic algorithm and particle swarm f or optimizing daylighting and energy performance of offices in Al exandria, Egypt "[, Smart and Sust ai nabl](https://www.emerald.com/insight/publication/issn/2046-6099)[e](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\e) [Bui l](https://www.emerald.com/insight/publication/issn/2046-6099) [t Environment](https://www.emerald.com/insight/publication/issn/2046-6099) [,](https://www.emerald.com/insight/publication/issn/2046-6099) Vol . 12 No. 3, pp. 682-700[.](https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2021-0202) [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2021-0202) [.org/10.1108/SASBE-11-2021-0202.](https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2021-0202)

[23]Al-Sheikh et al (2021), Multi genetic algorithm optimization model Targeted for energy efficiency of residential building envelope under different weather conditions in Egypt

[24]Yun Kyu Yi , Manal Ani s, Keun J ang, You-Jeong Ki m, (2023). Application of machi ne l earning (ML) and genetic algorithm (GA) to optimize window wing wall design for natural ventilation, Journal of Bui l di ng Engineering, Volume 68, 106218. I SSN 2352-7102[,](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106218) [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106218) [.org/10.1016/j](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106218) [.j obe.2023.106218.](https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106218)

. [25]P. 2-1. Zahedi. Rahim Moradipur. Zahra & Ahmadi. Abolfazl (1401). Building energy consumption optimization using single and multi-objective particle swarm optimization algorithm and genetics. Sustainable Energy Systems Quarterly, (2) 1, 111-129, 2022.90568.doi: 10.22059/ ses

[26]Ratajczak, J .; Siegel e, D.; Niederwieser , E. (2023). Maxi mi zi ng Energy Efficiency and Dayl i ght Performance in Office Buildings in BI M through RBFOpt Model -Based Optimization: The GENI US Project . Preprints.org , 2023051314. [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.20944/preprints202305.1314.v1) [.org/10.20944/preprint](https://doi.org/10.20944/preprints202305.1314.v1) [s202305.1314.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202305.1314.v1)

[27]Zhao, H., & Magoulès, F. (2010). Parallel Support Vector Machines Applied to the Prediction of Multiple Buildings Energy Consumption. Journal of Algorithms and Computational

[28]Samardziwska et al(2021), Prediction of energy consumption in buildings using support vector machine

[29]Ma, Zhitong & Ye, Cant ao & Li , Huashan & Ma, Wei bi n. (2018). Applying support vector machines to predict building energy consumption in China. Energy Procedia. 152. 780-786.

10.1016/I.IIIIII.2018.09.245.

[30]Li u, Zhijian, Di Wu, Yuanwei Liu, Zhonghe Han, Li yong Lun, J un Gao, Guangya Jin, and GuoqingCao. (2019). “Accuracy Analyses and Model Comparison of Machi ne Learning Adoptedin

Bui l di ng Energy Consumption Prediction.” Energy Exploration and Exploitation 37 (4): 1426–51. [IIIII://III.III/10.1177/0144598718822400.](https://doi.org/10.1177/0144598718822400)

[31]Nasruddin, Sholahudin, Puj o Satrio, Teuku Meurah Indra Mahlia, Niccolo Giannetti , and Kiyoshi Sai to. (2019). “Optimization of HVAC System Energy Consumption in a Bui l di ng Usi ng Artificial Neural Network and Multi -Objective Genet i c Al gori t hm.” Sustainable Energy Technologies and Assessment s 35 (October 2018): 48–57[.](https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.002) [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.002) [.org/10.1016/j](https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.002) [.set](https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.002) [a.2019.06.002.](https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.06.002)

[32]Bui , DacKhuong, Tuan Ngoc Nguyen, Tuan Duc Ngo, and H. Nguyen-Xuan. (2020). “An Artificial Neural Network (ANN) Expert System Enhanced with the Electromagnetism-Based Fi ref l y Al gori t hm (EFA) f or Predicting the Energy Consumption in Buildings.” Energy 190. [https](file:///C:\Users\BORNAsystem\Desktop\https)[://doi](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116370) [.org/10.1016/j](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116370) [.energy.2019.116370.](https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116370)

[33]Al paydin, E. (2004). Introduction To Machi ne Learning. S.L.: Mi t Press.

[34]M. I . Jordan and T. M. Mitchell , (2015). “Machi ne learning: Trends, perspectives, and prospect s.” Science (80-. )., vol . 349, no. 6245, pp. 255–260.

[35]Marsl and, S. (2015). Machine Learning : an algorithmic perspective. Boca Rat on, Fl : Crc Press.

[36]wazan Milad, (1400), machine learning and data science: basics, concepts, algorithms and tools, Miyad Andisheh, Tehran.

[37]Ayon Dey, (2016) “Machi ne learning algorithms: A review”. International journal of computer science and information technologies, Vol 7 (3),1174-1179.

[38]S. Ray, (2019) "A Qui ck Review of Machi ne Learning Algorithms," 2019 International

Conference on Machi ne Learning, Bi g Dat a, Cl oud and Parallel Computing (COMITCon), Faridabad, India, pp. 35-39. III: 10.1109/IIIIIIII.2019.8862451.

[39]Akinsola, J E T. (2017). Supervised Machi ne Learning Algorithms: Classification and Comparison. International Journal of Computer Trends and Technology (I J CTT). 48. 128 - 138. 10.14445/22312803/IIIII-I48I126.

[40][Charu C. Aggarwal](https://www.google.com/search?tbo=p&tbm=bks&q=inauthor:%22Charu+C.+Aggarwal%22&source=gbs_metadata_r&cad=4) [,](https://www.google.com/search?tbo=p&tbm=bks&q=inauthor:%22Charu+C.+Aggarwal%22&source=gbs_metadata_r&cad=4) (2018), Neural Networks and Deep Learning: A Text book, Springer International Publishing, I SBN 3319944622, 9783319944623.

[41]Al Tabbaa, Omar, and Samuel Ankrah. (2016). “University of Huddersfield Repository.” Technological Forecasting & Social Change 104 (December 2017): 1–15

[42]Kevi n, Gurney. (1999) an Introduction to Neural Networks, UCL Press, Ch. 1-4, 6, 8.

[43]Condoleezza Rice, John B. Taylor, Jennifer Widom, Amy Zegart ,THE STANFORD EMERGING TECHNOLOGY REVIEW )2023( , https://hai stanford.edu/sites/default /files/2020-09/II-IIIIIIIIIII-HAI .pdf

[44]Yeh, J . Y., & Li n, W. S. (2007). Using simulation technique and genet i c algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department . Journal of expert systems with applications, 32(4), 1073-1083.

[45]Shet a, A., & Turabi eh, H. (2006). A comparison bet ween genetic algorithms and sequential quadratic programming in solving constrained optimization problems. Inter national Journal on artificial intelligence and machine learning (AI ML), 6(1), 67-74.

[46]Rahnama Shakiba, (1400), a review of optimization problems for machine learning, thesis in the field of mathematics and applications, University of Tehran