

پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی و پیک‌های آن در استان البرز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

سهیل سلطانی*، هیوا سادات هاشمی رضوانی، خسرو اشرفی

۱- دانش آموخته دانشگاه تهران، Soheil.soltani.ut@gmail.com

۲- دانش آموخته دانشگاه تهران، hiva.hashemirezvani.ut@gmail.com

۳- دانشیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران، khashrafi@ut.ac.ir

خلاصه

این پژوهش با همکاری اداره گاز استان البرز و با هدف پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی استان البرز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شده است. داده‌های مصرف ساعتی گاز از دو مجتمع مسکونی در کرج و اطلاعات هواشناسی مرتبط از اسفند ۱۴۰۰ تا شهریور ۱۴۰۲ جمع‌آوری شد. شبکه عصبی طراحی شده شامل سه لایه مخفی با ۲۰، ۲۵ و ۱۵ نورون بود و از ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای تست استفاده شد. متغیرهای مستقل شامل دمای ساعتی، روز هفته، ماه و وضعیت تعطیلی و متغیر وابسته میزان مصرف گاز خانگی بود. چندین مدل با توابع فعال‌سازی مختلف مانند تانژانت هذلولی، رلو و زیگمویید آزمایش شدند که تابع تانژانت هذلولی با ضریب تعیین ۰.۹۳۶۴ بهترین عملکرد را داشت. همچنین، بهینه‌ساز گرادیان کاهشی برای بهبود عملکرد شبکه به کار رفت. نتایج نشان داد که شبکه عصبی پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند درخت تصمیم، جنگل تصادفی و درختان مازاد، دقت بالاتری در پیش‌بینی مصرف و پیک‌های مصرف دارد. [۱]

کلمات کلیدی: پیش‌بینی مصرف انرژی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، بهینه‌سازی، مصرف گاز خانگی، مدل‌سازی مصرف، شبکه عصبی، الگوریتم‌های یادگیری ماشین، تانژانت هذلولی

۱- مقدمه

گاز طبیعی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سوخت‌های فسیلی، از دیرباز نقشی حیاتی در تأمین انرژی در بخش‌های خانگی، تجاری و صنعتی ایفا کرده است. این گاز از بقایای گیاهان و جانورانی که میلیون‌ها سال پیش در زمین زندگی می‌کردند، شکل گرفته و تحت تأثیر فشار و دمای بالا به سوخت فسیلی تبدیل شده است. گاز طبیعی به دلیل داشتن چگالی بالای انرژی و ویژگی‌های زیست‌محیطی مطلوب‌تر نسبت به دیگر سوخت‌های فسیلی همچون نفت و زغال‌سنگ، به‌ویژه در دوران مدرن به‌عنوان یکی از منابع کلیدی تأمین انرژی شناخته شده است.

ایران با داشتن دومین ذخایر بزرگ گاز طبیعی در جهان پس از روسیه، از موقعیت استراتژیک و مزیت‌های اقتصادی و ژئوپلیتیکی برخوردار است. این موضوع نه تنها به تأمین انرژی پایدار در داخل کشور کمک می‌کند بلکه ایران را به یک بازیگر مهم در بازار جهانی

انرژی تبدیل کرده است. با این حال، مصرف بالای گاز طبیعی در کشور به‌ویژه در فصول سرد سال، زمانی که تقاضای انرژی افزایش می‌یابد، نیاز به برنامه‌ریزی دقیق و پایدار برای مدیریت تقاضا را ضروری می‌سازد. [۲]

یکی از چالش‌های اصلی، ناپایداری در تأمین گاز طبیعی در زمان پیک مصرف است که می‌تواند پیامدهای اقتصادی و اجتماعی قابل توجهی به همراه داشته باشد. برای مقابله با این چالش، پیش‌بینی دقیق و کارآمد مصرف انرژی اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. سیاست‌گذاران و مدیران صنایع انرژی به ابزارهایی نیاز دارند که بتوانند با استفاده از آن‌ها مصرف انرژی را در آینده پیش‌بینی کرده و منابع را به‌طور بهینه مدیریت کنند.

در این راستا، پژوهش حاضر بر استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی استان البرز متمرکز است. شبکه‌های عصبی به دلیل توانایی آن‌ها در شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی در داده‌ها، ابزار مناسبی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مصرف انرژی محسوب می‌شوند. این پژوهش به‌ویژه بر تحلیل داده‌های ساعتی مصرف گاز و اطلاعات هواشناسی مرتبط مانند دمای هوا، روزهای هفته و تعطیلات، با هدف پیش‌بینی مصرف و مدیریت بهینه منابع انرژی تمرکز دارد.

نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به بهبود روش‌های پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی کمک کرده و به سیاست‌گذاران و مدیران صنایع انرژی ابزارهای مؤثری برای مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه دهد. علاوه بر این، این تحقیق به دلیل استفاده از روش‌های نوین شبکه‌های عصبی و بررسی دقیق عوامل تأثیرگذار بر مصرف گاز، می‌تواند به‌عنوان مرجعی برای تحقیقات آتی در حوزه انرژی و پیش‌بینی تقاضا عمل کند. [۳]

۲- روش پژوهش

این پژوهش به‌منظور پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی استان البرز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شده است. محدوده مطالعه شامل دو مجتمع مسکونی واقع در شهر کرج است که داده‌های مصرف گاز آن‌ها به‌عنوان نمونه‌های آماری این تحقیق انتخاب شده‌اند. این داده‌ها از دو دوره زمانی مجزا جمع‌آوری شده‌اند: دوره اول از اسفند ۱۴۰۰ تا خرداد ۱۴۰۱ و دوره دوم از اسفند ۱۴۰۱ تا شهریور ۱۴۰۲. این انتخاب دوره‌ها به‌منظور بررسی تغییرات فصلی مصرف گاز صورت گرفته است. علاوه بر داده‌های مصرف ساعتی گاز، اطلاعات هواشناسی نظیر دمای ساعتی نیز از سازمان هواشناسی کشور گردآوری شده است. پژوهش حاضر از نوع توسعه‌ای-کاربردی است و هدف آن ایجاد مدلی کاربردی برای پیش‌بینی دقیق مصرف گاز است که به مدیران و برنامه‌ریزان حوزه انرژی در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت مصرف و تأمین منابع کمک کند. داده‌ها به‌صورت تاریخی و از منابع معتبر نظیر شرکت گاز استان البرز و سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری شده و به‌منظور تحلیل رفتار مصرف گاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

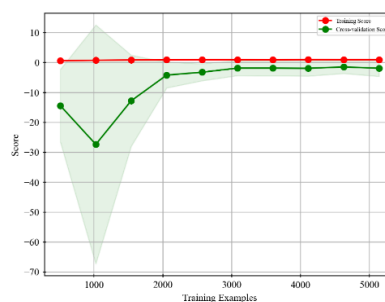
برای پیش‌بینی دقیق مصرف گاز طبیعی، از مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) بهره‌برداری شده است. متغیرهای مستقل شامل دمای ساعتی، روز هفته، ماه و وضعیت تعطیلی به‌عنوان ورودی‌های مدل انتخاب شده‌اند. شبکه عصبی طراحی شده دارای سه لایه مخفی با ۲۰، ۲۵ و ۱۵ نرون است و از الگوریتم گرادیان کاهشی تصادفی برای به‌روزرسانی وزن‌ها و کاهش خطا استفاده می‌شود. برای اطمینان از دقت و عملکرد مدل، نتایج آن با سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین، شامل درخت تصمیم، جنگل

تصادفی و درختان مازاد مقایسه شده است. در فرآیند جمع‌آوری داده‌ها، پیش‌پردازش شامل اصلاح داده‌های نادرست و حذف مقادیر غیرمعمول انجام شده و داده‌های نهایی در قالب ساختارمند برای آموزش مدل آماده‌سازی شده‌اند. پس از آموزش مدل، نتایج پیش‌بینی شده با داده‌های واقعی مصرف گاز مقایسه شده و دقت مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. این تحقیق به‌منظور بهبود روش‌های پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی و ارائه ابزارهای مؤثر برای مدیریت تقاضا و منابع انرژی انجام شده است و می‌تواند به‌عنوان مرجع مفیدی برای تصمیم‌گیری‌های آینده در حوزه انرژی مورد استفاده قرار گیرد. [۵ و ۶]

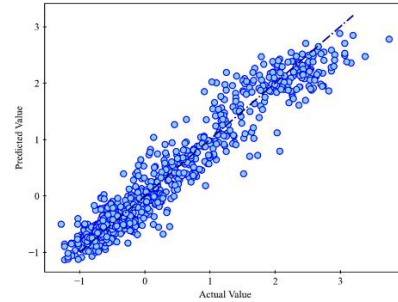
۳- یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی خانگی در استان البرز با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) انجام شد. داده‌های ساعتی مصرف گاز و اطلاعات هواشناسی به‌کار گرفته شده و مدل با تنظیم هایپر پارامترها و استفاده از توابع فعال‌سازی مختلف مانند Relu، تانژانت هذلولی و لجستیک ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تابع فعال‌سازی تانژانت هذلولی بهترین عملکرد را با ضریب تعیین R^2 برابر با ۰.۹۳۶۴ داشته است. خطاهای MSE، RMSE و MAE در مدل بهینه پایین بوده و دقت بالای مدل را نشان می‌دهند. روش بهینه‌سازی گرادیان کاهشی (Adam) برای تنظیم وزن‌ها استفاده شد و مقادیر آلفا ۰.۰۰۰۱ انتخاب گردید. [۷]

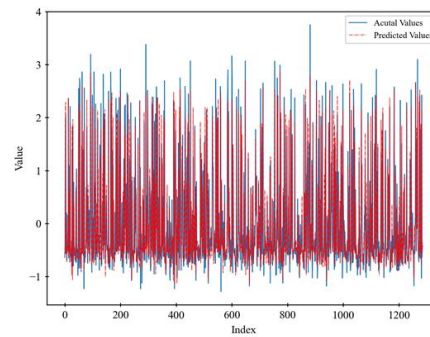
در این پژوهش، منحنی یادگیری شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است که روند بهبود دقت مدل را در مراحل مختلف آموزش نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۲-۳ میزان پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده را نسبت به مقادیر واقعی مصرف گاز طبیعی نمایش می‌دهد که تطابق بالای مدل با داده‌های واقعی را تایید می‌کند (خط آبی پررنگ نشان‌دهنده مقادیر واقعی است). در نهایت، شکل ۳-۳ مقایسه‌ای بین مقادیر پیش‌بینی شده (خطوط قرمز) و مقادیر واقعی (خطوط آبی) ارائه می‌دهد، که نشان‌دهنده دقت بالای پیش‌بینی‌های مدل در مقایسه با داده‌های واقعی است.



شکل ۱-۳: منحنی یادگیری شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

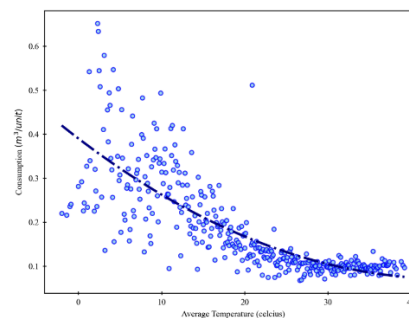


شکل ۳-۲: میزان پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار واقعی (خط آبی پرننگ)

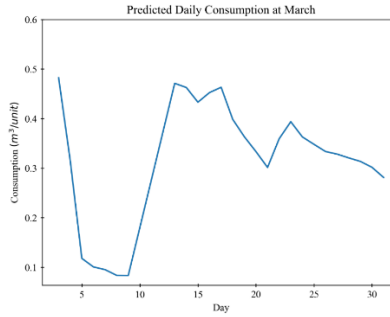
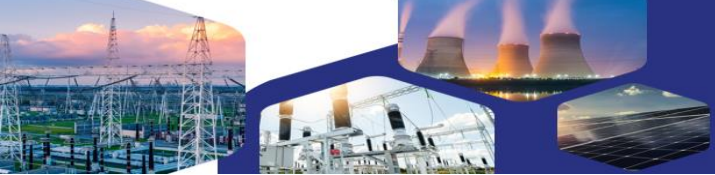


شکل ۳-۳: مقایسه مقادیر پیش‌بینی (خطوط قرمز) و مقادیر واقعی (خطوط آبی)

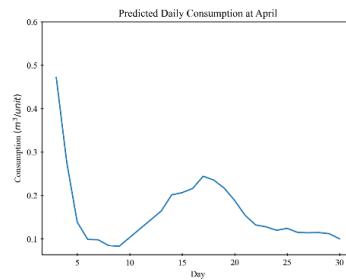
با بررسی داده‌های مصرف گاز در ماه‌های مختلف، نتایج نشان می‌دهد که در ماه مارس (۱۰ اسفند تا ۱۱ فروردین) و در ماه اپریل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت) پیک‌های مصرف گاز قابل توجهی مشاهده شده است. به‌ویژه، نمودارهای مصرف روزانه به تفکیک ساعات و روزهای هفته، پیک‌های مصرفی را به وضوح نمایان می‌سازند. به‌طور خاص، شکل ۳-۴ تا ۳-۱۸ این پیک‌ها و الگوهای مصرف را برای روزهای مختلف هفته و ساعات‌های مختلف روز نشان می‌دهد. این اشکال به تحلیل دقیق‌تر رفتار مصرف‌کنندگان و شناسایی زمان‌های اوج مصرف کمک می‌کنند.



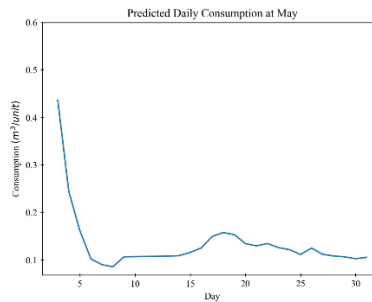
شکل ۳-۴: میزان مصرف گاز طبیعی بر اساس دمای متوسط ساعتی



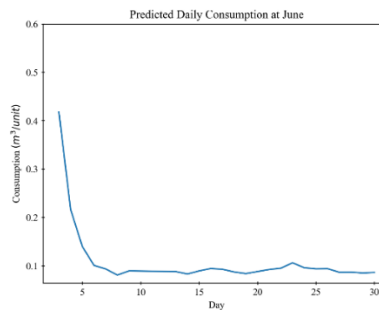
شکل ۳-۵: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه مارس (معادل حدودی ۱۰ اسفند تا ۱۱ فروردین)



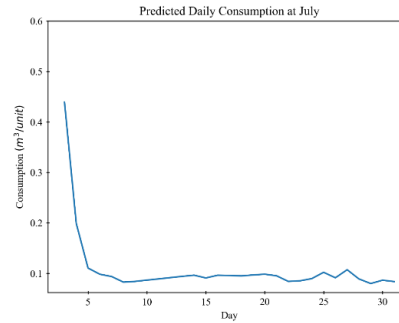
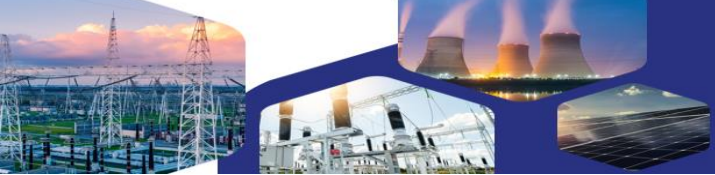
شکل ۳-۶: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه اپریل (معادل حدودی ۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت)



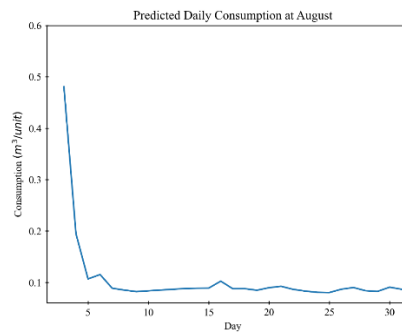
شکل ۳-۷: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه می میلادی (معادل حدودی ۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد)



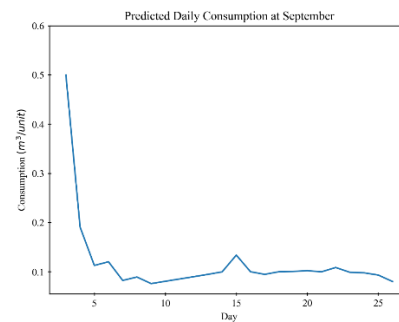
شکل ۳-۸: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه جوعن (معادل حدودی ۱۱ خرداد تا ۹ تیر)



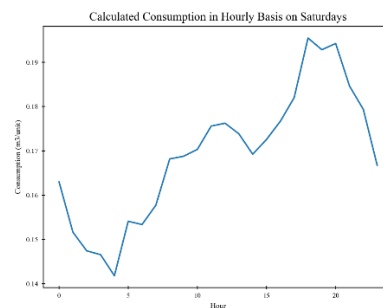
شکل ۳-۹: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه جولای (معادل حدودی ۱۰ تیر تا ۱۱ مرداد)



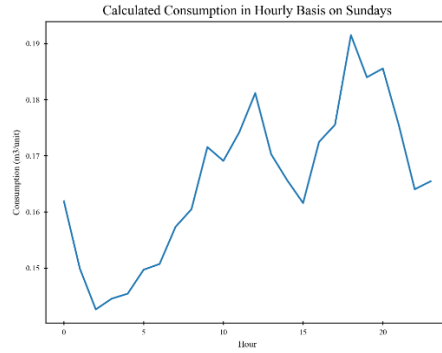
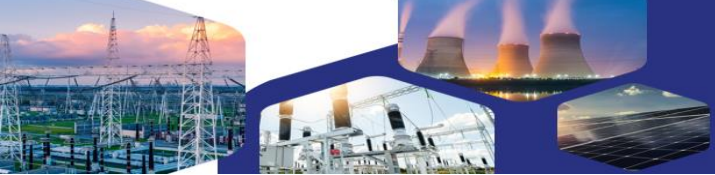
شکل ۳-۱۰: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه آگوست (معادل حدودی ۱۰ مرداد تا ۹ شهریور)



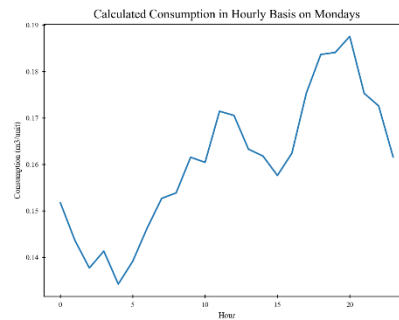
شکل ۳-۱۱: میزان مصرف پیش‌بینی شده در ماه سپتامبر (معادل حدودی ۱۰ شهریور تا ۸ مهر)



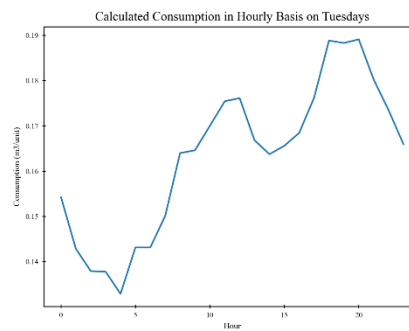
شکل ۳-۱۲: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای شنبه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف



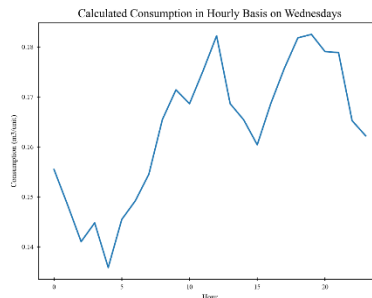
شکل ۳-۱۳: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای یکشنبه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف



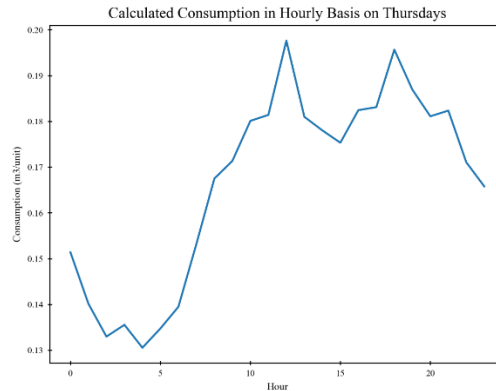
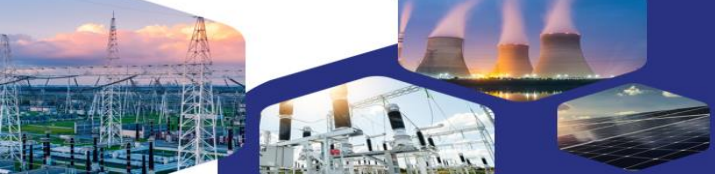
شکل ۳-۱۴: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای دوشنبه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف



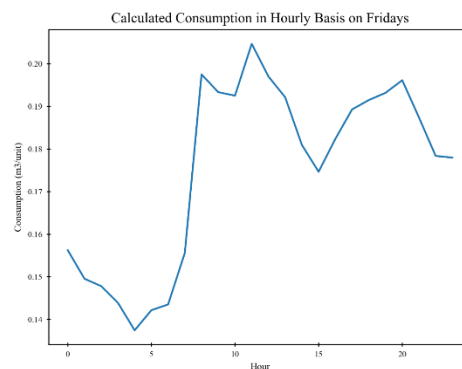
شکل ۳-۱۵: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای سه‌شنبه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف



شکل ۳-۱۶: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای چهارشنبه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف



شکل ۳-۱۷: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای پنجشنبه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف



شکل ۳-۱۸: نمودار تابع مصرف هر واحد ساختمانی در روزهای جمعه بر اساس ساعت روز و میزان مصرف

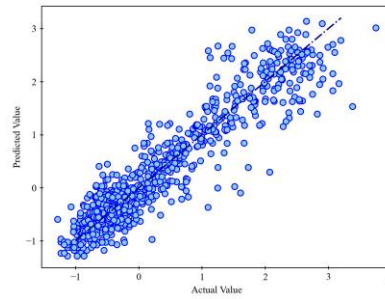
در ادامه این پژوهش، نتایج حاصل از الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند درخت تصمیم، جنگل تصادفی و درختان مازاد، به‌منظور مقایسه با نتایج شبکه عصبی پرسپترون سه‌لایه مورد بررسی قرار گرفت. هایپرپارامترهای الگوریتم درخت تصمیم شامل حداقل نمونه‌های تقسیم (۲) و حداقل نمونه‌های برگ (۱) در جدول ۳-۱ آمده است و نتایج حاصل از توابع خطا و معیارهای انطباق این الگوریتم در جدول ۳-۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که الگوریتم درخت تصمیم با ضریب تعیین R^2 برابر با ۰.۸۹۰۸ و MAE برابر با ۰.۲۱۸۱ عملکرد قابل قبولی دارد. همچنین، نتایج الگوریتم جنگل تصادفی و درختان مازاد نیز به تفکیک در جداول ۳-۳ و ۳-۴ نمایش داده شده است. برای الگوریتم جنگل تصادفی، تعداد برآوردگرها ۱۰۰ و حداقل نمونه‌های تقسیم ۲ انتخاب شد. مقادیر خطا و انطباق برای الگوریتم درختان مازاد نیز با ضریب تعیین R^2 برابر با ۰.۹۱۵ و MAE برابر با ۰.۱۸۹۳ نشان‌دهنده عملکرد بهتری نسبت به درخت تصمیم بود. شکل‌های ۳-۱۹ تا ۳-۲۳ به تفکیک نتایج پراکندگی مقادیر پیش‌بینی‌شده نسبت به مقادیر واقعی (خط آبی پررنگ)، منحنی یادگیری الگوریتم‌ها، و نمودارهای تطابق مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر واقعی را برای الگوریتم‌های درخت تصمیم، جنگل تصادفی و درختان مازاد نشان می‌دهند. [۲۰]

جدول ۳-۱: هایپرپارامترهای الگوریتم درخت تصمیم

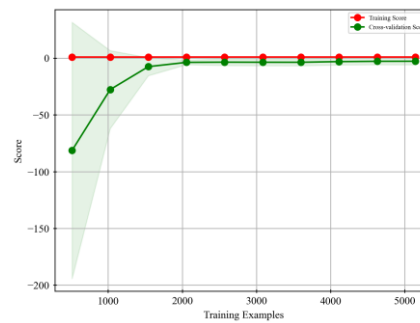
تقسیم کننده	بهترین
معیار	خطای مربعات
حداقل نمونه های تقسیم	۲
حداقل نمونه های برگ	۱

جدول ۳-۲: نتایج حاصل از توابع خطا و میزان انطباق الگوریتم درخت تصمیم

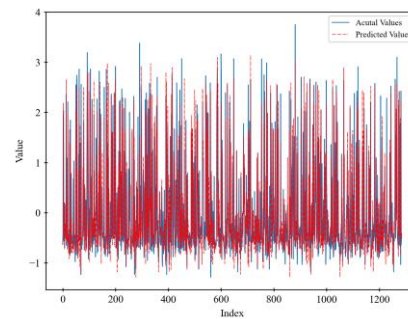
سنجه خطا	R^2	MSE	RMSE	MAE
نتیجه	۰/۸۹۰۸	۰/۱۰۷	۰/۳۲۷۲	۰/۲۱۸۱



شکل ۳-۱۹: میزان پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار واقعی (خط آبی پررنگ)



شکل ۳-۲۰: نمودار منحنی یادگیری الگوریتم درخت تصمیم



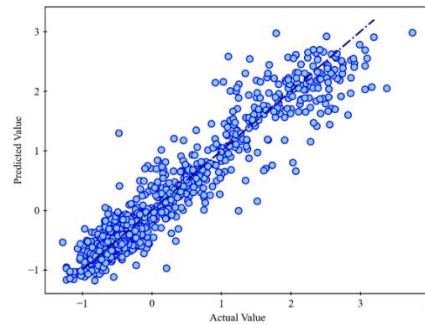
شکل ۳-۲۱: نمودار تطابق مقادیر پیش‌بینی و مقادیر واقعی در نتایج الگوریتم درخت تصمیم

جدول ۳-۳: هایپر پارامترهای الگوریتم درختان مازاد

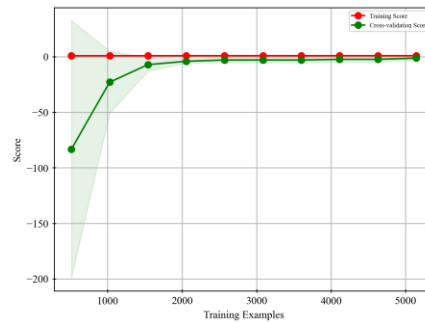
تعداد برآوردها	۱۰۰
معیار	خطای مربعات
حداقل نمونه تقسیم	۲
حداقل نمونه برگ	۱

جدول ۳-۴: نتایج حاصل از توابع خطا و میزان انطباق الگوریتم درختان مازاد

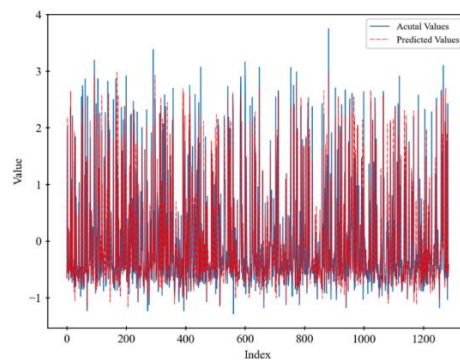
سنجه خطا	R^2	MSE	RMSE	MAE
نتیجه	۰/۹۱۵	۰/۰۸۳۳	۰/۲۸۸۷	۰/۱۸۹۳



شکل ۳-۲۲: میزان پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار واقعی (خط آبی پررنگ)

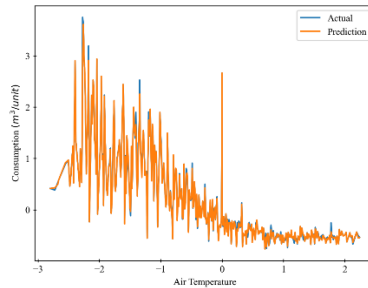


شکل ۳-۲۳: نمودار منحنی یادگیری الگوریتم جنگل تصادفی

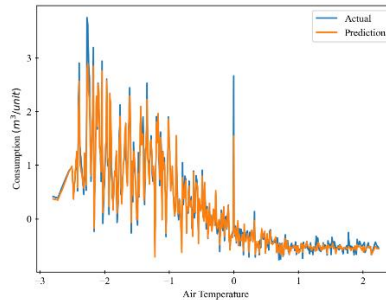


شکل ۳-۲۴: نمودار تطابق مقادیر پیش‌بینی و مقادیر واقعی در نتایج الگوریتم درختان مازاد

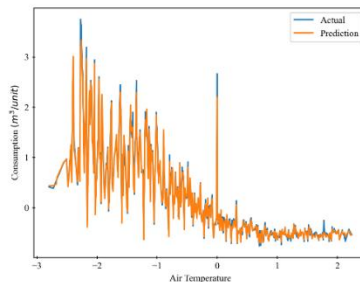
در پایان به پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی بر اساس دما با استفاده از سه روش شامل شبکه عصبی پرسپترون سه‌لایه، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و درختان مازاد پرداخته شد. نتایج پیش‌بینی‌ها در شکل‌های ۲۵-۳ تا ۲۸-۳ نمایش داده شده‌اند. همچنین، تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی بر میزان مصرف گاز در شکل‌های ۲۹-۳ و ۳۰-۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که ماه مصرف و دمای متوسط ساعتی هوا بیشترین تأثیر را بر مصرف گاز دارند. پس از این دو متغیر، سال، ساعت مصرف، روز و وضعیت تعطیلی تأثیر کمتری بر مصرف گاز داشتند. این تحلیل به بهبود دقت پیش‌بینی و درک بهتر روابط بین متغیرها کمک می‌کند. [۳۱]



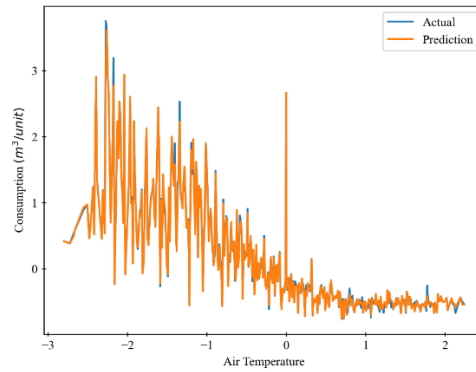
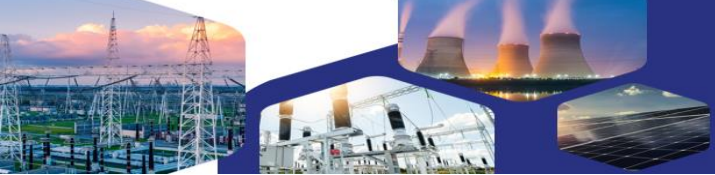
شکل ۲۵-۳: مقایسه نتایج مصرف واقعی و پیش‌بینی شده بر اساس دما در شبکه عصبی پرسپترون چندلایه



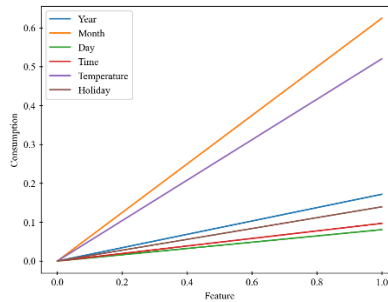
شکل ۲۶-۳: مقایسه نتایج مصرف واقعی و پیش‌بینی شده بر اساس دما در الگوریتم درخت تصمیم



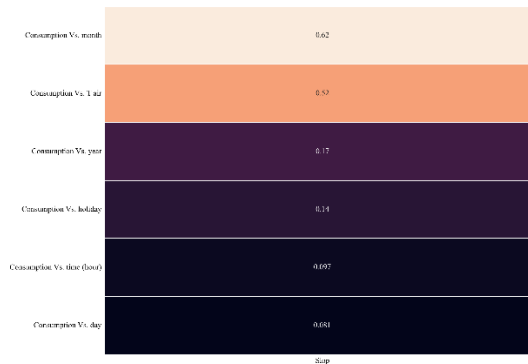
شکل ۲۷-۳: مقایسه نتایج مصرف واقعی و پیش‌بینی شده بر اساس دما در الگوریتم جنگل تصادفی



شکل ۳-۲۸: مقایسه نتایج مصرف واقعی و پیش‌بینی شده بر اساس دما در الگوریتم درختان مزاد



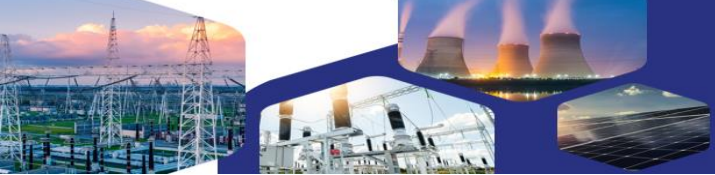
شکل ۳-۲۹: نتایج آنالیز حساسیت مدل



شکل ۳-۳۰: نتایج آنالیز حساسیت مدل

۴- نتیجه گیری

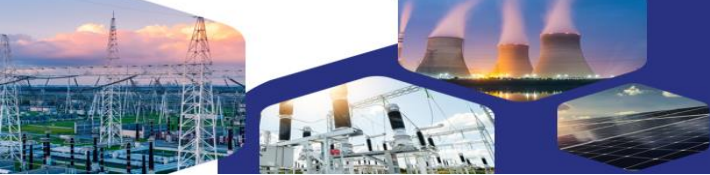
همان‌طور که در این پژوهش بررسی شد، هدف اصلی توسعه و به‌کارگیری یک مدل مناسب شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مصرف گاز خانگی در استان البرز بود. نتایج این تحقیق نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با سه لایه مخفی و



استفاده از تابع فعال‌ساز تانژانت هذلولی، دقت بالایی در پیش‌بینی مصرف گاز دارد و توانسته است عملکرد بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند درخت تصمیم، جنگل تصادفی و درختان مزاد نشان دهد.

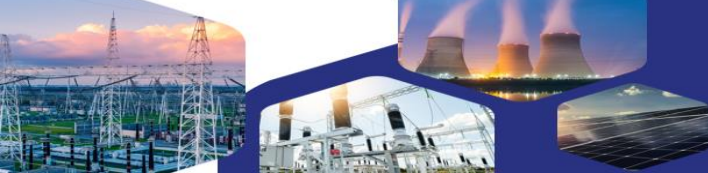
به‌طور خاص، شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰.۹۳۶۴ و مقادیر کم MSE، RMSE و MAE توانسته است به دقت مطلوبی در پیش‌بینی پیک‌های مصرف گاز دست یابد. این نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی در تحلیل داده‌های پیچیده و روابط غیرخطی مصرف گاز خانگی برتری قابل توجهی نسبت به روش‌های سنتی دارند.

این پژوهش از داده‌های ساعتی مصرف گاز و اطلاعات هواشناسی برای آموزش و تست مدل استفاده کرد و نشان داد که این مدل‌ها می‌توانند ابزار مفیدی برای مدیریت بهتر منابع انرژی و پیش‌بینی پیک‌های مصرفی باشند. مقایسه نتایج مدل با الگوریتم‌های یادگیری ماشین دیگر نیز نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده دارای عملکرد بهتری بوده و می‌تواند در بهینه‌سازی مصرف انرژی مؤثر باشد. [۴۰]



منابع و مآخذ

- ۱- ذوالفقاری، م.؛ صادقی، ط. "طراحی روشی نوین برای پیش‌بینی تقاضای کوتاه‌مدت گاز طبیعی در بخش خانگی." فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی.
- ۲- منهج، م. (1934). مبانی شبکه‌های عصبی، تهران: دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- ۳- کیا، م. "شبکه‌های عصبی در متلب." چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاهی کیان، ۱۳۹۱.
- ۴- ثقه الاسلامی، ناصر؛ کریمی، هجی؛ اخوت، احمد؛ وطن خواه، غلامحسین. "اصول و کاربرد شبکه‌های عصبی در صنایع نفت و گاز." مرکز نشر جهش، تهران، ۱۳۸۸.
- ۵- پیکت، فیلیپ. (میرصالحی، میر مجتبی؛ تقی زاده کاخکی، حسین). "شبکه‌های عصبی." انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، 1388.
- ۶- آذری احمد، شریعتی نیاسر مجتبی، البرزی محمود و بختیاری افشین. "برآورد میزان بار گاز مصرفی شهر تهران با استفاده از فناوری شبکه‌های عصبی." 1387، نشریه دانشکده فنی، دوره 42، شماره 8، صفحات 961 تا 968.
- ۷- ارکات، جمال؛ فاروقی، هیوا؛ حیدری، حسینعلی. "ارائه یک مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی میزان مصرف هفتگی گاز شهر ایلام." 1389، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت نوآوری و کارآفرینی.
- ۸- آذر طاهری قهفرخی، عباس قلی پور، مجید نیلی احمد آبادی. "پیش‌بینی مصارف خانگی گاز طبیعی در شهرکرد با استفاده از تلفیق مدل شبکه عصبی و سری زمانی." 1391، اولین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها.
- ۹- سایت رسمی شرکت ملی گاز ایران. (www.nigc.ir)
- ۱۰- سایت رسمی شرکت گاز استان البرز.
- ۱۱- نیرومند، ح.؛ بزرگ‌نیا، "مقدمه‌ای بر تحلیل سری زمانی." نشریه دانشگاه فردوسی مشهد، 1372.



۱۲- منهاج، م؛ کاظمی، ع؛ شکوری گنجوی، ح؛ مهرگان، م؛ تقی‌زاده، م. ر. (1389). "پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل با استفاده از شبکه‌های عصبی." مطالعات انسانی، پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره 14، شماره 2، صفحات 203-220.

۱۳- میرفخرالدینی، سید حیدر. (1392). "پیش‌بینی مصرف انرژی ایران با استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی." پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره 17، شماره 2، صفحات 197-222.

۱۴- ترازنامه انرژی ایران 1399.

۱۵- لطفعلی‌پور، م؛ باقری. (1382). "تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی مصارف خانگی شهر تهران." فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره 16، صفحات 133-151.

۱۶- محمدحسین‌پور کاظمی، امیر افسر، و بیژن نیاوندی. (1384). "مطالعه تطبیقی روش‌های خطی ARIMA و غیرخطی شبکه‌های عصبی فازی در پیش‌بینی تقاضای اشتراک گاز شهری." نشریه تحقیقات اقتصادی.

۱۷- امینی هرندی، محمدهادی؛ وطنی، علی؛ ترحمی، علیرضا. (1386). "بررسی طرف‌های عرضه و تقاضای گاز طبیعی ایران و ارائه تابع تقاضا." ششمین همایش ملی.

۱۸- کشاورز حداد، میرباقری جم. (1386). "بررسی تابع تقاضای گاز طبیعی خانگی و تجاری در ایران." فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره 32، صفحات 137-160.

۱۹- امین ناصری، محمدرضا؛ کوچک زاده، احمد. (1386). "مدل طراحی بهینه معماری برای شبکه‌های عصبی مصنوعی و به کارگیری آن در پیش‌بینی مصرف ماهانه نفت گاز کل کشور." نشریه مدرس علوم انسانی، زمستان 1387، شماره 59.

۲۰- آذری، ا؛ شریعتی نیاسر، م؛ البرزی، م. و بختیاری، اف. (1387). "برآورد میزان بار گاز مصرفی شهر تهران با استفاده از فناوری شبکه‌های عصبی." نشریه دانشکده فنی، دوره 42، شماره 8، صفحات 961-968.

21- Khotanzad, A.; Elragal, H.; Lu, T. (2000). "Combination of Artificial Neural Network Forecasters for Prediction of Natural Gas Consumption." IEEE Transactions of Neural Networks, 11(2), pp. 464.

22- Gil, S.; Deferrari, J. (2004). "Generalized Model of Prediction of Natural Gas Consumption." Energy Resources Technology, 126, pp. 90-98.

23- Aras, H.; Aras, N. (2004). "Forecasting Residential Natural Gas Demand." Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 26(5), pp. 463-472.

24- Al-Fattah, S. M. (2006). "Time Series Modeling for U.S. Natural Gas Forecasting." E-Journal of Petroleum Management and Economics.



- 25- Canyon, O. E.; Ozturk, H. K. (2006). "Three Different Applications of Genetic Algorithm (GA) Search Techniques on Oil Demand Estimation." *Energy Conversion and Management*, 47, pp. 3138–3148.
- 26- Toksari, M. D. (2007). "Ant Colony Optimization Approach to Estimate Energy Demand in Turkey." *Energy Policy*, 35, pp. 3984–3990.
- 27- Sanchez-Ubeda, E. F.; Berzosa, A. (2007). "Modeling and Forecasting Industrial End-Use Natural Gas Consumption." *Energy Economics*, Elsevier, 29(4), pp. 710-742.
- 28- Ediger, V. S.; Akar, S. (2007). "ARIMA Forecasting of Primary Energy Demand by Fuel in Turkey." *Energy Policy*, 35, pp. 1701-1708.
- 29- Azadeh, A.; Ghaderi, S. F.; Sohrabkhani. (2007). "Forecasting Electrical Consumption by Integration of Neural Network, Time Series and ANOVA." *Applied Mathematics and Computation*, 186, pp. 1753-1761.
- 30- Unler, A. (2008). "Improvement of Energy Demand Forecasts Using Swarm Intelligence: The Case of Turkey with Projections to 2025." *Energy Policy*, 36, pp. 1937-1944.