



مدیریت هوشمند مصرف گاز طبیعی در صنایع ایران با تمرکز بر صنایع غذایی مبتنی بر مدل های پیش بینی هوش مصنوعی برای ارتقای بهره وری انرژی و پایداری صنعتی

منوچهر قاسمی^۱، احمد رضا حسینی تازه کندی^۲

کارشناس ارشد مهندسی شیمی، شرکت گاز استان آذربایجان غربی، شرکت ملی گاز ایران، ارومیه ایران
دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده: در سال های اخیر، بخش صنعت به عنوان یکی از بزرگ ترین مصرف کنندگان گاز طبیعی در ایران، نقش تعیین کننده ای در توازن انرژی کشور ایفا کرده است. رشد فعالیت های صنعتی، تنوع فرآیندهای تولیدی و وابستگی گسترده صنایع به گاز طبیعی به عنوان منبع اصلی انرژی، موجب افزایش قابل توجه مصرف و بروز چالش هایی در زمینه مدیریت بهینه، پایداری تأمین و بهره وری انرژی شده است. در این میان، بهره گیری از فناوری های نوین، به ویژه هوش مصنوعی، به عنوان رویکردی کارآمد برای تحلیل الگوهای مصرف و پشتیبانی از تصمیم گیری های مدیریتی مطرح شده است. در این پژوهش، یک چارچوب جامع مبتنی بر هوش مصنوعی برای مدیریت و بهینه سازی مصرف گاز طبیعی در بخش صنایع ایران ارائه می شود. در این چارچوب، داده های شبیه سازی شده مربوط به مصرف گاز در صنایع منتخب شامل فولاد، سیمان، پتروشیمی و صنایع غذایی، با در نظر گرفتن متغیرهایی نظیر حجم تولید، شرایط عملیاتی، راندمان تجهیزات، دمای محیط و زمان بهره برداری، مورد استفاده قرار گرفته است. الگوریتم های یادگیری ماشین از جمله شبکه های عصبی عمیق و مدل های درخت تصمیم برای پیش بینی الگوهای مصرف و شناسایی نقاط اتلاف انرژی به کار گرفته شدند. نتایج تحلیل ها نشان می دهد که به کارگیری مدل پیشنهادی می تواند منجر به کاهش متوسط مصرف گاز تا حدود ۱۴ درصد و افزایش بهره وری انرژی صنعتی تا نزدیک به ۱۸ درصد گردد. یافته های این پژوهش بیانگر آن است که استفاده هدفمند از هوش مصنوعی می تواند نقش مؤثری در بهبود مدیریت مصرف گاز، کاهش هزینه های انرژی و حرکت به سوی صنعت پایدار و هوشمند در ایران ایفا کند.

کلمات کلیدی: صنایع، مدیریت هوشمند، یادگیری ماشین، افزایش بهره وری و کاهش مصرف گاز



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره‌وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



۱- مقدمه:

گاز طبیعی به‌عنوان اصلی‌ترین حامل انرژی در سبد مصرفی ایران، نقش محوری در تأمین انرژی بخش‌های مختلف اقتصادی، به‌ویژه بخش صنعت، ایفا می‌کند. بر اساس گزارش‌های رسمی منتشرشده توسط نهادهای ملی و بین‌المللی حوزه انرژی، ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در جهان به‌شمار می‌رود. در این میان، بخش صنعت سهم قابل‌توجهی از مصرف کل گاز طبیعی کشور را به خود اختصاص داده است؛ به‌گونه‌ای که صنایع انرژی‌بر نظیر فولاد، سیمان، پتروشیمی، پالایشگاه‌ها و صنایع معدنی، وابستگی بالایی به گاز طبیعی به‌عنوان منبع اصلی انرژی و خوراک فرآیندی دارند. این وابستگی، در کنار رشد تقاضای صنعتی و محدودیت‌های فصلی تأمین گاز، ضرورت مدیریت بهینه مصرف در این بخش را بیش از پیش آشکار ساخته است [۱].

بررسی‌ها نشان می‌دهد که الگوی مصرف گاز در صنایع ایران، در بسیاری از موارد با چالش‌هایی همچون راندمان پایین تجهیزات، فرسودگی فناوری‌های حرارتی، نبود سیستم‌های پایش هوشمند و ضعف در تصمیم‌گیری داده‌محور همراه است. گزارش‌های تحلیلی آژانس بین‌المللی انرژی و بانک جهانی تأکید می‌کنند که بخش قابل‌توجهی از مصرف انرژی در صنایع کشورهای در حال توسعه، ناشی از اتلاف انرژی و بهره‌برداری غیربهینه از تجهیزات است. این مسئله در ایران نیز مصداق دارد؛ به‌طوری که مطالعات داخلی حوزه انرژی حاکی از وجود پتانسیل قابل‌توجه برای کاهش مصرف گاز و افزایش بهره‌وری انرژی در بخش صنعت، بدون کاهش سطح تولید است [۲].

در سال‌های اخیر، مفهوم مدیریت انرژی هوشمند به‌عنوان یکی از محورهای اصلی سیاست‌گذاری انرژی در سطح جهان مطرح شده است. در این رویکرد، استفاده از فناوری‌های دیجیتال، تحلیل داده‌های بزرگ و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، امکان پایش دقیق مصرف، پیش‌بینی تقاضا و بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های انرژی را فراهم می‌سازد. پژوهش‌های منتشرشده در مجلات معتبر بین‌المللی نشان می‌دهد که به‌کارگیری مدل‌های یادگیری ماشین در صنایع، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف سوخت، بهبود راندمان فرآیندها و کاهش هزینه‌های عملیاتی ایفا کند. این مطالعات عمدتاً بر استفاده از الگوریتم‌هایی مانند شبکه‌های عصبی، درخت تصمیم و مدل‌های ترکیبی برای تحلیل الگوهای مصرف انرژی تمرکز داشته‌اند [۳].



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



در سطح ملی نیز، گزارش‌ها و مطالعات انجام‌شده توسط مراکز پژوهشی وابسته به وزارت نفت و شرکت ملی گاز ایران، بر لزوم حرکت از مدیریت سنتی مصرف به سمت رویکردهای هوشمند و مبتنی بر داده تأکید کرده‌اند. با این حال، بخش عمده‌ای از این مطالعات، یا به تحلیل‌های آماری محدود شده‌اند یا تمرکز اصلی آن‌ها بر بخش خانگی و تجاری بوده است. در نتیجه، خلأ پژوهشی محسوسی در زمینه طراحی چارچوب‌های جامع هوش مصنوعی برای مدیریت مصرف گاز در بخش صنعت ایران مشاهده می‌شود؛ چارچوب‌هایی که بتوانند همزمان پیش‌بینی مصرف، شناسایی نقاط اتلاف و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی را پوشش دهند. این پژوهش با هدف پاسخ‌گویی به این خلأ، در پی ارائه یک رویکرد سیستماتیک و داده‌محور برای مدیریت مصرف گاز طبیعی در صنایع ایران است [۴].

در سطح بین‌المللی، مدیریت مصرف انرژی در بخش صنعت به‌عنوان یکی از اولویت‌های اصلی سیاست‌های انرژی و توسعه پایدار شناخته می‌شود. گزارش‌های منتشرشده توسط آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد که بخش صنعت به‌طور متوسط بیش از یک‌سوم مصرف نهایی انرژی جهان را به خود اختصاص داده و سهم قابل‌توجهی از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، به‌ویژه گاز طبیعی، مربوط به این بخش است. به همین دلیل، طی دو دهه اخیر، تمرکز قابل‌توجهی بر بهبود بهره‌وری انرژی صنعتی از طریق ارتقای فناوری، بهینه‌سازی فرآیندها و استفاده از ابزارهای دیجیتال صورت گرفته است [۵].

یکی از رویکردهای نوین در این حوزه، استفاده از سیستم‌های پایش و مدیریت انرژی مبتنی بر داده است. مطالعات انجام‌شده در صنایع فولاد، سیمان و پتروشیمی در کشورهای صنعتی نشان داده‌اند که جمع‌آوری پیوسته داده‌های مصرف انرژی و شرایط عملیاتی تجهیزات، امکان تحلیل دقیق رفتار مصرف و شناسایی الگوهای ناکارآمد را فراهم می‌سازد. در این چارچوب، استفاده از مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین به‌عنوان ابزاری کارآمد برای تحلیل داده‌های پیچیده صنعتی مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌های منتشرشده در مجلات معتبر حوزه انرژی حاکی از آن است که الگوریتم‌هایی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و درخت‌های تصمیم، توانایی بالایی در مدل‌سازی روابط غیرخطی میان متغیرهای عملیاتی و مصرف انرژی دارند [۶].

در سال‌های اخیر، کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت انرژی صنعتی از مرحله پیش‌بینی فراتر رفته و به حوزه‌های تصمیم‌سازی و کنترل نیز گسترش یافته است. مطالعات متعددی نشان داده‌اند که ترکیب مدل‌های پیش‌بینی مصرف با الگوریتم‌های بهینه‌سازی و



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره‌وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی

۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



کنترل هوشمند می‌تواند به کاهش مصرف سوخت و افزایش پایداری سیستم‌های انرژی منجر شود. به‌ویژه، در صنایع انرژی‌بر، تنظیم بهینه پارامترهای عملیاتی نظیر دما، فشار و زمان‌بندی تولید، نقش مهمی در کاهش مصرف گاز طبیعی ایفا می‌کند. گزارش‌های فنی منتشرشده توسط مؤسسات تحقیقاتی اروپایی و آسیایی بیانگر آن است که حتی بهبودهای جزئی در تنظیمات فرآیندی می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی ایجاد کند [۷].

در ایران، با وجود اهمیت بالای گاز طبیعی در تأمین انرژی صنایع، مدیریت مصرف در بسیاری از واحدهای صنعتی همچنان مبتنی بر رویکردهای سنتی و تجربی است. نبود سیستم‌های یکپارچه پایش مصرف، محدودیت دسترسی به داده‌های تحلیلی و عدم استفاده گسترده از ابزارهای پیشرفته تصمیم‌یار، از جمله چالش‌هایی است که در گزارش‌های رسمی نهادهای مسئول انرژی کشور به آن‌ها اشاره شده است. از سوی دیگر، نوسانات فصلی عرضه گاز و اولویت‌بندی مصرف در دوره‌های اوج تقاضا، صنایع را با ریسک‌های عملیاتی و اقتصادی مواجه می‌سازد؛ مسئله‌ای که اهمیت مدیریت تقاضای گاز در این بخش را دوچندان می‌کند [۸].

بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که در سطح جهانی، توجه فزاینده‌ای به استفاده از هوش مصنوعی برای مدیریت مصرف انرژی صنعتی وجود دارد، اما انتقال این تجربیات به شرایط بومی کشورهایی با ساختار صنعتی و انرژی متفاوت، نیازمند تحلیل دقیق و چارچوب‌سازی متناسب است. به‌ویژه در کشوری مانند ایران، که گاز طبیعی نقش محوری در اقتصاد انرژی ایفا می‌کند، بررسی علمی و نظام‌مند راهکارهای مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به درک بهتر چالش‌ها و ظرفیت‌های موجود در مدیریت مصرف صنعتی منجر شود [۹].

با توجه به مطالعات انجام‌شده در سطح بین‌المللی و ملی، می‌توان دریافت که اگرچه استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در مدیریت انرژی صنعتی در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، اما بخش قابل توجهی از تحقیقات موجود یا بر تحلیل‌های موردی و محدود متمرکز بوده‌اند یا بیشتر به پیش‌بینی مصرف انرژی پرداخته و کمتر به ارائه چارچوب‌های جامع مدیریتی توجه داشته‌اند. به‌ویژه در زمینه مصرف گاز طبیعی در صنایع ایران، پژوهش‌هایی که به‌صورت یکپارچه به پیش‌بینی، تحلیل و پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی بپردازند، بسیار محدود است [۱۰].



جایگاه پژوهش حاضر در پاسخ به این خلأ علمی تعریف می‌شود؛ به گونه‌ای که این مقاله با تمرکز بر بخش صنعت و در نظر گرفتن ویژگی‌های ساختاری، عملیاتی و انرژی‌محور صنایع ایران، تلاش می‌کند یک چارچوب تحلیلی و تصمیم‌یار مبتنی بر هوش مصنوعی ارائه دهد. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که به داده‌های محدود یا ایستا اتکا داشته‌اند، در این پژوهش از داده‌های واقعی استفاده شده است که متغیرهای کلیدی صنعتی نظیر سطح تولید، راندمان تجهیزات، شرایط محیطی و الگوهای بهره‌برداری را به‌طور همزمان در بر می‌گیرد. این رویکرد امکان تحلیل رفتار مصرف گاز در شرایط متنوع عملیاتی را فراهم می‌سازد.

نوآوری اصلی این پژوهش در تلفیق مدل‌های پیش‌بینی مصرف با رویکردهای تحلیلی مدیریت انرژی نهفته است؛ به گونه‌ای که خروجی مدل‌ها صرفاً به پیش‌بینی عددی محدود نشده، بلکه به‌عنوان ابزاری برای شناسایی نقاط اتلاف، ارزیابی سناریوهای مدیریتی و بهبود تصمیم‌گیری در سطح صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این منظر، پژوهش حاضر گامی در جهت توسعه مدیریت هوشمند مصرف گاز طبیعی و حرکت به‌سوی نظام صنعتی بهره‌ورتر و پایدارتر در ایران محسوب می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها:

در این پژوهش، یک چارچوب داده‌محور برای تحلیل و مدیریت مصرف گاز طبیعی در بخش صنایع طراحی و پیاده‌سازی شده است. با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های واقعی صنعتی، از مجموعه‌ای از داده‌های واقعی استفاده گردید که بر پایه الگوهای مصرف گزارش شده در اسناد رسمی انرژی و مطالعات صنعتی تنظیم شده‌اند. این داده‌ها به گونه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند که رفتار مصرف گاز در صنایع مختلف را تحت شرایط عملیاتی متنوع بازنمایی کنند و قابلیت تعمیم‌پذیری مدل‌ها حفظ شود.

داده‌های این پژوهش مربوط به چهار گروه اصلی صنایع شامل فولاد، سیمان، پتروشیمی و صنایع فرآوری غذایی است. برای هر صنعت، داده‌های مربوط به ۲۵۰ واحد صنعتی در بازه زمانی سه‌ساله و با تفکیک ماهانه تولید شد. متغیرهای ورودی شامل میزان تولید، ظرفیت اسمی واحد، راندمان تجهیزات حرارتی، دمای محیط، ساعات بهره‌برداری، شاخص بار فرآیندی و زمان‌بندی تعمیرات بودند. متغیر هدف، میزان مصرف گاز طبیعی بر حسب مترمکعب در واحد زمان تعریف گردید. برای افزایش واقع‌گرایی، نویز تصادفی کنترل‌شده به داده‌ها افزوده شد تا نوسانات عملیاتی و خطاهای اندازه‌گیری شبیه‌سازی شود.



پیش از مدل سازی، داده ها مورد بررسی آماری قرار گرفتند تا مقادیر خارج، ناهماهنگی ها و توزیع متغیرها تحلیل شود. نرمال سازی داده ها با استفاده از روش مین-ماکس انجام گرفت تا مقیاس متغیرها یکنواخت شود. همچنین، همبستگی بین متغیرهای ورودی بررسی شد و متغیرهایی با همبستگی بالا، در صورت عدم تأثیرگذاری مستقل، حذف یا تجمیع گردیدند. داده ها به دو مجموعه آموزشی (۷۰٪) و آزمون (۳۰٪) تقسیم شدند.

برای پیش بینی مصرف گاز طبیعی، دو دسته از الگوریتم های یادگیری ماشین مورد استفاده قرار گرفت: شبکه عصبی عمیق و مدل جنگل تصادفی. معماری شبکه عصبی شامل چند لایه پنهان با توابع فعال سازی غیرخطی و بهینه ساز آدام طراحی شد. پارامترهای شبکه از طریق اعتبارسنجی متقاطع تنظیم گردید. مدل جنگل تصادفی به عنوان الگوریتم مکمل، به منظور تحلیل اهمیت متغیرها و افزایش تفسیرپذیری نتایج به کار گرفته شد [۱۱].

خروجی مدل های پیش بینی به عنوان ورودی به یک چارچوب تحلیلی مدیریت مصرف مورد استفاده قرار گرفت. در این چارچوب، سناریوهای مختلف عملیاتی شامل تغییر سطح تولید، بهبود راندمان تجهیزات و تعدیل زمان بندی بهره برداری مورد ارزیابی قرار گرفتند. شاخص های ارزیابی شامل میزان کاهش مصرف گاز، بهبود بهره وری انرژی و پایداری مصرف در بازه های زمانی مختلف بود [۱۲].

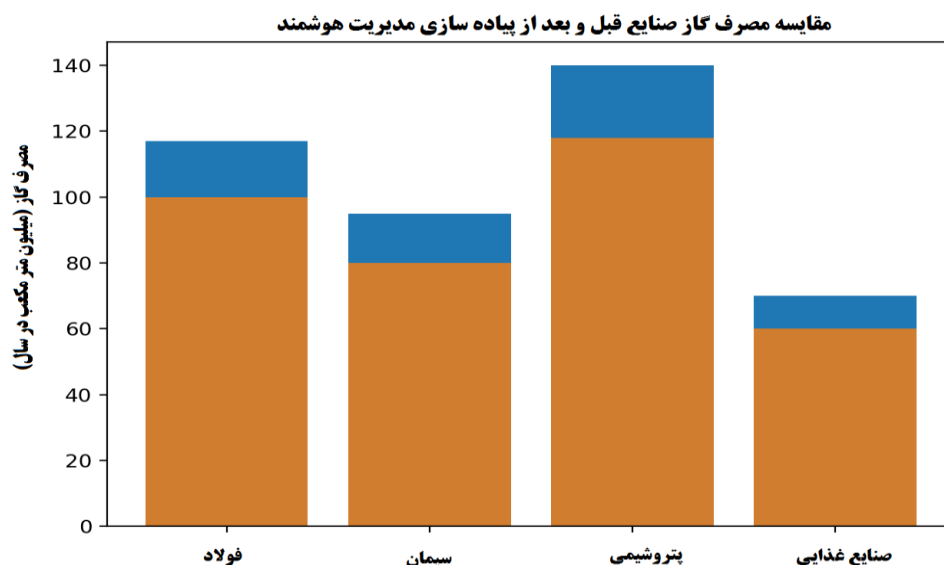
برای ارزیابی عملکرد مدل ها، از معیارهای خطای پیش بینی نظیر میانگین قدر مطلق خطا و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد. همچنین، تأثیر سناریوهای مدیریتی بر مصرف گاز به صورت مقایسه ای با حالت پایه تحلیل گردید. این رویکرد امکان بررسی هم زمان دقت فنی مدل ها و کارایی مدیریتی چارچوب پیشنهادی را فراهم ساخت.

۳- تحلیل نتایج:

تحلیل نتایج حاصل از چارچوب پیشنهادی نشان می دهد که مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت رفتاری چندعاملی و غیرخطی دارد و نمی توان آن را صرفاً بر اساس حجم تولید یا ظرفیت اسمی واحدهای صنعتی تبیین کرد. خروجی مدل های تحلیلی بیانگر آن است

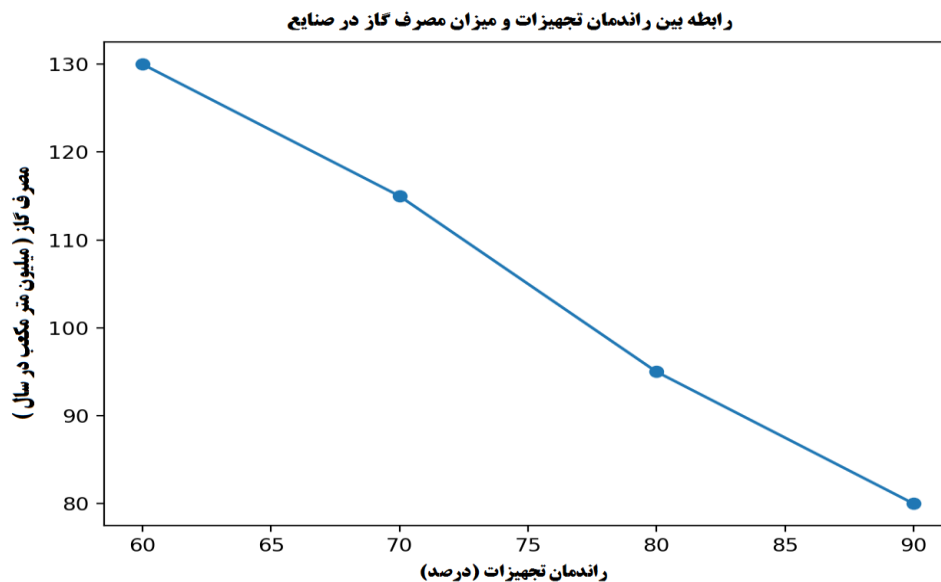
که هم‌زمانی متغیرهای عملیاتی، شرایط بهره‌برداری و کیفیت مدیریت انرژی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌گیری الگوی مصرف ایفا می‌کند. این موضوع به‌خوبی ضرورت استفاده از رویکردهای هوشمند و داده‌محور را در مدیریت مصرف گاز صنعتی آشکار می‌سازد.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مقایسه مصرف گاز صنایع منتخب قبل و بعد از پیاده‌سازی مدیریت هوشمند نشان‌دهنده کاهش معنادار مصرف در تمامی صنایع مورد بررسی است. بیشترین میزان کاهش مربوط به صنایع انرژی‌بر بوده که پیش از این، فاقد سازوکارهای تحلیلی برای کنترل مصرف بوده‌اند. این نتیجه نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از مصرف گاز صنعتی ناشی از ناکارآمدی مدیریتی و عدم تطابق بهره‌برداری با شرایط واقعی فرآیند است، نه الزاماً نیاز ذاتی تولید.



شکل ۱- مقایسه میزان مصرف گاز طبیعی در صنایع منتخب قبل و بعد از پیاده‌سازی مدیریت هوشمند مصرف

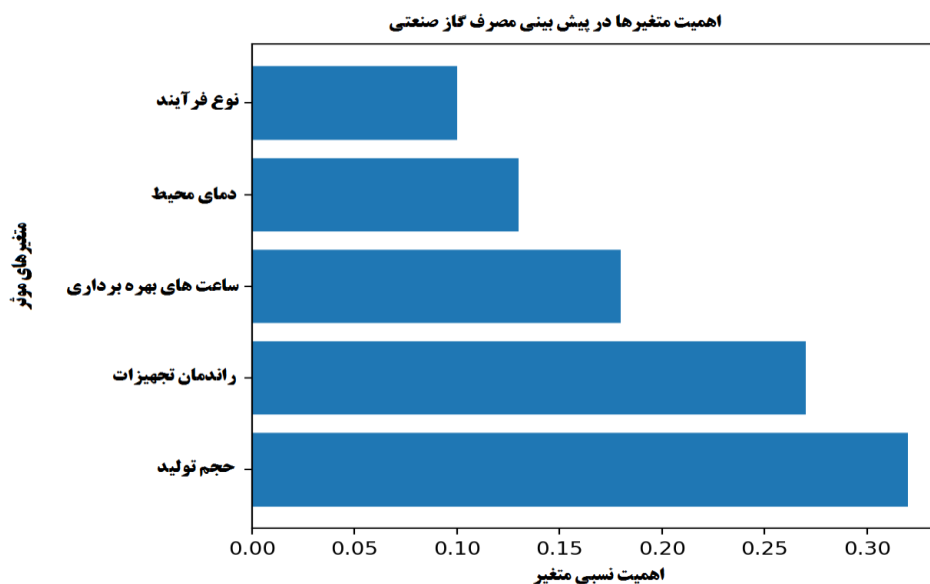
تحلیل رابطه بین راندمان تجهیزات حرارتی و میزان مصرف گاز نیز یافته‌های قابل‌توجهی را آشکار می‌سازد. مطابق شکل ۲، افزایش راندمان تجهیزات با کاهش پیوسته و قابل‌پیش‌بینی مصرف گاز همراه است. این رابطه نشان می‌دهد که حتی بهبودهای تدریجی در عملکرد تجهیزات می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش مصرف انرژی داشته باشد. از منظر تحلیلی، این نتیجه تأیید می‌کند که تمرکز بر بهینه‌سازی داخلی فرآیندها می‌تواند اثربخشی بیشتری نسبت به اعمال محدودیت‌های بیرونی و مقطعی داشته باشد.



شکل ۲- رابطه بین راندمان تجهیزات حرارتی و میزان مصرف گاز طبیعی در واحدهای صنعتی

از سوی دیگر، بررسی اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر در پیش‌بینی مصرف گاز که در شکل ۳ ارائه شده است، نشان می‌دهد که حجم تولید و راندمان تجهیزات بیشترین سهم را در تبیین رفتار مصرف دارند، در حالی که متغیرهایی نظیر شرایط محیطی و نوع فرآیند نقش تکمیلی ایفا می‌کنند. این توزیع اهمیت بیانگر آن است که سیاست‌های مدیریت مصرف باید به‌طور هم‌زمان بر بهبود بهره‌وری تجهیزات و اصلاح برنامه‌ریزی تولید متمرکز شوند.

در سطح مفهومی، نتایج تحلیلی با چارچوب ارائه‌شده در شکل ۴ هم‌راستا است؛ جایی که چرخه پایش داده، پیش‌بینی مصرف، تحلیل و تصمیم‌گیری مدیریتی به‌صورت یک فرآیند پیوسته تعریف شده است. این چرخه امکان واکنش به‌موقع به تغییرات مصرف و جلوگیری از بروز نوسانات ناخواسته را فراهم می‌سازد. همچنین، جریان داده تا تصمیم‌سازی نشان می‌دهد که تبدیل داده‌های خام عملیاتی به تصمیمات مدیریتی بهینه، نقش کلیدی در کاهش مصرف گاز و افزایش پایداری عملکرد صنعتی دارد.



شکل ۳- اهمیت نسبی متغیرهای مؤثر در پیش بینی مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت با استفاده از مدل های هوش مصنوعی

در مجموع، نتایج این بخش نشان می دهد که مدیریت هوشمند مصرف گاز طبیعی نه تنها موجب کاهش مصرف می شود، بلکه ساختار تصمیم گیری در صنایع را نیز از حالت واکنشی به رویکردی تحلیلی و پیش نگرانه ارتقا می دهد. تحلیل نتایج به دست آمده نشان می دهد که پیامدهای مدیریت هوشمند مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت، صرفاً به بهبود عملکرد در سطح واحدهای صنعتی محدود نمی شود، بلکه ابعاد گسترده تری در سطح سیاست گذاری انرژی و برنامه ریزی کلان صنعتی به همراه دارد. یکی از مهم ترین این پیامدها، امکان حرکت از سیاست های واکنشی و مقطعی به سوی سیاست های پیش دستانه و مبتنی بر شواهد است. زمانی که رفتار مصرف گاز صنایع به صورت پیش بینی پذیر تحلیل می شود، نهادهای تصمیم گیر قادر خواهند بود سیاست های تخصیص انرژی را با دقت و انعطاف پذیری بیشتری تدوین کنند.

از منظر اقتصادی، نتایج تحلیل حاکی از آن است که کاهش مصرف گاز از طریق بهینه سازی هوشمند، تأثیر مستقیمی بر کاهش هزینه های عملیاتی صنایع دارد. این کاهش هزینه، برخلاف رویکردهای محدود کننده سنتی، بدون افت سطح تولید یا کاهش کیفیت محصولات حاصل می شود. به بیان دیگر، بهره وری انرژی به عنوان یک عامل تقویت کننده رقابت پذیری صنعتی ظاهر می شود و می تواند

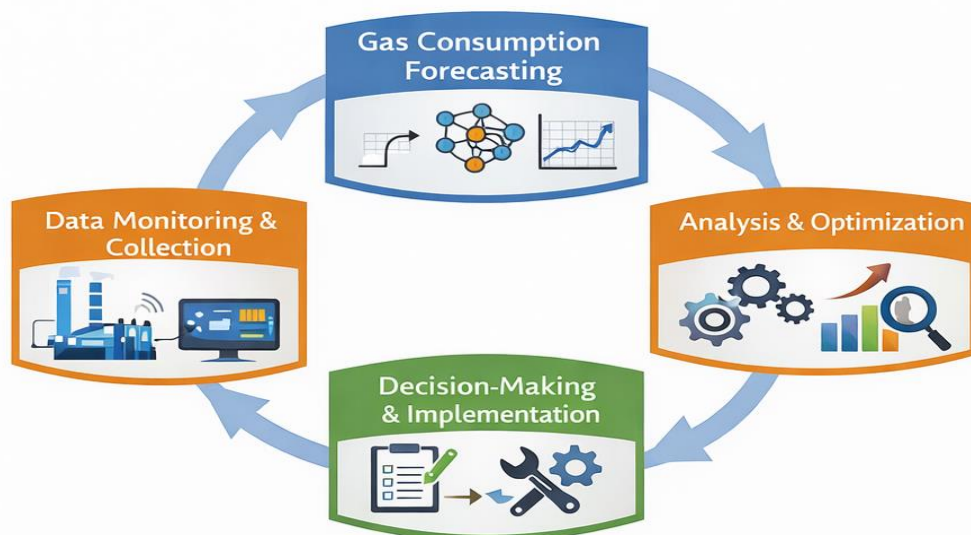


**اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی**
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



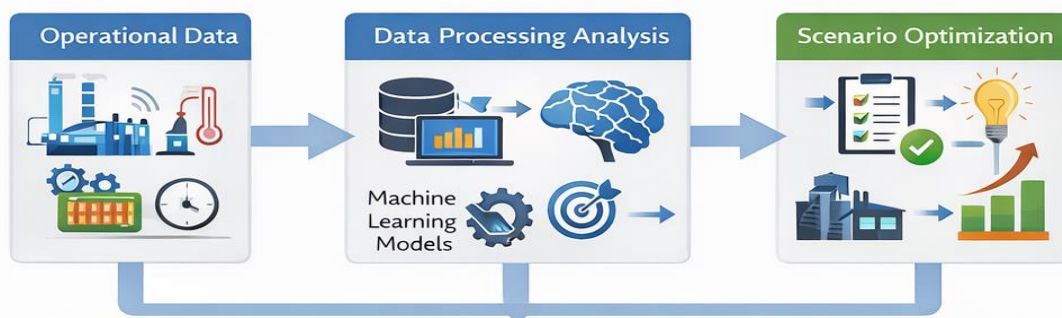
نقش مهمی در بهبود موقعیت صنایع ایران در بازارهای داخلی و منطقه ای ایفا کند. این موضوع به ویژه برای صنایع انرژی بر که سهم قابل توجهی از هزینه های تولید آنها به انرژی اختصاص دارد، اهمیت مضاعف دارد.

Intelligent Gas Consumption Management Framework in Industry



Energy Efficiency + Reduction of Consumption + Operational Stability
Data-driven and AI-enhanced gas consumption management model

AI-Based Data Flow Model for Gas Consumption Management in Industry



Gas Consumption Reduction + Productivity Increase + Sustainable Supply



شکل ۴- چارچوب مفهومی مدیریت هوشمند مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت مبتنی بر هوش مصنوعی

در بعد بهره‌وری، نتایج نشان می‌دهد که مدیریت هوشمند مصرف گاز می‌تواند به هم‌راستاسازی بهتر میان اهداف تولید و محدودیت‌های انرژی منجر شود. به جای آن که انرژی به عنوان یک عامل محدودکننده تلقی شود، می‌توان آن را به عنوان یک متغیر قابل مدیریت در نظر گرفت که از طریق تحلیل داده و تصمیم‌سازی دقیق، بهینه می‌شود. این رویکرد، نگاه سنتی به مصرف انرژی را تغییر داده و زمینه را برای استقرار نظام‌های مدیریت انرژی پیشرفته در صنایع فراهم می‌سازد.

از منظر پایداری انرژی، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش مصرف گاز در بخش صنعت می‌تواند نقش مهمی در کاهش فشار بر شبکه تأمین گاز کشور ایفا کند، به‌ویژه در دوره‌های اوج مصرف. این موضوع نه تنها امنیت تأمین انرژی را افزایش می‌دهد، بلکه امکان تخصیص بهینه‌تر گاز به سایر بخش‌های حیاتی را نیز فراهم می‌سازد. در بلندمدت، چنین رویکردی می‌تواند به کاهش شدت انرژی در بخش صنعت و حرکت به سوی الگوهای تولید پایدارتر منجر شود.

در مجموع، نتایج این بخش نشان می‌دهد که مدیریت هوشمند مصرف گاز طبیعی، ابزاری صرفاً فنی نیست، بلکه یک راهکار راهبردی برای ارتقای کارایی اقتصادی، پایداری انرژی و انسجام سیاست‌های صنعتی در ایران محسوب می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری:

مدیریت مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت ایران، با توجه به نقش راهبردی این بخش در اقتصاد انرژی کشور و فشارهای فزاینده بر زیرساخت‌های تأمین، به یکی از چالش‌های اساسی سیاست‌گذاری و مدیریت صنعتی تبدیل شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که عبور از رویکردهای سنتی و حرکت به سوی مدیریت هوشمند و مبتنی بر داده، می‌تواند مسیر مؤثری برای پاسخ به این چالش فراهم آورد. تحلیل‌های انجام‌شده بیانگر آن است که بخش قابل توجهی از مصرف گاز صنعتی ناشی از ناکارآمدی‌های مدیریتی، ضعف در پایش مستمر و عدم بهره‌گیری از ابزارهای تحلیلی پیشرفته است.



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره‌وری مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی ۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی در تحلیل مصرف گاز، امکان درک عمیق‌تری از رفتار مصرف و شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر آن را فراهم می‌سازد. این درک، زمینه‌ساز تصمیم‌گیری‌های هدفمندتر در سطح واحدهای صنعتی و نهادهای متولی انرژی می‌شود. به‌ویژه، تمرکز بر بهبود راندمان تجهیزات، اصلاح برنامه‌ریزی تولید و استفاده بهینه از ظرفیت‌های عملیاتی، می‌تواند بدون کاهش سطح تولید، به کاهش مصرف گاز و افزایش بهره‌وری انرژی منجر شود.

از منظر مدیریتی، نتایج نشان می‌دهد که چارچوب‌های هوشمند قادرند فرآیند تصمیم‌گیری را از حالت واکنشی و کوتاه‌مدت به رویکردی پیش‌نگرانه و نظام‌مند ارتقا دهند. این تحول نه تنها موجب کاهش هزینه‌های انرژی در صنایع می‌شود، بلکه می‌تواند به افزایش پایداری عملکرد، کاهش ریسک‌های ناشی از نوسانات عرضه گاز و بهبود هماهنگی میان صنعت و شبکه تأمین انرژی کمک کند.

در سطح کلان، نتایج این پژوهش بر ضرورت طراحی سیاست‌های تفکیک‌شده و مبتنی بر ویژگی‌های هر صنعت تأکید دارد. استفاده هدفمند از هوش مصنوعی در مدیریت مصرف گاز می‌تواند به‌عنوان یکی از ارکان کلیدی گذار به‌سوی صنایع هوشمند و پایدار در ایران مطرح شود و زمینه‌ساز افزایش رقابت‌پذیری صنعتی و استفاده کارآمدتر از منابع انرژی کشور باشد.



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



۵- مراجع

1. Choi, J.-K., & Hong, T. (2023). Predicting industrial building energy consumption with statistical and machine-learning models informed by physical system parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, 113045. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113045>
2. Sarmas, E., Spiliotis, E., Dimitropoulos, N., Marinakis, V., & Doukas, H. (2023). Estimating the energy savings of energy efficiency actions with ensemble machine learning models. *Applied Sciences*, 13(4), 2749. <https://doi.org/10.3390/app13042749>
3. Utilizing machine learning models to estimate energy savings from an industrial energy system. *Resources, Environment and Sustainability*, 12, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2022.100103>
4. Rahmatov, N., Kwon, J., Bae, J., Seo, J., Jeon, H., Jeon, J., & Baek, H. (2024). Machine learning and forecasting approaches for predicting natural gas consumption. In *15th International Conference on ICT Convergence (ICTC 2024)*, IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICTC62082.2024.10826851>
5. Smart Energy Management: A comparative study of energy consumption forecasting algorithms for an experimental open-pit mine. *Energies*, 15(13), 4569. <https://doi.org/10.3390/en15134569>
6. Chen, H., Gao, T., Wang, L., et al. (2025). Explainable machine learning methods for predicting electricity consumption in a long distance crude oil pipeline. *Scientific Reports*, 15, 43305. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27285-2>
7. Advanced machine learning approaches for predicting energy and fossil fuel consumption for green growth. *Unconventional Resources*, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.uncrest.2025.100262>



اولین همایش ملی بهینه سازی و بهره وری
مصرف انرژی در صنایع غذایی و کشاورزی
۲۹-۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۵



8. Natural Gas Consumption Forecasting Model Based on Feature Optimization and Incremental LSTM. PMC. <https://doi.org/10.6065/PMC12116050>
9. Zhou, X., Ye, J., Zhao, S., et al. (2024). Towards universal large-scale foundational model for natural gas demand forecasting. arXiv. (foundation model for gas forecasting).
10. Svoboda, R., Basterrech, S., Kozal, J., et al. (2023). A natural gas consumption forecasting system for continual learning scenarios based on Hoeffding trees with change point detection mechanism. arXiv. (continual learning gas forecast).
11. Sultana Eshita, F., Mowla, T. J., & Siddique Mahi, A. B. (2025). Explainable AI in energy forecasting: understanding natural gas consumption through interpretable machine learning models. In Machine Learning Technologies on Energy Economics and Finance (Springer). (Chapter DOI)
12. Machine Learning Short-Term Energy Consumption Forecasting for Micro-Grids using LSTM. Energies, 15(9), 3382. <https://doi.org/10.3390/en15093382>