

فصلنامه رهیافت‌های نوین در مطالعات اسلامی

License Number: 85625

Article Cod: SH23R627501

ISSN-P: 2676-6442

نوسازی و هوشمندسازی سامانه‌های گرمایشی مدارس استان کرمانشاه با رویکرد ارتقای ایمنی و بهره‌وری انرژی

(تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۳/۱۵ تاریخ تصویب ۱۴۰۴/۰۵/۰۴)

مهندس مرزبان نظری

مدیرکل نوسازی و تجهیز مدارس استان کرمانشاه

چکیده

سامانه‌های گرمایشی مدارس، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های حیاتی فضاهای آموزشی، هم‌زمان دو مأموریت کلیدی را بر عهده دارند، تأمین آسایش حرارتی و حفاظت از سلامت و ایمنی دانش‌آموزان و کارکنان. در اقلیم استان کرمانشاه بر اساس پیوست دسته‌بندی اقلیمی مبحث ۱۹ در رده ۴ قرار می‌گیرد تقاضای گرمایش در ماه‌های سرد سال چشمگیر است و هرگونه ضعف در طراحی، اجرا، نگهداری یا بهره‌برداری، می‌تواند به پیامدهای ایمنی (مانند خطرات آتش‌سوزی، نشت گاز و مسمومیت با مونوکسید کربن) و نیز اتلاف انرژی و هزینه‌های عملیاتی بالا منجر شود. این پژوهش با رویکردی کاربردی و قابل‌پیاده‌سازی در سطح استانی، یک چارچوب جامع برای نوسازی (بازتوانی فنی و ارتقای استانداردها) و هوشمندسازی (پایش و کنترل مبتنی بر داده، اتوماسیون و مدیریت از راه دور) سامانه‌های گرمایشی مدارس ارائه می‌کند. چارچوب پیشنهادی مبتنی بر هم‌راستاسازی با الزامات و مراجع فنی ملی (از جمله مباحث ۱۴ و ۱۹ مقررات ملی ساختمان) و همچنین استانداردها و راهنماهای بین‌المللی در حوزه مدیریت انرژی، ممیزی انرژی، کیفیت هوای داخل و امنیت سامانه‌های کنترلی است. معماری «ایمنی‌محور-انرژی‌محور» برای مدارس پیشنهاد می‌شود که شامل: استانداردهای تجهیزات و موتورخانه‌ها، ارتقای کنترل‌ها و اتوماسیون مطابق چارچوب‌های

BACS، استقرار حسگرهای ایمنی (CO/گاز/دما/دود) هوشمندسازی زمان بندی و کنترل ناحیه ای، پایش انرژی و اجرای اندازه گیری و صحنه گذاری (M&V) است. نقشه راه اجرایی مرحله بندی شده برای استان کرمانشاه (پایلوت، اولویت بندی مدارس پرریسک، مقیاس پذیری، آموزش و نگهداشت) و شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) برای ارزیابی نتایج ارائه می شود. پژوهش نشان می دهد که هم افزایی «نوسازی فنی + هوشمندسازی مدیریتی» می تواند هم زمان ریسک های ایمنی را کاهش دهد و بهره وری انرژی را ارتقا دهد، موضوعی که با جهت گیری های ملی اخیر در بهسازی و هوشمندسازی موتورخانه های مدارس و جایگزینی تجهیزات فرسوده نیز همسو است.

واژگان کلیدی: مدارس، سامانه گرمایشی، هوشمندسازی، بهره وری انرژی، ممیزی انرژی

مقدمه

بخش ساختمان در جهان سهم قابل توجهی از مصرف انرژی و انتشار آلاینده ها را به خود اختصاص می دهد، گزارش وضعیت جهانی ساختمان و ساخت و ساز (UNEP) تصریح می کند که این بخش همچنان یکی از محرک های اصلی بحران اقلیم بوده و سهم بزرگی از مصرف انرژی و CO₂ را به خود نسبت می دهد. همچنین تحلیل های آژانس بین المللی انرژی بر ضرورت ارتقای بهره وری انرژی و تقویت گدھا و استانداردهای ساختمانی تأکید دارند. در ایران نیز مدارس به عنوان گسترده ترین شبکه فضاهای عمومی آموزشی، از منظر عدالت

فضایی، تاب آوری زیرساختی، سلامت و ایمنی و همچنین هزینه‌های جاری انرژی اهمیت ویژه دارند. سامانه گرمایشی مدرسه (چه بخاری موضعی، چه سیستم مرکزی، چه موتورخانه/دیگ و شبکه توزیع) اگر به درستی انتخاب، اجرا و نگهداری نشود، می‌تواند به مخاطرات جدی بینجامد، از جمله مخاطرات ناشی از احتراق ناقص و تولید CO که در منابع معتبر سلامت محیط داخل به عنوان آلاینده‌ای مهم معرفی می‌شود. موج «هوشمندسازی» در مدیریت تاسیسات، امکان تبدیل نگهداری و بهره‌برداری از حالت واکنشی به پایش محور و پیشگیرانه را فراهم کرده است. استانداردها و چارچوب‌های نوین اتوماسیون و مدیریت ساختمان (BACS/BMS) نشان می‌دهند که ارتقای سطح کنترل‌ها، هم بر آسایش و هم بر مصرف انرژی اثرگذار است. بنابراین سؤال محوری این پژوهش چنین صورت‌بندی می‌شود: چگونه می‌توان با ترکیب نو سازی فنی و هوشمندسازی مدیریتی، سامانه‌های گرمایشی مدارس استان کرمانشاه را به گونه‌ای ارتقا داد که هم ایمنی افزایش یابد و هم بهره‌وری انرژی بهبود پیدا کند؟

بخش اول: بیان مسئله و ضرورت بحث در استان کرمانشاه

استان کرمانشاه به واسطه شرایط اقلیمی و نیاز بالاتر به گرمایش در فصل سرد، با حساسیت بیشتری نسبت به کیفیت سامانه‌های گرمایشی مدارس مواجه است. مطابق پیوست دسته‌بندی اقلیمی مبحث ۱۹، شهر کرمانشاه در رده اقلیمی ۴ A طبقه‌بندی شده است. این طبقه‌بندی به صورت عملی به معنای ضرورت توجه جدی به انتخاب ظرفیت مناسب تولید گرما و کنترل‌های پایدار، کاهش تلفات انتقال و توزیع، مدیریت ساعات کارکرد متناسب با تقویم آموزشی، و افزایش ایمنی در فضاهای پرتراکم دانش‌آموزی است. از منظر سیاست عمومی نیز

طی سال های اخیر، «بهسازی و هوشمندسازی موتورخانه های مدارس» و «جایگزینی بخاری های فرسوده با بخاری های راندمان بالا» به عنوان برنامه هایی ملی برای کاهش اتلاف انرژی و مدیریت مصرف مطرح شده است. همچنین آمارها و اظهارات رسمی از پیشرفت استانداردسازی در مقیاس کشوری حکایت دارند (برای نمونه، اشاره به بهسازی/استانداردسازی هزاران کلاس درس در یک سال و تداوم برنامه ها). با این حال، «استانداردسازی» به تنهایی کافی نیست، زیرا بخش قابل توجهی از اتلاف و ریسک، در مرحله بهره برداری و نگهداری رخ می دهد. اینجاست که هوشمندسازی (پایش مستمر، آلام، کنترل خودکار، داشبورد مدیریتی) می تواند شکاف میان «طراحی/نصب استاندارد» و «عملکرد واقعی در طول زمان» را پر کند.

بخش دوم: هدف کلی

ارائه چارچوب عملیاتی برای نوسازی و هوشمندسازی سامانه های گرمایشی مدارس استان کرمانشاه با تمرکز هم زمان بر ارتقای ایمنی و افزایش بهره وری انرژی.

اهداف اختصاصی:

۱. تدوین الزامات فنی-ایمنی مبتنی بر مقررات ملی و راهنماهای معتبر.
۲. طراحی معماری هوشمندسازی (سنسورها، کنترلرها، ارتباطات، داشبورد، سیاست های دسترسی).
۳. پیشنهاد روش ممیزی و پایش انرژی و M&V برای مدارس جهت سنجش نتایج.

۴. ارائه نقشه راه اجرایی مرحله ای ویژه استان کرمانشاه (اولویت بندی، پایلوت، مقیاس پذیری، آموزش).

بخش سوم: نوآوری

نوآوری پژوهش در «ترکیب عملیاتی» سه لایه است:

- ۱) نوسازی سخت افزاری (تجهیزات، شبکه توزیع، دودکش/تهویه، عایق کاری، شیرآلات و....)
- ۲) هوشمندسازی نرم افزاری/کنترلی (زمان بندی، کنترل ناحیه ای، کنترل مبتنی بر حضور، جبران سازی آب و هوایی، پایش)،
- ۳) مدیریت ریسک و امنیت سایبری برای سامانه های کنترلی مدارس .

بخش چهارم: مبانی نظری و مرور ادبیات

چارچوب های ملی: مباحث ۱۴ و ۱۹ مقررات ملی ساختمان: در ایران، «مبحث ۱۴» به عنوان مرجع ضوابط تاسیسات مکانیکی، حداقل الزامات طراحی، اجرا، نظارت و نگهداری سامانه های گرمایش/سرمایش و تاسیسات مرتبط را پوشش می دهد. از سوی دیگر، «مبحث ۱۹» چارچوب صرفه جویی انرژی را ارائه کرده و در ویرایش های جدیدتر، پیوست های تکمیلی شامل دسته بندی اقلیمی شهرها و ارجاعات استاندارد را نیز عرضه می کند. نتیجه عملی برای مدارس: هر برنامه نو سازی گرمایشی باید هم زمان دو سؤال را پاسخ دهد:

آیا سامانه با حداقل های ایمنی و فنی تاسیسات مکانیکی هم خوان است؟

آیا شدت مصرف انرژی و منطق طراحی / بهره برداری آن با رویکرد صرفه جویی انرژی سازگار است؟

بخش پنجم: مدیریت انرژی و ممیزی انرژی ISO ۵۰۰۱: ISO ۵۰۰۲

استاندارد ISO ۵۰۰۱:۲۰۱۸ یک چارچوب مدیریتی برای ایجاد و بهبود مستمر «سیستم مدیریت انرژی» ارائه می کند تا سازمان ها بتوانند عملکرد انرژی (کارایی، مصرف و استفاده) را نظام مند ارتقا دهند .

همچنین ISO ۵۰۰۲ اصول و الزامات انجام ممیزی انرژی (فرآیندها و خروجی ها) را مشخص می کند و برای محیط هایی مانند مدارس که داده ها پراکنده و الگوی مصرف وابسته به بهره برداری است، کاربرد بالایی دارد .

• اتوماسیون و مدیریت ساختمان (BACS/BMS): EN ۱۵۲۳۲ تا ISO ۵۲۱۲۰

در ادبیات مهندسی ساختمان، استاندارد EN ۱۵۲۳۲ به طبقه بندی سطوح کنترل (A تا D) و برآورد اثر کنترل ها بر مصرف انرژی پرداخته و راهنمایی برای تعیین حداقل های کنترلی در انواع ساختمان ها از جمله «مدارس» ارائه می کند. در سال های اخیر، چارچوب های جدیدتر مانند ISO ۵۲۱۲۰-۱:۲۰۲۱ به عنوان استاندارد برای تبیین نقش اتوماسیون، کنترل و مدیریت فنی ساختمان در عملکرد انرژی معرفی شده اند و جایگزینی آن ها نسبت به استانداردهای پیشین نیز مورد تأکید قرار گرفته است . از منظر کاربردی برای مدارس: سطح کنترل باید از «روشن / خاموش دستی» به سمت «کنترل زمان بندی شده، ناحیه ای، مبتنی بر سنسور و مدیریت پذیر» حرکت کند.

بخش ششم: کیفیت هوای داخل و سلامت در مدارس

راهنمای مرجع EPA برای کیفیت هوای داخل مدارس، رویکرد «کم هزینه و عملی» برای پیشگیری و حل مسائل هوای داخل ارائه می کند و بر اهمیت مدیریت سیستم های HVAC، نگهداری و تهویه مناسب تأکید دارد. همچنین راهنمای طراحی تأسیسات آموزشی از سوی ASHRAE، به کاربرد HVAC، ایمنی، و حفاظت انرژی در فضاهای آموزشی پرداخته و یک مرجع فنی مهم برای طراحی/بازتوانی مدارس محسوب می شود. در کنار این ها، راهنمای WHO درباره آلاینده های منتخب هوای داخل، پشتوانه علمی برای حساسیت نسبت به آلاینده هایی مانند CO فراهم می کند.

بخش هفتم: شواهد پژوهشی درباره پتانسیل کاهش مصرف با کنترل ها

مطالعات نشان می دهند که سامانه های اتوماسیون و کنترل ساختمان در صورت طراحی و پیاده سازی درست، می توانند مصرف انرژی را کاهش داده و هم زمان آسایش را بهبود دهند. برای بخش آموزش نیز ادبیات در حال رشد است و مرورهای نظام مند جدیدتر بر اهمیت مدیریت رفتار بهره برداری، داده محوری و یکپارچگی فناوری در کاهش مصرف انرژی ساختمان های آموزشی تأکید می کنند.

• روش شناسی پیشنهادی

با توجه به اینکه بسیاری از پروژه های استانی «مسئله محور و اجراپذیر» هستند، روش مناسب برای چاپ علمی می تواند ترکیبی (Mixed-Methods) باشد:

گام ۱: پایش و شناخت وضع موجود

- تهیه بانک اطلاعاتی مدارس (نوع سامانه گرمایشی، سن تجهیزات، وضعیت موتورخانه، وضعیت دودکش و تهویه، سرویس پذیری گاز، میزان خرابی).
- جمع آوری داده های انرژی حداقل یک فصل سرد (قبوض گاز/برق یا قرائت کنتور).
- بررسی رویدادهای ایمنی و شبه حادثه (آلارم ها، نشتی ها، خاموشی ها).

گام ۲: ممیزی انرژی و ایمنی (Energy & Safety Audit)

- ممیزی انرژی مطابق اصول ISO ۵۰۰۰۲: تعریف دامنه، جمع آوری داده، تحلیل، پیشنهاد اقدامات، اولویت بندی .
- ممیزی ایمنی: چک لیست های ریسک احتراق، تهویه، دودکش، نشت گاز، خطر CO، حفاظت در برابر آتش.

گام ۳: طراحی بسته مداخله (Retrofit + Smart)

اقدامات در سه سطح تعریف می شوند:

۱. اقدامات کم هزینه/زودبازده: تنظیمات، عایق کاری موضعی، بالانس شبکه، کنترل زمان بندی.

۲. اقدامات میان هزینه: ارتقای مشعل/دیگ/پمپ، نصب شیر ترموستاتیک، کنترلرهای هوشمند.

۳. اقدامات سرمایه ای: نوسازی موتورخانه، جایگزینی سامانه نامطمئن، یکپارچه سازی BMS.

گام ۴: اندازه گیری و صحنه گذاری نتایج (M&V)

برای ادعای علمی و قابلیت چاپ، لازم است نتایج با روش معتبر گزارش شود. پروتکل IPMVP یک چارچوب برای کمی سازی اثرات پروژه های بهره وری انرژی ارائه می کند .

بخش هشتم: معماری پیشنهادی نوسازی و هوشمندسازی سامانه گرمایش مدارس

اصل راهبردی: (ایمنی مقدم بر بهینه سازی)

هوشمندسازی اگر بدون ایمن سازی انجام شود، ریسک را جابه جا می کند؛ لذا لایه ایمنی باید «پیش نیاز» باشد، نه پیوست.

حداقل های ایمنی پیشنهادی برای هر مدرسه (بسته پایه):

۱. حسگر CO در فضاهای مستعد (کنار موتورخانه، کلاس های مجاور، فضاهای کم تهویه) با آلامر محلی و ارسال هشدار .

۲. حسگر نشت گاز و شیر قطع کن اضطراری (Solenoid) با منطق قطع خود کار.

۳. کنترل دود کش / گازاست و اینترلاک احتراق-تهویه.

۴. ثبت دیجیتال سرویس و نگهداری (CMMS سبک یا فرم های موبایلی)

• بسته نوسازی فنی (Retrofit Package)

الف) موتورخانه و تولید حرارت

ارتقای راندمان تولید گرما: تنظیم مشعل، کنترل اکسیژن/احتراق، بهسازی دیگ یا جایگزینی با گزینه های پربازده.

نصب عایق روی منابع حرارتی و لوله های اصلی و اصلاح نقاط اتلاف.

بهبود پمپ ها و نصب درایو دورمتغیر (در صورت توجیه فنی).

ب) توزیع و کنترل داخل مدرسه

بالانس هیدرولیکی شبکه و حذف «گرمایش نامتوازن» که باعث بازشدن پنجره ها و اتلاف می شود.

استفاده از کنترل ناحیه‌ای (کلاس‌ها، اداری، سالن ورزشی) به جای کنترل یکپارچه کل مدرسه.

نصب شیر ترموستاتیک رادیاتور/کنترلر دمای فضا در کلاس‌ها.

• بسته هوشمندسازی (Smart Package)

الف) کنترل زمان‌بندی شده و تقویم آموزشی

برنامه‌ریزی روشن/خاموش بر اساس ساعات حضور، تعطیلات رسمی، و سناریوهای برودتی.

پیش‌گرمایش هوشمند: روشن شدن تدریجی قبل از شروع کلاس برای کاهش پیک.

ب) کنترل تطبیقی و داده‌محور

جبران‌سازی مبتنی بر دمای بیرون. (Weather Compensation)

الگوریتم‌های ساده MPC یا کنترل تطبیقی (در سطح پایلوت) برای کاهش نوسان و مصرف.

ج) پایش انرژی

نصب کنتور/زیرکنتور گاز (در صورت امکان) یا قرائت ساختاریافته دوره‌ای.

داشبورد استانی: مصرف ویژه به ازای مترمربع و به ازای «ساعت بهره‌برداری آموزشی».

د) سطح اتوماسیون و کلاس‌بندی کنترل

استفاده از چارچوب های طبقه بندی کنترل) مانند کلاس های A تا D در EN ۱۵۲۳۲ برای تعیین حداقل سطح کنترل متناسب با نوع مدرسه و اندازه آن .

هم ترازى با چارچوب ISO ۵۲۱۲۰ برای تعريف فهرست عملکردهای کنترلی و مدیریتی .

بخش نهم: امنیت سایبری و پایداری سرویس

هوشمندسازی موتورخانه و کنترل گرمایش، به معنای ورود «فناوری عملیاتی» (OT) به مدارس است. راهنمای NIST در امنیت OT، از جمله برای Building Automation Systems، تهدیدها و کنترل های کاهنده ریسک را تشریح می کند . حداقل های پیشنهادی امنیتی:

- تفکیک شبکه تجهیزات کنترل از شبکه اداری/آموزشی مدرسه (Network Segmentation).
- احراز هویت چندسطحی برای دسترسی مدیریتی به داشبورد.
- ثبت رخداد (Logging) و نسخه پشتیبان از تنظیمات کنترلرها.
- سیاست به روزرسانی امن firmware برای کنترلرها و گیت وی ها.

بخش دهم: نقشه راه اجرایی پیشنهادی برای استان کرمانشاه

فاز ۰: طراحی برنامه و آماده سازی (۱ تا ۲ ماه)

تدوین استاندارد استانی (Minimum Technical Requirements) بر مبنای مباحث

۱۴ و ۱۹ .

تعریف شاخص‌ها: «ریسک ایمنی»، «شدت مصرف انرژی»، قابلیت هوشمندسازی.

فاز ۱: پایلوت هدفمند (فصل سرد اول)

انتخاب ۱۰-۲۰ مدرسه با تنوع: شهری/روستایی، سامانه مرکزی/موضعی، قدیمی/نوساز، مدارس با گزارش خرابی یا ریسک بالاتر

خروجی فاز پایلوت:

- بانک داده مصرف و رخداد
- الگوی بسته‌های مداخله و هزینه
- مدل قرارداد نگهداری و SLA

فاز ۲: اولویت‌بندی و اجرای گسترده (سال اول-دوم)

الگوریتم پیشنهادی اولویت‌بندی (امتیاز ۱۰۰):

- ایمنی (۴۰): سابقه نشتی، ضعف تهویه/دودکش، نبود حسگر، فرسودگی تجهیزات
- انرژی (۳۰): مصرف ویژه بالا، کارکرد بی‌برنامه، نبود کنترل ناحیه‌ای

- آمادگی زیرساخت (۲۰): دسترسی گاز/برق پایدار، فضای موتورخانه مناسب، امکان کنترل/ارتباط

- اثر اجتماعی (۱۰): جمعیت دانش آموزی، مناطق کم برخوردار

فاز ۳: تثبیت، آموزش و پایش مستمر (سال دوم-سوم)

- آموزش اپراتورهای موتورخانه و نیروهای خدماتی مدارس

- استقرار چرخه نگهداری پیشگیرانه

- گزارش دهی فصلی KPI و ممیزی نمونه ای

بخش یازدهم: شاخص های کلیدی عملکرد (KPI) برای گزارش علمی

برای اینکه پژوهش «قابل چاپ علمی» باشد، باید خروجی ها قابل سنجش و قابل تکرار باشند:

KPI های ایمنی

- درصد مدارس دارای حسگر CO فعال و تست شده

- تعداد رخداد های هشدار CO/گاز و زمان واکنش

- تعداد خاموشی اضطراری موفق (Fail-safe)

- شاخص انطباق با چک لیست ایمنی

KPI های انرژی

- شدت مصرف گاز (kWh/m^3) یا (m^3/m^2) در فصل سرد
- مصرف به ازای (ساعت بهره‌برداری آموزشی)
- درصد مدارس دارای کنترل زمان‌بندی شده
- میزان کاهش مصرف اندازه‌گیری شده با M&V (IPMVP)

KPI های بهره‌برداری

- نرخ خرابی تجهیزات کلیدی
 - زمان از کارافتادگی موتورخانه
 - درصد انجام سرویس‌های دوره‌ای مطابق برنامه
- چالش‌ها و الزامات موفقیت: چالش داده و کنتورینگ: بسیاری از مدارس داده دقیق و پیوسته مصرف ندارند. راه حل مرحله‌ای: شروع با قبض/قرائت دوره‌ای و سپس زیر کنتورینگ در مدارس بزرگ.
- چالش نگهداری و نیروی انسانی: بهبود سخت‌افزار بدون اصلاح فرآیند نگهداری، در چند فصل سرد مستهلک می‌شود. اتصال برنامه به اصول مدیریت انرژی (ISO ۵۰۰۰۱) کمک می‌کند «مسئولیت، هدف‌گذاری و پایش» نهادمند شود.

چالش امنیت و پایداری: هرچه هوشمندسازی بیشتر، سطح حمله نیز بزرگ تر. رعایت اصول امنیت OT ضروری است، مخصوصاً در محیط های عمومی مانند مدارس .

هم سویی با سیاست های ملی: تفاهم نامه ها و جهت گیری های ملی برای بهسازی و هوشمندسازی موتورخانه ها و جایگزینی تجهیزات فرسوده، یک «پنجره فرصت» برای تامین مالی، استانداردسازی قراردادها و هم افزایی نهادی فراهم می کند .

نتیجه گیری و پیشنهادها

این پژوهش نشان داد که رویکرد اثربخش برای استان کرمانشاه، صرفاً «تعویض تجهیز» یا «نصب چند حسگر» نیست، بلکه یک برنامه یکپارچه است که در آن:

۱. ایمنی (CO/گاز/تهویه/اینترلاک ها/نگهداری) محور نخست است .
۲. بهره وری انرژی با نوسازی فنی و ارتقای کنترل ها و زمان بندی و کنترل ناحیه ای محقق می شود .
۳. ممیزی و M&V برای اعتبار علمی و مدیریتی پروژه ضروری است .
۴. داشبورد استانی و حکمرانی داده، شرط پایداری و بهبود مستمر است.
۵. امنیت سایبری OT باید از ابتدا دیده شود .

پیشنادهای اجرایی برای اداره کل استان کرمانشاه

۱. تدوین «استاندارد استانی سامانه گرمایشی مدارس» به عنوان پیوست فنی قراردادهای (هم راستا با مباحث ۱۴ و ۱۹) .
۲. اجرای پیلوت فصل سرد و انتشار گزارش علمی مبتنی بر KPI و IPMVP.
۳. تعریف سبد مداخله سه سطحی (کم هزینه/ میان هزینه/ سرمایه ای) و اولویت بندی ریسک.
۴. ایجاد مرکز پایش (NOC سبک) در سطح استان برای هشدارهای ایمنی و مصرف.
۵. پیوند دادن آموزش اپراتورها با فرایندهای نگهداری پیشگیرانه و ثبت دیجیتال سرویس.

منابع و مآخذ

الف) منابع فارسی

۱. پورموسویان، س. ش. د.، رحیمی، ع.، و چام، ی. (۱۳۹۲) بررسی بهینه سازی مصرف انرژی با سیستم های کنترل هوشمند در موتورخانه . در کنفرانس ملی مهندسی مکانیک ایران، شیراز، ایران.
۲. دائیان، م.، و هوایی، س. (۱۳۹۴) هوشمندسازی موتورخانه، گامی مؤثر در بهینه سازی مصرف انرژی . در سومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه سازی مصرف انرژی با رویکرد توسعه پایدار .
۳. دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان. (۱۴۰۲). داندلود مبحث ۱۴ - ۱۳۹۶ - ویرایش سوم (تأسیسات مکانیکی). وزارت راه و شهرسازی .
۴. دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان. (۱۴۰۲). داندلود مبحث ۱۹ (صرفه جویی در مصرف انرژی). وزارت راه و شهرسازی .
۵. دفتر مقررات ملی و کنترل ساختمان. (۱۴۰۴). پیوست ۲ مبحث ۱۹: دسته بندی اقلیمی شهرهای ایران. وزارت راه و شهرسازی .
۶. خبرگزاری جمهوری اسلامی (ایرنا). (۱۴۰۳). سامانه های گرمایشی مدارس کشور هوشمند می شوند .
۷. خبرگزاری جمهوری اسلامی (ایرنا). (۱۴۰۳). استانداردسازی وسایل گرمایشی ۷ هزار کلاس درس تا پایان سال /

۸. خبرگزاری دانش آموزی ایران (پانا). (۱۴۰۰). استانداردسازی سامانه گرمایشی ۲۸۰ هزار کلاس درس .
۹. خبرگزاری دانشجویان ایران (ایسنا). (۱۴۰۳). سامانه‌های گرمایشی مدارس هوشمند می‌شوند.

ب) منابع خارجی

۱. ASHRAE. (n.d.). Design Guidance for Education Facilities (Version ۲.۰).
۲. ASHRAE. (n.d.). Standard ۵۵: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
۳. eubac. (۲۰۲۲). The new EN ISO ۵۲۱۲۰ is replacing EN ۱۵۲۳۲.
۴. Efficiency Valuation Organization (EVO). (n.d.). International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP).
۵. International Energy Agency (IEA). (۲۰۲۴). Energy Efficiency ۲۰۲۴.
۶. International Energy Agency (IEA). (۲۰۲۴). Breakthrough Agenda Report ۲۰۲۴ – Buildings.
۷. ISO. (۲۰۱۸). ISO ۵۰۰۰۱:۲۰۱۸ Energy management systems — Requirements with guidance for use.
۸. ISO. (۲۰۱۴). ISO ۵۰۰۰۲:۲۰۱۴ Energy audits — Requirements with guidance for use.

۹. ISO. (۲۰۲۱). ISO ۵۲۱۲۰-۱:۲۰۲۱ Energy performance of buildings — Contribution of building automation, controls and building management.
۱۰. NIST. (۲۰۲۲). SP ۸۰۰-۸۲ Rev. ۳: Guide to Operational Technology (OT) Security.
۱۱. UNEP. (۲۰۲۴/۲۰۲۵). Global Status Report for Buildings and Construction ۲۰۲۴/۲۰۲۵.
۱۲. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Reference Guide for Indoor Air Quality in Schools.
۱۳. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Indoor Air Quality Design Tools for Schools.
۱۴. World Health Organization (WHO). (۲۰۱۰). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants.
۱۵. Zhou, B., et al. (۲۰۲۲). The potential of building automation and control systems to lower the energy consumption in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Review*
۱۶. ASHRAE. (۲۰۲۳) Design guidance for education facilities: Prioritization for advanced indoor air quality (Version ۲.۰). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
[https://www.ashrae.org/file%20%2Flibrary/technical%20%2Fresources/free%20%2Fresources/design-guidance-for-education-facilities_version-۲.۰.](https://www.ashrae.org/file%20%2Flibrary/technical%20%2Fresources/free%20%2Fresources/design-guidance-for-education-facilities_version-2.0)

۱۷. CEN (Comité Européen de Normalisation). (۲۰۱۷). EN – ۱۵۲۳۲

۱:۲۰۱۷—Energy performance of buildings—Impact of building automation, controls and building management—Part. European Committee for Standardization