



بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه‌های بخار با استفاده از شبکه عصبی دو بعدی CNN با تاکید بر کنترل آلاینده‌گی و تاثیرات زیست‌محیطی

گوهر ورامینی*

یاسر نعمتی

گروه مهندسی برق، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران
گروه مهندسی کامپیوتر، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: در این مقاله در ابتدا تجهیزات نیروگاه بخار مورد بررسی قرار گرفته است و در مرحله بعد اثرات مخرب ناشی از شرایط محیطی مانند دما، حرارت و شرایط جوی بر عملکرد نیروگاه‌ها و کنترل آلاینده‌گی به صورت تخصصی نیروگاه بخار مطرح و ارائه شده است و در نهایت ارائه یک مدل پیشنهادی با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق به منظور کاهش اثرات مخرب، کنترل آلاینده‌گی و بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه‌ها با استفاده از شبکه عصبی کانولوشنی دوبعدی و راه‌حلی جهت کاهش مصارف داخلی نیروگاه با توجه به فاکتور شرایط محیطی و کنترل آلاینده‌گی پرداخته شده است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۸

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، داده‌ها پردازش و به سه دسته آموزش، اعتبارسنجی و تست تقسیم می‌شوند. سپس روش هوش مصنوعی با داده‌های یادگیری مورد آموزش قرار گرفته تا دقت مطلوب و در نهایت بهینه‌سازی صورت گیرد.

نتایج و بحث: در این پژوهش شرایط جغرافیایی، کنترل آلاینده‌گی و آب‌وهوایی در ایران، درصد مصارف داخلی و واحدهای صنعتی بهره‌برداری شده و میزان بار مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. اقدامات نیروگاه جهت کاهش مصارف داخلی و کاهش تلفات حرارتی و الکتریکی به صورت برنامه‌ریزی جهت خارج نمودن فن‌های برج با توجه به دمای آب خنک‌کن و تغییرات دمای هوای محیط و کاهش نسبی مصارف الکتریکی با استفاده از یادگیری عمیق و به صورت هوشمند با به کارگیری داده‌های آموزشی و شبکه عصبی کانولوشنی دو بعدی ارائه شده است. معیارهای ارزیابی شامل ضریب تعیین، میانگین قدر مطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا که ضریب اطمینان بالایی را پوشش می‌دهند تشکیل و مورد بررسی است. نتایج نشان می‌دهند که روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی با ضریب تعیین ۰/۹۶، میانگین قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۶۳ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۰۹۶، و همچنین روش رگرسیون فرآیند گوسی با ضریب تعیین ۰/۹۴، میانگین قدرمطلق خطا برابر ۰/۰۹۳، عملکرد بسیار مطلوب و با ضریب اطمینان بالایی در کاهش اثرات مخرب و کارایی بهتر سیستم را ایجاد و تامین خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: نیروگاه‌های

بخار، شبکه عصبی دوبعدی، کنترل آلاینده‌گی، هوش مصنوعی، تاثیرات زیست‌محیطی

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، میزان تاثیر مخرب محیطی و اثرات آلاینده‌گی با استفاده از یادگیری عمیق و هوش مصنوعی تا حد بسیار زیادی کاهش یافته است و این امر باعث افزایش ضریب اطمینان سیستم و بهبود عملکرد قابل قبول نیروگاه‌ها در زمان زیر بار است و نتایج بیانگر آن است که روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی دقت بیش‌تری در تخمین و بهینه‌سازی سیستم‌ها برعهده دارد و دارای ضریب اطمینان بالاتری است.

نویسنده مسئول: گوهر ورامینی

نشانی: گروه مهندسی برق، واحد بیضا، دانشگاه آزاد اسلامی، بیضا، ایران

تلفن: ۰۹۱۷۷۰۰۱۰۴۴

پست الکترونیکی: Gohar.Varamini@iau.ac.ir

استناد: ورامینی گوهر، نعمتی یاسر. بهینه‌سازی عملکرد نیروگاه‌های بخار با استفاده از شبکه عصبی دو بعدی CNN با تاکید بر کنترل آلاینده‌گی و تاثیرات زیست‌محیطی. پژوهش‌های

نوین در مهندسی محیط زیست. ۱۴۰۳؛ ۸(۲): ۲۶-۱۵.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> در فصلنامه پژوهش‌های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

به‌طور کلی نیروگاه‌های بخاری جزء مهم‌ترین نیروگاه‌های حرارتی در اکثر کشورها به‌شمار می‌آیند و ایران سهم بسیار زیادی را در تولید انرژی الکتریکی بر عهده دارد به‌طوری‌که سهم تولید این نیروگاه‌ها بیش از ۷۰٪ کل تولید انرژی کشور است. در این نیروگاه‌ها از منابع انرژی فسیلی از قبیل نفت، گاز طبیعی، مازوت و غیره استفاده می‌شود. به این ترتیب که از این سوخت‌ها جهت تبدیل به انرژی حرارتی استفاده شده و این انرژی به انرژی مکانیکی و در مرحله بعد به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد. به‌عبارت دیگر در این نیروگاه‌ها سه نوع تبدیل انرژی صورت می‌گیرد. اولین نوع تبدیل انرژی شیمیایی (انرژی نهفته در سوخت) به انرژی حرارتی است که این تحول در وسیله‌ای به‌نام دیگ بخار صورت می‌گیرد این تبدیل انرژی باعث می‌شود که آب ورودی تبدیل به بخار با دمای زیاد شود. در مرحله دوم، تبدیل انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی که این تحول در توربین نیروگاه صورت می‌گیرد. آخرین مرحله از تبدیل انرژی در نیروگاه‌های بخاری، تبدیل انرژی مکانیکی موتور به انرژی الکتریکی می‌باشد که این تحول در ژنراتور نیروگاه‌ها صورت می‌گیرد. در نهایت انرژی الکتریکی توسط خطوط انتقال به مصرف‌کنندگان منتقل می‌شود. یکی از مهم‌ترین تجهیزات در این نیروگاه‌ها، دیگ بخار است که در آن، آب تغذیه شده توسط پمپ تغذیه با جذب حرارت، به بخار پس تافته تبدیل می‌گردد. گازهای کوره قسمتی از حرارت خود را به لوله‌های آب و سوپرهیترها می‌دهد و هنوز دارای مقدار زیادی حرارت می‌باشد که این حرارت همراه گازهایی اگر بدون استفاده از دودکش خارج شود از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و راندمان دستگاه پایین خواهد بود لذا با استفاده از یک اکونومایزر از این حرارت باقی‌مانده استفاده می‌نمایند. اکونومایزر شامل تعدادی لوله‌های سری است که در آخرین مرحله مسیر گازهای حاصله از احتراق قرار گرفته و آب درون لوله‌ها گرم می‌شود. اطراف محفظه احتراق دیگ‌های بخار، تعداد زیادی لوله‌های موازی نزدیک به هم که به لوله‌های اوپراتور موسوم هستند پوشیده شده است. رافعی و همکاران (۲۰۲۱) به‌کارگیری مدل‌های عددی برای تحلیل نیروهای امواج و تأثیرات آن‌ها را مورد بررسی قرار دادند. میسرا و همکاران (۲۰۲۲) به محدودیت‌های روش‌های سنتی تحلیل و نیاز به استفاده از داده‌های بزرگ و پیشرفته تأکید کرده‌اند. چانگ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیرات دما و حرارت بر ویژگی‌های عملکرد نیروگاه‌ها و تحلیل‌های داده‌ای را مورد بررسی قرار داده‌اند. در

زمینه هوش مصنوعی، چن و همکاران (۲۰۱۹) به کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های خروجی سیستم پرداخته‌اند و نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر این روش‌ها نسبت به مدل‌های سنتی است. لی و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی استفاده از یادگیری عمیق برای مدل‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی بر شاخص و تحلیل نیروهای وارد بر سیستم و تأثیرات مخرب آن‌ها پرداخته و نتایج این تحقیق نشان‌دهنده توانمندی بالای تکنیک‌های یادگیری عمیق در این زمینه است. وظیفه این لوله‌ها آن است که بخشی از حرارت حاصل از احتراق را از طریق تشعشعی و جابه‌جایی جذب نماید. در کوره، هر سه نوع انتقال حرارت انجام می‌گیرد. حاصل این تبادل حرارت جذب حرارت توسط داخل آب لوله‌ها و تبدیل آن به بخار است. به‌عبارت دیگر کلیه بخار تولیدی دیگ بخار در این لوله‌ها ایجاد می‌شود. آب دیگ بخار از درام دیگ بخار سرازیر شده و دور بدنه دی‌سوپر هیتر جریان پیدا می‌کند و بخاری را که از لوله‌های تعبیه شده در بدنه دی‌سوپر هیتر عبور می‌کند خنک می‌سازد. برای کنترل درجه حرارت نهایی بخار از سوپاپ‌هایی استفاده می‌نمایند که به‌وسیله موتور کار می‌کنند. این سوپاپ‌ها توسط ترموستاتی که در لوله خروجی سوپرهیتر ثانویه نصب شده کنترل می‌شوند. بدین ترتیب که جریان بخار را با توجه به درجه حرارت مورد لزوم به دی‌سوپر هیتر یا مستقیماً به سوپرهیتر ثانویه هدایت می‌نمایند، این سوپاپ‌ها طوری طراحی شده‌اند که به‌طور دستی نیز می‌توان از آن‌ها استفاده کرد و از این مورد در مواقع اضطراری استفاده می‌شود. این نوع دی‌سوپر هیتر به‌نام دی‌سوپر هیتر غیر تماسی موسوم است چون سیال خنک‌کننده تماس واقعی با بخار ندارد. این نوع روش‌های دستی که جزء روش‌های سنتی به‌شمار می‌آیند و دارای سرعت عملکرد و دقت پایین هستند و در محیط‌های صنعتی پیشرفته چندان مقبول و قابل اعتماد به‌شمار نمی‌آیند از طرفی دارای ضریب اطمینان بسیار کمی نیز هستند. هم‌چنین روش‌های عددی معمولاً علی‌رغم دقت نسبتاً قابل‌قبول جهت تخمین شاخص‌های عملکرد، زمان و هزینه مقرون‌به‌صرفه نیستند. با توجه به این موارد، در سالیان اخیر استفاده از روش‌های یادگیری عمیق، هوش مصنوعی و محاسبات نرم بسیار فراگیر بوده است و قابلیت اطمینان بالاتری را دارا می‌باشند (بهار کامران ۲۰۱۱). سیستم‌های انتقال حرارتی و بخار، در نیروگاه‌ها به‌دلیل قرارگیری در محیط‌های پویا و چالش‌برانگیز، نیازمند تحلیل دقیق و بهینه‌سازی مناسب هستند. با پیشرفت‌های اخیر در زمینه هوش مصنوعی^۱ (AI)، امکانات جدیدی برای بهبود کارایی تحلیل‌های مربوط به این پارامترها فراهم شده است. تحلیل دقیق

۱- Artificial intelligence

شبکه عصبی^۵ (NNR) استفاده شده است و از داده‌های ارتفاع سنج حالت SAR کالبره شده توسط داده‌های شناور درجا برای آموزش و ارزیابی مدل‌های SWAT استفاده شده است. یافته‌های این مقاله برتری شبکه یادگیری عمیق رمزگذار خودکار پیشنهادی را در تولید ویژگی‌های نهفته نشان می‌دهد که به بهبود عملکرد پیش‌بینی مدل‌های SWAT نسبت به روش‌های استخراج ویژگی سنتی کمک می‌کند. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از پژوهش حاضر بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر عملکرد نیروگاه‌ها و حذف اثرات مخرب توسط تخمین و مفاهیم داده‌های هوش مصنوعی می‌باشد. در این مقاله برای حل مسئله پخش بار اقتصادی از الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی^۶ (LBSA) استفاده شد. ابتدا به بیان مسئله پخش بار اقتصادی و فرمول‌بندی آن پرداخته و در ادامه، الگوریتم بهینه‌سازی یادگیری ردیابی بازگشتی (LBSA) و شیوه کار آن بررسی شده است. سپس با استفاده از این الگوریتم مسئله پخش بار اقتصادی، برای سیستم‌های آزمایشی ذکر شده، حل شده است و نتایج حاصل، تحلیل و بررسی و با نتایج حاصل از سایر الگوریتم‌ها، مقایسه و نتیجه‌گیری شده‌اند.

روش‌های سنتی دارای خطای آموزش و کارایی ناکافی تخمین می‌باشد. جهت حل این مسئله، تلاش شده است تا با بهره‌گیری از سایر روش‌های هوش مصنوعی و ترکیب آن‌ها با یکدیگر، روشی نوین ارائه تا ضمن بهبود فرآیند یادگیری منجر به هم‌پوشانی خطای آموزش و بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد و تخمین دقیق‌تری از اثرات مخرب گردد. بنا بر مطالعات و تحلیل‌های به انجام رسیده، استفاده انحصاری از روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی (ساده و عمیق) همانند (دیوس و همکاران (۲۰۱۴)، چن و همکاران (۲۰۱۹) و بریمن (۱۹۹۶)) رافعی و همکاران (۲۰۲۱) می‌شرا و همکاران (۲۰۲۲) و چانگ و همکاران (۲۰۲۱)، جهت تحلیل نیروهای وارد موجب خطای آموزش و کارایی ناکافی در این روش‌ها شده است. جهت حل این چالش، در این پژوهش ایده استفاده و ترکیب سایر روش‌های هوش مصنوعی جهت هم‌پوشانی خطای آموزش و افزایش کارایی تحلیل، به‌عنوان نوآوری و جنبه جدید بودن پژوهش مطرح شده است.

نیروهای وارد بر نیروگاه‌ها با روش‌ها و مدل‌های عددی و آزمایش‌های آزمایشگاهی که انجام می‌گیرد به دلیل پیچیدگی و تنوع شرایط محیطی، نتایج دقیقی ارائه ندهند (ساترلند و همکاران ۲۰۱۶). پارامترهای زیست‌محیطی نظیر دما، حرارت و شرایط محیطی شرایط مخربی را بر روی خروجی سیستم‌ها خواهند داشت و باعث تغییر در الگوی رفتار خطی سیستم و توزیع انرژی می‌گردد، که این مسئله بر تحلیل نیروهای وارد بر نیروگاه‌ها تأثیرگذار است (هریسون و مک دونالد ۲۰۱۵). مدل‌های آماری و عددی مختلفی به منظور پیش‌بینی شاخص‌های تأثیرگذار وجود دارد. این مدل‌ها معمولاً نیاز به داده‌های اولیه و شرایط محیطی برای به‌دست آوردن پیش‌بینی‌های دقیق دارند (یونگ و ورلان ۲۰۱۲). هوش مصنوعی می‌تواند به ویژه در ترکیب با داده‌های زیست‌محیطی بهبود یافته و تحلیل‌های جامع‌تر با ضریب اطمینان بالاتری را ارائه دهد. مطالعات اخیر نشان‌دهنده پیشرفت‌های قابل توجه در تحلیل نیروهای وارد بر نحوه عملکرد نیروگاه‌ها و کاربرد هوش مصنوعی در این زمینه است. ساترلند و همکاران (۲۰۲۱) به محدودیت‌های روش‌های سنتی تحلیل و نیاز به استفاده از داده‌های بزرگ و پیشرفته تأکید بسیار داشته‌اند. دیویس و همکاران (۲۰۱۴) تأثیرات دما و بخار بر ویژگی‌های امواج الکترومغناطیسی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در زمینه هوش مصنوعی، چن و همکاران (۲۰۱۹) به کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی ویژگی‌های امواج پرداخته‌اند و نتایج نشان‌دهنده دقت بالاتر این روش‌ها نسبت به مدل‌های سنتی است. لی و همکاران (۲۰۲۱) نیز به بررسی استفاده از یادگیری عمیق برای مدل‌سازی تأثیرات مخرب زیست‌محیطی و تحلیل نیروهای وارد بر سازه‌ها پرداخته و نتایج این تحقیق نشان‌دهنده توانمندی بالای تکنیک‌های یادگیری عمیق در این زمینه است. گسترش رویکرد معرفی شده در این مقاله، قدرت شبکه‌های عصبی عمیق رمزگذار خودکار را در نگاشت ویژگی‌های ورودی به ویژگی‌های فضای پنهان با قدرت انتخاب ویژگی الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی^۲ (PCA) ادغام نموده است تا ویژگی‌های قابل توجهی از مشاهدات رفتار سیستم ایجاد نماید. در این مقاله چندین مجموعه ویژگی ترکیبی با استفاده از رویکرد پیشنهادی تولید شده و برای مدل‌سازی ارزیابی آب و خاک^۳ (SWAT) از رگرسیون فرآیند گاوسی^۴ (GPR) و رگرسیون

۲- Principal Component Analysis

۳- Soil and Water Assessment Tool

۴- Gaussian Process Regression

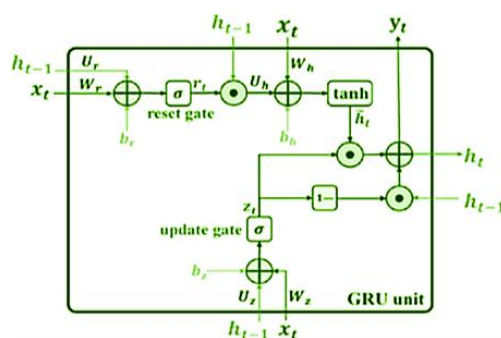
۵- Neural Network Regression

۶- Learning Backtracking Search Algorithm

مواد و روش‌ها

هزینه سوخت برای مشخص کردن توان تولیدی نیروگاه به منظور یک تقریب مناسب، با تابع درجه دوم مشخص می‌شود. بر همین اساس است که در نتیجه، برای تولید انرژی الکتریکی در نیروگاه، هزینه‌ای به دست می‌آید. هزینه کل سیستم، برابر با مجموع هزینه‌های همه واحدها است. مجموع هزینه تولید معمولاً با همان تابع درجه دوم از توان خروجی واحد تولیدی تقریب زده می‌شود. از طرفی معمولاً در پخش بار اقتصادی تابع هزینه دارای نقاط مشتق‌ناپذیر است. که به دلیل در نظر گرفتن بارگذاری نقطه درجه (تخلیه) و یا در نظر گرفتن اثرات موقعیت شیر ورودی تابع هزینه نیروگاه را به صورت حاصل جمع تابع هزینه درجه دوم و قدر مطلق تابع سینوسی در نظر می‌گیرند.

پخش بار اقتصادی و حذف اثرات مخرب حاصل از شرایط محیطی و اثرات مخرب آن‌ها در مراکز کنترل انرژی و به منظور تعیین توان بهینه، از مسائل مهم بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است. براساس بازه زمانی، دو نوع پخش بار معرفی می‌شود: استاتیکی، که در آن برای یک میزان بار مشخص و در یک بازه زمانی، مسئله را به صورت بهینه حل می‌کند و پخش بار اقتصادی دینامیکی که مسئله را برای میزان بارهای مختلف و در چندین بازه زمانی بررسی می‌کند. بدیهی است فرآیند محاسبات در پخش بار دینامیکی، پیچیده‌تر از حالت استاتیکی است. عامل اصلی در توزیع اقتصادی بار، تابع هزینه ژنراتورها است و هزینه‌های دیگر به صورت درصد ثابتی از هزینه سوخت در نظر گرفته می‌شوند. تابع هزینه، تنها برای نیروگاه‌های حرارتی مفهوم دارد. معمولاً تابع

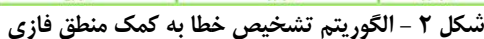


شکل ۱ - الگوریتم تابع هزینه نیروگاه به صورت حاصل جمع تابع هزینه درجه دوم و قدر مطلق تابع سینوسی

در این مقاله، مدل الگوریتم دو بعدی کانولوشنی که شامل یک معادله درجه دوم است استفاده می‌شود. بنابراین، تابع هزینه اصلاح و تابع سینوسی تصحیح شده در تابع درجه دوم گنجانده می‌شوند. با توجه به این اثر، تابع هدف توزیع اقتصادی به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی محدود به صورت رابطه ریاضی توصیف می‌شود. در روند حل مسئله پژوهش ابتدا داده‌های پژوهش پردازش شده و در سه دسته داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و تست (آزمون) جداسازی خواهند شد. در ادامه توسط مجموعه داده‌های آموزش، روش هوش مصنوعی پژوهش را توسط نرم‌افزار آموزش داده و در ادامه یادگیری این روش توسط داده‌های اعتبارسنجی و تست تا زمان دستیابی به کارایی مناسب جهت تخمین مناسب و بهینه ادامه خواهد یافت.

الگوریتم پیشنهادی

با توجه به این که خطای اتصال کوتاه داخلی تأثیر مستقیم بر مشخصه‌های جریان دارد، این ویژگی‌ها به عنوان الگو در جهت

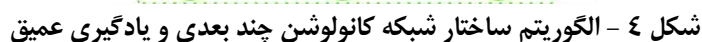


شبکہ عصبی پیچشی-کانولوشن

Diagram illustrating a CNN architecture for handwritten digit recognition. The input is a 28x28 image of a handwritten digit '2'. The architecture consists of several layers:

- Conv 1:** 3x3 kernel, 16 channels, 24x24 output. (28 - 28 = 2)
- Conv 2:** 3x3 kernel, 16 channels, 12x12 output. (24 - 24 = 2)
- Conv 3:** 3x3 kernel, 8 channels, 8x8 output. (12 - 12 = 2)
- Conv 4:** 3x3 kernel, 4 channels, 4x4 output. (8 - 8 = 2)
- FC:** Fully Connected layer with 100 nodes.
- Dropout:** A layer with 100 nodes, where some nodes are randomly dropped.
- Output:** A final layer with 10 nodes representing the digits 0-9.

شکل ۳ - الگوریتم ساختار شبکه کانولوشن چند بعدی

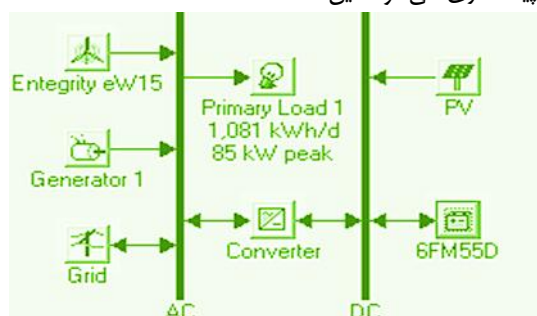


12- ReceptiveField

پیاده‌سازی بهره‌برداری بهینه از ریزشبه اصلی و تخمین توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

به‌منظور دستیابی به اطلاعات اولیه و بهره‌برداری بهینه میزان قدرت خروجی توربین بادی و سلول‌های خورشیدی به‌صورت روزانه در ریزشبه مدنظر به‌صورت شکل ۵ توسط شبکه عصبی کانولوشنی و نرم‌افزار Homer مدل و پیاده‌سازی می‌شود. این

ریزشبه شامل توربین بادی، دیزل ژنراتور، کانورتر و باتری است. روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش به‌منظور تخمین، در ابتدا توسط ۷۸٪ درصد از جامعه داده‌ای سیستم داده‌های اولیه مورد آموزش قرار گرفته و فرآیند اعتبارسنجی روش توسط ۲۵٪ از نمونه‌های موجود در این داده‌ها به انجام رسیده است.



شکل ۵ - مدل پیاده‌سازی زیر شبکه

جدول ۱- بررسی پارامترهای تخمین توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

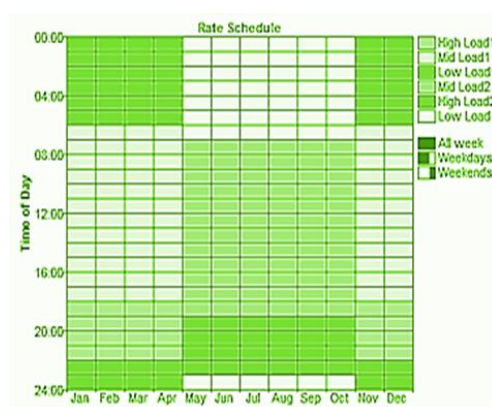
سرعت تخمین (مشاهده/ثانیه)	زمان آموزش (ثانیه)
۷۳۵	۳۹۶۴

جدول ۲ - بررسی پارامترهای تخمین توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی

PV	WT
25	50

ریزشبه در حالت متصل به شبکه اصلی مدل‌شده است. به‌منظور محاسبه قدرت خروجی توربین بادی و سلول‌های خورشیدی نیاز به اطلاعات آب‌وهوایی و مشخصات جغرافیایی روش رگرسیون

فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش در مدت زمان مشخص جهت تخمین آموزش یافته است.



شکل ۶ - مدل خروجی پیاده‌سازی زیر شبکه

همان‌گونه که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، نمودار پراکنش روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا ضریب تعیین یا امتیاز R^2 برابر با ۰/۹۴ می‌باشد.

به بیانی دیگر، مقدار پراکنش (نسبت به خط برازش) مقادیر واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش نسبت به مقدار تخمینی توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی برابر ۰/۹۴ می‌باشد.

نتایج و بحث

جامعه داده‌ای پژوهش

جهت آموزش، یک الگوریتم یادگیری عمیق است که براساس شبکه عصبی کانولوشنی دو بعدی داده‌های اولیه را آموزش می‌دهد و داده‌های ورودی را دریافت می‌کند و به هر یک از اشیا/جنبه‌های موجود در تصویر میزان اهمیت (وزن‌های قابل یادگیری و بایاس) تخصیص می‌دهد و قادر به متمایزسازی آن‌ها

از یکدیگر است. در الگوریتم ConvNet در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های دسته‌بندی به پیش‌پردازش کم‌تری نیاز است که این مسئله خود به‌عنوان توانایی بالای سیستم و کاهش پیچیدگی سیستم می‌گردد. در ادامه میزان توان در حالت خروجی معمولی و بهینه شده با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری قابل محاسبه و تحلیل است (معادله ۱).

$$\begin{aligned} 0 \leq p_{Gin}(t) &\leq X_{Gin} \times P_{Gin.max} \\ 0 \leq p_{Gout}(t) &\leq X_{Gout} \times P_{Gout.max} \end{aligned} \quad (1)$$

در این بخش، معیارهای ارزیابی مورد استفاده در پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش جهت تحلیل نیروهای

وارد بر تخمین، ابتدا از معیار ضریب تعیین یا امتیاز R^2 مطابق با معادله ۲ استفاده خواهد شد.

$$R^2(Y, \hat{Y}) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = 1 - \frac{MSE(Y, \hat{Y})}{\sigma^2(Y)} \quad (2)$$

مطابق معادله ۱ افزایش معیار ضریب تعیین در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده بهبود کارایی تخمین و تحلیل نیروهای وارد بر نیروگاه خواهد بود. معیار دیگر مورد استفاده در

ارزیابی پژوهش میانگین قدر مطلق خطا^{۱۳} (MAE) مطابق با معادله ۳ می‌باشد.

$$MAE(Y, \hat{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (3)$$

کاهش معیار میانگین قدر مطلق خطا، بیان‌کننده کاهش میانگین قدر مطلق خطای تخمین نیروی وارد تاثیرات مخرب شرایط محیطی خواهد بود. معیار دیگر مورد استفاده در ارزیابی پژوهش

جذر میانگین مربعات خطا^{۱۴} (RMSE) مطابق با معادله ۴ می‌باشد.

$$RMSE(Y, \hat{Y}) = \sqrt{MSE(Y, \hat{Y})} \quad (4)$$

کاهش معیار جذر میانگین مربعات خطا در روش‌های مورد مقایسه پژوهش، نشان‌دهنده کاهش میانگین مربعات خطای تخمین شاخص داده‌ها و تحلیل نیروهای وارد بر رفتار خروجی خواهد بود. تجزیه و تحلیل تخمین توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی پس از انجام فرآیند طراحی، توسعه و اعتبارسنجی روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی توسط نرم‌افزار متلب، در

این بخش نتایج تجزیه و تحلیل میزان کارایی و دقت این روش جهت تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط معیارهای ارزیابی پژوهش مطابق با معادلات ۲، ۳ و ۴ استخراج و مورد تحلیل قرار گرفته است. در جدول ۳ مقایسه روش پیشنهادی ترکیبی با دو روش متداول دیگر از نظر شاخص معیار مورد مقایسه قرار گرفته است که مشخص می‌گردد روش پیشنهادی از نظر میزان دقت و

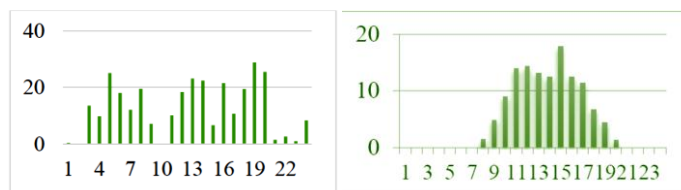
۱۳- Mean Absolute Error

۱۴- Root Mean Squared Error

کارایی در جایگاه بالاتری قرار گرفته و میزان دقت همبستگی بالاتری را دارا می‌باشد. شکل ۷ نمودار نتایج ارزیابی کارایی تخمین توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ - نتایج ارزیابی کارایی تخمین توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

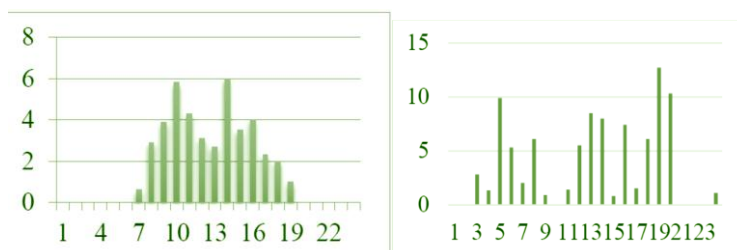
معیار روش	R^2	MAE	RMSE
روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی	۰/۹۴	۰/۰۶۲۸	۰/۰۳۳۶۸



شکل ۷ - نتایج ارزیابی کارایی تخمین توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی

تخمین توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۹ می‌توان نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه با معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) را مشاهده کرد.

همان گونه که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد، روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی دارای ۰/۹۴ قدرت توضیح دهنده (معیار R^2) یا میزان احتمال همبستگی بین نتایج تخمینی و واقعی در جامعه داده‌ای پژوهش می‌باشد. شکل ۸ نمودار نتایج ارزیابی کارایی



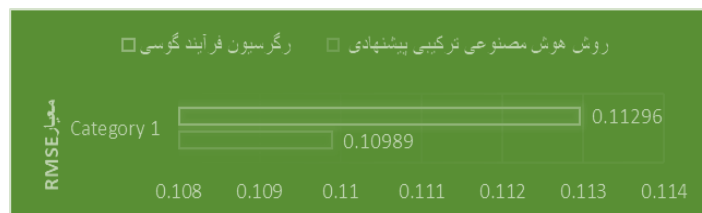
شکل ۸ - نتایج ارزیابی کارایی تخمین توسط روش هوش مصنوعی ترکیبی پیشنهادی



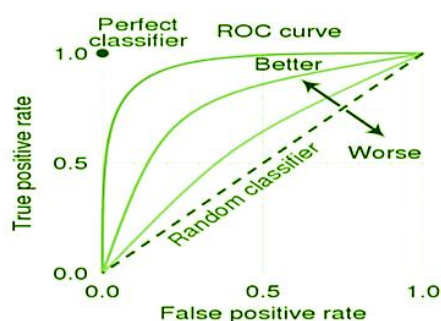
شکل ۹ - نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه با معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE)

ترکیبی پیشنهادی و رگرسیون فرآیند گوسی جهت تخمین ارائه شده است. شکل ۱۰ و ۱۱ نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین توسط معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) را نشان می‌دهد.

مطابق نتایج ارائه شده معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) در روش پیشنهادی پژوهش برابر با ۰/۰۷۹۸ می‌باشد که نسبت به روش مورد مقایسه رگرسیون فرآیند گوسی به میزان ۰/۰۳۶۲۸ جهت تخمین کمتر می‌باشد. نتایج معیار جذر میانگین مربعات خطای (RMSE) در روش مورد مقایسه روش هوش مصنوعی



شکل ۱۰- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین توسط معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)



شکل ۱۱- نتایج ارزیابی روش‌های مورد مقایسه تخمین توسط معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)

میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطای تخمین ارتفاع موج شاخص دریا توسط روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش به ترتیب برابر با ۰/۰۸۳۴۵۵ و ۰/۱۱۲۹۶ می‌باشد.

روش رگرسیون فرآیند گوسی مورد مقایسه پژوهش دارای ۰/۹۴ قدرت توضیح‌دهندگی (معیار R^2) یا میزان احتمال هم‌بستگی بین نتایج تخمینی و واقعی ارتفاع موج شاخص دریا در جامعه داده‌ای پژوهش می‌باشد. همچنین مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مختلف آب‌وهوایی دارد. همچنین بر اساس نتایج حاصل‌شده مشاهده گردید روش ترکیبی هوش مصنوعی، یادگیری عمیق و الگوریتم شبکه عصبی کانولوشنی پیشنهادی تخمین شاخص داده‌ها به دلیل ترکیب غیرانحصاری روش‌های هوش مصنوعی و هم‌پوشانی خطای آموزش توانسته است در معیارهای MAE ، R^2 و $RMSE$ نسبت به روش مورد مقایسه فرآیند گوسی کارایی بهتری داشته باشد. بهبود کارایی تخمین داده‌ها توسط روش ترکیبی هوش مصنوعی پیشنهادی، بهبود کارایی تحلیل نیروهای وارد بر سیستم را به دنبال خواهد داشت که هدف و فرضیه اصلی پژوهش را اثبات می‌نماید.

با توجه به این‌که وابسته بودن میزان تولید انرژی به تاثیرات شرایط مخربی محیطی در این مقاله تبعات مالی کاهش سرعت باد و تابش خورشید در بهره‌برداری بهینه یک شبکه متصل به شبکه اصلی براساس الگوریتم‌های یادگیری عمیق و شبکه عصبی کانولوشنی، تحلیل و بررسی شده است. همچنین، به منظور بررسی عملکرد اقتصادی و بهینه ریزش‌بکه، تفکیک بارهای مصرفی و مدیریت تقاضای مصرف‌کنندگان نیز در مدل‌سازی لحاظ شده است. سپس با بهره‌برداری بهینه از مدل‌سازی و یادگیری داده‌ها انجام می‌گردد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند پیاده‌سازی مناسب مدیریت تقاضا و زمان در شبکه نقش اساسی و در صرفه‌جویی مصرف انرژی الکتریکی، کاهش هزینه عملکرد و کاهش هزینه خرید انرژی الکتریکی از شبکه اصلی در شرایط

References

1. H. R. E.-H. M. S. Y. AbubakarShaabana;, "Decomposition based multiobjective evolutionary algorithm for PV/Wind/Diesel Hybrid Microgrid System design considering load uncertainty," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 52-69, 2021.
2. N. Eghtedarpour and E. Farjah, "Power control and management in a hybrid AC/DC microgrid," *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 5, pp. 1494-1505, 2014.
3. Y. B. A Rafiee, H Bevrani, T Kato, "Robust MIMO Controller Design for VSC-based Microgrids: Sequential Loop Closing Concept and Quantitative Feedback Theory," *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2021.
4. X. Zhang, C. Huang, and J. Shen, "Energy Optimal Management of Microgrid with High Photovoltaic Penetration," *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2022.
5. L. Zhang, Y. Yang, Q. Li, W. Gao, F. Qian, and L. Song, "Economic optimization of microgrids based on peak shaving and CO2 reduction effect: A case study in Japan," *Journal of Cleaner Production*, vol. 321, p. 128973, 2021.
6. A. H. V.-H. B. H.-M. Kim, "Resilience-Oriented Optimal Operation of Networked Hybrid Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, 2019
7. K. R. C. C. C. R. Zhang, "Energy Cooperation Optimization in Microgrids With Renewable Energy Integration," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, 2018.
8. C. J. Dongfeng Yang, Guowei Cai, Deyou Yang, Xiaojun Liu,, "Interval method based optimal planning of multi-energy microgrid with uncertain renewable generation and demand," *Applied Energy*, vol. 277, 2020.
9. Z. X. Xiaohong Guan, and Qing-Shan Jia, "Energy-Efficient Buildings Facilitated by Microgrid," *IEEE Transaction on Smart Grid*, vol. 1, 2010.
10. S. M. M. Liaqat Ali, Hamed Bizhani, Arindam Ghosh,, "Optimal planning of clustered microgrid using a technique of cooperative game theory,," *Electric Power Systems Research*, vol. 183, 2020.
11. P. L. Mansour Alramlawi, "Design Optimization of a Residential PV-Battery Microgrid With a Detailed Battery Lifetime Estimation Model," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, 2020. *Industry Applications*, vol. 46, 2020. *Battery Lifetime Estimation Model*, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, 2020.
12. Atteia G, Collins MJ, Algarni AD, Samee NA. Deep-learning-based feature extraction approach for significant wave height prediction in SAR mode altimeter data. *Remote Sens.* 2022; 14(21):5569. <https://doi.org/10.3390/rs14215569>
13. Behar Kamran Z, Amir Etemad S, Mohsen H. Determination of effective parameters in forecasting significant wave height in Neka. In: 4th International Conference on Offshore Industries; 2011. [In Persian]
14. Breiman L. Bagging predictors. *Mach Learn.* 1996;24(2):123-40. <https://doi.org/10.1007/BF00058655>
15. bualigah L, Diabat A, Mirjalili S, Abd Elaziz M, Gandomi AH. The arithmetic optimization algorithm. *Comput Methods Appl Mech Eng.* 2021; 376:113609. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.113609>
16. Cox DR, van der Meer JW. Wave forces on marine structures. CRC Press; 2010.
17. Davis RE, Collins DC, Wu L. Effects of temperature and salinity on wave properties and their impact on coastal infrastructure. *J Coast Res.* 2014;30(3):578-88. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00048.1>
18. Dhodhi J, Sharma K, Hassanin A. Safety of offshore platforms. In: *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering*. Wiley; 2017. p. 1-10. https://doi.org/10.1002/9781118476406.e_moe0021
19. Feng Z, Hu P, Li S, Mo D. Prediction of significant wave height in offshore China based on the machine learning method. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(6):836. <https://doi.org/10.3390/jmse10060836>
20. Han L, Ji Q, Jia X, Liu Y, Han G, Lin X. Significant wave height prediction in the South China Sea based on the ConvLSTM algorithm. *J Mar Sci Eng.* 2022;10(11):1683. <https://doi.org/10.3390/jmse10111683>
21. Harrison S, MacDonald A. Influence of seabed sediment composition on wave propagation and sediment transport. *Coast Eng.* 2015; 102:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.04.001>
22. Li Z, Zhang M, Wang X. Deep learning for predicting wave height and its implications for coastal engineering. *Eng Appl Artif Intell.* 2021;98:104064.

- <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104064>
23. Lotfollahi Yeganeh M, Lashtah Neshayi M, Ghorbani M, Larian MB. Modeling and forecasting of significant wave height in the Caspian Sea using chaos theory. *Amirkabir J Civ Eng*. 2013; 45:97-105. [In Persian]
 24. Mishra JP, Singh K, Chaudhary H. Intelligent Ocean wave height prediction system using light GBM model. *Int J Syst Innov*. 2022;7(2):64-77
 25. A. Ajami and M. Daneshvar, "Data driven approach for fault detection and diagnosis of turbine in thermal power plant using Independent Component Analysis (ICA)" *International journal of Electrical Power and Energy Systems*, Vol.43, pp. 728–735, 2012.
 26. M. Berahman, A.A. Safavi, M.R. Shahrababaki, "Fault detection in Kerman combined cycle power plant boilers by means of support vector machine classifier algorithms and PCA" *Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA)*, 3rd International Conference. pp. 290 – 295, 2013
 27. Hassani H, Zarei J, Razavi-Far R, Saif M. "Robust Interval Type-2 Fuzzy Observer for Fault Detection of Networked Control Systems Subject to Immeasurable Premise Variables", *IEEE Systems Journal*, 2019



Performance Optimization of Steam Power Plants Using 2D CNN Neural Network with Emphasis on Pollution Control and Environmental Impacts

Gohar Varamini*
Yaser Nemati

Department of Electrical Engineering, Bey. C., Islamic Azad University, Beyza, Iran
Department of Computer Engineering, Bey. C., Islamic Azad University, Beyza, Iran

Received: 22 Dec 2024

Accepted: 16 Feb 2025

Keywords: Steam Power Plants, 2D Neural Network, Pollution Control, Artificial Intelligence, Environmental Impact.

Extended Abstract

Introduction: In this paper, at first, the equipment of the steam power plant has been investigated, and in the next step, the destructive effects of environmental conditions such as temperature, heat, and atmospheric conditions on the performance of power plants and pollution control have been presented in a specialized way of steam power plant, and finally, a proposed model using deep learning algorithms is presented in order to reduce the destructive effects, control pollution and optimize the performance of power plants using the network. Two-dimensional convolutional neuroconvolution and solutions to reduce the internal consumption of power plants according to the factor of environmental conditions and emission control have been done.

Materials and Methods: In this study, data are processed and divided into three categories: education, validation, and testing. Then, the artificial intelligence method is trained with learning data to achieve optimal accuracy and finally optimization.

Results and Discussion: In this study, geographical conditions, pollution and climatic control in Iran, the percentage of domestic consumption and industrial units exploited, and the amount of load have been investigated and analyzed. The measures of the power plant to reduce internal consumption and reduce thermal and electrical losses have been presented in the form of planning to remove the tower fans according to the cooling water temperature and changes in the ambient air temperature and the relative reduction of electrical consumption using deep learning and in an intelligent way using educational data and two-dimensional convolutional neural network. The absolute error and the root mean square of the error that cover a high confidence factor are formed and investigated. The results show that the proposed hybrid artificial intelligence method with a coefficient of determination of 0.96, an average absolute error of 0.063 and a root mean square error of 0.0096, as well as the Gaussian process regression method with a coefficient of determination of 0.94, an average absolute error of 0.093, will create and provide a very desirable performance and a high reliability factor in reducing the destructive effects and better efficiency of the system.

Conclusion: In this study, the amount of destructive environmental impact and pollution effects has been greatly reduced by using deep learning and artificial intelligence, and this increases the reliability factor of the system and improves the acceptable performance of power plants in times of load, and the results indicate that the proposed hybrid artificial intelligence method is more accurate in estimating and optimizing systems and has a higher reliability factor.

Corresponding author: Gohar Varamini

Address: Department of Electrical Engineering, Bey. C., Islamic Azad University, Beyza, Iran. **Tel:** +989177001044

Email: Gohar.Varamini@iau.ac.ir

Citation: Varamini G, Nemati Y. Performance Optimization of Steam Power Plants Using 2D CNN Neural Network with Emphasis on Pollution Control and Environmental Impacts. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2025; 2(8): 15-26



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.