نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحه ۱۳۴ – ۱۰۵

ارزیابی فنی و اقتصادی استفاده از امواج رادیویی در بهینه‌سازی مصارف انرژی سیستم‌های گرمایش‌بخش خانگی

[۱] الهام ناصری*، [۲] جواد صلاحی

چکیده

بخش خانگی و تجاری یکی از بخش‌های اصلی مصرف‌کننده‌های انرژی است. طبق آمار موجود، بیش از ۱/۳ انرژی در این بخش مصرف می‌شود. سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی در ساختمان به شمار می‌روند. این پژوهش استفاده از امواج رادیویی در سیستم‌های گرمایش‌بخش مسکونی را ارزیابی می‌کند. یک ساختمان در منطقهٔ ۱ تهران، به‌عنوان نمونه انتخاب و میزان مصرف آب، برق و گاز آن با مقادیر مجاز (استاندارد) برای داده‌های قبل و بعد از نصب دستگاه‌ها مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که با گذشت ۱۸ ماه از تاریخ نصب، ۲۷،۸۹۶ متر مکعب در مصرف گاز صرفه‌جویی شده است. منفعت حاصل از نصب دستگاه رسوب‌زدا با امواج رادیویی در سال ۱۳۹۶ مبلغ ۱۰۰،۲۹۳،۰۰۰ ریال بوده است که با ادامهٔ آن در یک دورهٔ ۲۰ ساله و پس از ارزیابی اقتصادی با استفاده از روش غیرتنزیلی، NPV در نرخ تنزیل ۲۱.۴درصد مثبت خواهد بود. بنابراین، طرح موردنظر توجیه اقتصادی نیز دارد.

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹ / ۷ / ۶

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹ / ۹ / ۲۷

کلمات کلیدی:
امواج رادیویی،
سیستم گرمایش،
بخش خانگی،
ارزیابی اقتصادی.

۱. کارشناس ارشد رشته اقتصاد توسعه دانشگاه آزاد تهران مرکز (نویسنده مسئول) naseri_fk@yahoo.com
۲. استادیار دانشگاه آزاد تهران مرکز jsalahi@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

۱. مقدمه

بخش انرژی یکی از مهم‌ترین اجزای زیربنایی فنی اقتصادی جامعه بوده، با توسعه و پیشرفت اقتصادی، اهمیت انرژی به‌طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد. در طی دورهٔ سال‌های ۱۳۵۰ تا کنون، بخش خانگی همواره بیشترین سهم را از مصرف انرژی در کل کشور ایران داشته است که مصارف آن عمدتاً به گرمایش و سرمایش اختصاص دارد. بالغ بر ۵۷ درصد انرژی صرف تأمین شرایط آسایش حرارتی‌وبرودتی ساختمان‌ها می‌شود (جدول ترازنامه کل کشور).

با نگاهی به آمار و اطلاعات موجود دربارهٔ فاصلهٔ شدت مصرف انرژی در ایران با کشورهای توسعه‌یافته، مصرف ناکارای انرژی درکشور ایران بیشتر به چشم می‌آیدکه دلایل مختلفی دارد یک از مهمترین آنها ، بی‌توجهی به فعالیت‌های تحقیقاتی و پژوهشی در واحدهای صنعتی و بهره نبردن از تکنولوژی‌های جدید در بخش ساختمان ودیگر بخش‌ها است. در این پژوهش به‌طور خاص بررسی تأثیر استفاده از تکنولوژی رسوب زدایی با امواج رادیویی در سیستم گرمایشی و تشکیل نشدن رسوب در داخل مسیر لوله‌کشی آب و متعاقباً ارزیابی اقتصادی استفاده از این تکنولوژی مدنظر قرار می‌گیرد. یک ساختمان در منطقهٔ ۱ تهران، به‌عنوان نمونه انتخاب شده، میزان رسوب در مدار لوله‌کشی اندازه‌گیری و مصرف انرژی با استناد به فیش‌های آب و برق و گاز ممیزی و مقایسه شد. ممیزی در بازهٔ زمانی فرودین ۱۳۹۴ الی مهر ۱۳۹۵ دورهٔ قبل از استفاده از تکنولوژی و مهر ۱۳۹۵ الی فروردین ۱۳۹۷ دورهٔ بعد از استفاده از تکنولوژی امواج رادیویی انجام می شود. در ادامه ارزیابی اقتصادی با در نظر گرفتن قیمت اولیهٔ تکنولوژی امواج رادیویی به‌عنوان سرمایهٔ اولیه، و طول مدت ۲۰ سال (بر طبق تعاریف نظام مهندسی و عرف قابل استفاده بودن هر ساختمان در ایران ۲۰ سال است) در بازهٔ زمانی ۱۳۹۵ الی ۱۴۱۵ از طریق ذخیرهٔ انرژی در یک ساختمان در بخش گرمایش و صرفه‌جویی انجام شده با روش غیرتنزیلی و با استفاده از فرمول‌های NPV ، و IRR انجام می شود.

۲. پیشینهٔ تحقیق

مطالعات گسترده‌ای در خصوص کنترل مصرف انرژی و بررسی روش‌های هدر رفت انرژی در بخش خانگی انجام شده است، با عنایت به گستردگی متغییرها و عوامل تاثیرگذار بر مصرف انرژی بخش

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

موتورخانه ساختمان، متاسفانه مطالعات زیادی در خصوص بررسی عامل رسوب و تاثیر آن بر مصرف انرژی در دسترس نمی باشد.

آب به عنوان یک سیال جهت انتقال حرارت در سیستم های تاسیساتی استفاده می شود و در دنیای تاسیسات راهکارهای مختلفی جهت حذف رسوب ایجاده شده در مدار وجود دارد، استفاده از امواج رادیویی جزو جدیدترین و سبزترین روش‌های حذف رسوب است که نتیجتاً کاهش مصرف انرژی را در پی خواهد داشت. بنابراین در این بخش صرفاً به چند مطالعه موردی انجام شده درخصوص تاثیرتکنولوژی امواج رادیوی اشاره شده و دیگر مطالعات معرفی شده صرفاً مبنی بر استفاده از روش های نوین در بخش خانگی است.

شرکت آیدکس[1] انرژی، در سال ۲۰۱۴ طی آنالیز و بررسی تأسیسات و سیستم‌های تولید آب گرم در یک مجتمع به این نتایج دست یافت: با نصب یک دستگاه که با ایجاد امواج رادیویی رسوبات را از بین می‌برد در مدت ۴ ماه بالغ بر ۹۵ درصد از رسوب‌های آهکی کاهش یافت. نتایج حاکی از آن بود که ۵۰ درصد صرفه‌جویی انرژی و ۵۰ درصد کاهش هزینهٔ نگهداری صورت گرفته است.

استخر روباز دانشگاه صنعتی هنگ‌کنگ دارای دو دستگاه فیلتر شنی و یک دستگاه فیلتر کربنی است و سیستم متعارف گندزدایی نصب شده روی استخر، سیستم کلرزن اتوماتیک بوده که به‌طور معمول ۳ ppm کلر تزریق می‌کرده است. پس از نصب ۳ دستگاه از سری p مصرف کلر کاهش یافت و دستگاه ازن زن از مدار خارج شد. با کمک امواج رادیویی هزینهٔ کل در سال (دلار هنگ‌کنگ) از ۹۹۴۰۲ دلار به ۶۴۲۶ دلار کاهش یافت بررسی‌های اقتصادی انجام شده کاهش ۹۰ درصد هزینهٔ نگهداری سالیانهٔ استخر را نشان می‌دهد (سینا، ۱۳۸۹).

ذکر این نکته الزامی است که مطالعات موردی انجام شده در بخش‌های غیرمسکونی صرفاً بیانگر این موضوع است که امواج رادیویی در دیگر بخش‌ها قطعاً تأثیرگذار است، اما در این پژوهش با توجه به دلایلی که قبلاً به آن اشاره شد، بخش مسکونی مورد ارزیابی است.

دیگر مطالعات انجام شده در زمینهٔ عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی در جدول زیر آمده است:

1 IDEX

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ردیف	نام نویسنده	موضوع مورد مطالعه	نتیجهٔ مطالعه
۱	(آنا کراوچک،۲۰۱۶)[1]	مطالعه موردی تحلیل میزان مصرف انرژی برای گرمایش در یک خانه مسکونی در لهستان	با مدرن سازی ساختمان‌ها یا سیستم تهویه مطبوع (گرمایش ، تهویه و تهویه هوا)، می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد. در این مطالعه مصرف تئوری انرژی حرارتی در طی سه سال مقایسه شد. تعویض پنجره‌هاومبدل گرمایی پیشنهاد شده، ضریب مصرف‌انرژی اولیه از۱۳۲کیلووات ساعت در مترمربع به ۱۲۰ کیلووات ساعت در مترمربع کاهش یافت.
۲	(www.buldings.com, 2015)	چهار تکنولوژی می‌توانند تأثیر زیادی در صرفه‌جویی انرژی ساختمان داشته باش‌ند.	استفاده از بسته‌های بی‌ام‌اس[2]، سیستم مدیریت انرژی ساختمانو روشنایی بیش از۵۰درصد، فن‌های چندسرعته ۳۲درصد، پنجره‌های هوشمند تا۲۶درصد درمصرف انرژی صرفه‌جویی در پی خواهد داشت.
۳	سایپا کاشان	تأثیر استفاده از امواج رادیویی در خط تولید کارخانه	پس از گذشت۴ماه مصرف گاز برای بهره‌برداری از ۱۱ دستگاه چیلر به میزان ۳۶۰ میلیون ریال و در مصرف آب ۳۳۰ میلیون ریال صرفه‌جویی شده است.
۴	(نبوی و جعفری نصر ۱۳۸۴)	ارزیابی اصلاح شبکهٔ مبدل‌های حرارتی واحد تقطیر یک پالایشگاه	در این مطالعه تاثیر حذف رسوب، میزان صرفه‌جویی در مصرف‌انرژی خارجی، هزینه سرمایه‌گذاری و زمان بازگشت سرمایه به منظور اصلاح شبکه مبدلهای‌حرارتی بررسی و ارزیابی شده است.

1 AnnaKrawczyk,Dorota
2 BEMS(Building Energy Management System)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ردیف	نام نویسنده	موضوع مورد مطالعه	نتیجهٔ مطالعه
۵	(بطحایی، و همکاران ۱۳۹۰)	رسوب‌زدایی منابع آب گرم بهداشتی و همچنین دیگ‌ها با کمک سیستم کنترل هوشمند	سیستم کنترل هوشمند با آگاه‌سازی به موقعه جهت رسوب زدایی موتورخانه،باعث جلوگیری از اتلاف برق و گاز در موتورخانه‌ها می‌شود.
۶	(صادقی‌شاهانی و خوشخوی، ۱۳۹۶)	معرفی مؤلفه‌های اقتصادی و فنی در بهبود کارایی مصرف انرژی بخش خانگی ایران	عواملی همچون توسعهٔ کنتورهای هوشمند و تجهیزات هشدارمصرف‌انرژی‌در منازل و همچنین توسعهٔالگوی‌های معماری جزو اثرگذارترین عوامل درکارایی انرژی معرفی شده است.
۷	(آرمن و زارع، ۱۳۸۸)	بررسی مصرف انرژی و رابطهٔ آن با رشد اقتصادی	اجرای هرگونه سیاست صرفه‌جویی در مصرف انرژی و نوسازی و استفاده از تجهیزات جدید جایگزین تجهیزات قبلی در نهایت منجر به رشد اقتصادی خواهد شد.
۸	(بطحایی و محمودی، ۱۳۸۶)	بررسی صرفه‌جویی مصرف سوخت در بخش ساختمان در بعد کلان توسط کنترل هوشمند	با اعمال بهینه‌سازی مصرف سوخت ساختمان در بعد ملی می‌توان بهره‌مند شد.
۹	کامبیز پیش‌قدم (پیش‌قدم، ۱۳۸۱)	بررسی تأثیر استفاده از سرمایش از سقف در مصرف انرژی ساختمان	سیستم سرمایش سقفی تأثیر بسزایی در افزایش بازده و کاهش مصرف انرژی دارد.
۱۰	(وکیل‌الرعایا، ۱۳۹۳)	تأثیر استفاده از سیستم‌های نوین تهویهٔ مطبوع و بهره‌گیری مناسب از انرژی گرمایشی و سرمایشی در ساختمان‌ها	استفاده از سیستم‌های نوین علاوه بر پیشگیری از افزایش گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند در صرفه‌جویی مناسب مصرف برق و سایر مولدهای انرژی تأثیرگذار باشد.
۱۱	(بطحایی و محمودی، ۱۳۸۴)	استفاده از سیستم های کنترل هوشمند تاسیسات حرارتی در بخش ساختمان	استفاده از روش‌های نوین کنترل تاسیسات حرارتی ساختمان منجربه صرفه‌جویی انرژی می شود. بخش خانگی ۲۵ درصد و بخش اداری ۶۵ درصد .

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ردیف	نام نویسنده	موضوع مورد مطالعه	نتیجهٔ مطالعه
۱۲	(سهیلی و همکاران ,۲۰۱۶)[1]	حذف رسوب بر روی دیواره های لوله با استفاده از میدان مغناطیسی	استفاده از مکانیسم‌های مغناطیسی بر کاهش رسوب تأثیر می‌گذارد، فناوری مغناطیسی یک روش تصفیه ساده، مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست برای تولید آب پاک با قابلیت حذف رسوب است.
۱۳	(فرایزی و همکاران , ۲۰۲۰)[2]	فرایند آلتراسونیک برای اصلاح پیشرفته رسوبات آلوده	رسوبات مشکل اصلی در محیط‌های آبی است، به طوری که وجود آلاینده‌ها نگرانی‌های زیادی را برای برای محیط‌زیست و سلامت انسان ایجاد می‌کند. بنابراین اصلاح رسوبات برای کاهش غلظت آلاینده‌ها ضروری است، فن‌آوری آلتراسونیک بر تخریب رسوبات‌آلوده با ترکیبات‌آلی حدود ۸۸٪ ، و در دفع کادمیم[3] ٪۸۴ ، سرب[4] ٪۴۷ ، روی[5] ۷۱ ٪ موثر است.
۱۴	(تنگ و همکاران, ۲۰۱۷)[6]	رسوب کربنات کلسیم بر روی مبدل حرارتی با سطوح مختلف تبادل گرما	رسوب بر روی سطوح با افزایش رسانایی گرمایی فلزات ، افزایش می یابد.علاوه بر این، اثرات دما، سرعت و غلظت سیال بر میزان تشکیل رسوب تاثیرگذار است.

1 Sohaili, Johan &et al.
2 Fraiese,A&et al.
3 Cadmium(cd)
4 Lead(pb)
5 Zinc(zn)
6 Teng,K.H.&et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ردیف	نام نویسنده	موضوع مورد مطالعه	نتیجهٔ مطالعه
۱۵	(سویو و همکاران)[1]	مدل سازی مصرف انرژی ساختمان در چین تحت سناریوهای مختلف آینده	مصرف انرژی در ساختمان‌های چین و میزان انتشار کربن تا سال ۲۰۵۰ مدل سازی شد. این تحقیق نشان می‌دهد که، با استفاده از استراتژی‌هاو سیاست‌های مناسب،و فنآوری‌های جدید بخش ساختمان، چین قادر به توسعه پایدار است .
۱۶	(نیلسون و همکاران،۲۰۱۸)[2]	خانه های هوشمند ، سیستم های مدیریت انرژی خانه درسهایی برای تأثیر بر مصرف انرژی خانگی	یک مطالعه میدانی در بین ۱۵۴ خانوار با درآمد و تحصیلات بالا، که به عنوان پذیرندگان اولیه فنآوری‌های شبکه هوشمند هستند در سوئد با هدف، سنجش تاثیر سیستم های مدیریت انرژی خانگی[3]انجام شد نتایج نشان می‌دهد که تأثیر این سیستم بر مصرف انرژی به طور گسترده‌ای در هر خانوار متفاوت است.
۱۷	(گنگ و همکاران , ۲۰۱۷)[4]	مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای در بخش مسکونی	این مطالعه، مروری است بر مقالاتی که در کشورهای مختلف به منظور ترویج سبک زندگی با انتشار کربن کمتر، و الگوی مصرف‌انرژی بخش‌خانگی انجام شده است. این مقاله، یک مرجع تحقیقات در مورد مصرف‌انرژی مسکونی و و گازهای گلخانه‌ای منتشر شده مربوط به سالهای ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶ است.

1 Siyue,Guo&et al.
2 Nilsson ,Anders&et al.
3 HEMS(Home energy management systems)
4 Geng ,Yong&et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ردیف	نام نویسنده	موضوع مورد مطالعه	نتیجهٔ مطالعه
۱۸	(رودز و همکاران, ۲۰۲۰)[1]	تمیز کردن آبگرمکن های مسکونی و تاثیرش بر لژیونلا[2] در فلینت میشیگان [3]	اوایل سال ۲۰۱۶ افزایش بیماری لژیونر در فلینت نگرانی هایی را ایجاد کرد. یک بررسی میدانی جامع از آبگرمکن های مسکونی و کیفیت آب‌ها انجام شد. حذف رسوب از آبگرمکن‌ها باعث کاهش نشانه‌های لژیونلا در برخی از خانه ها شد. پس از تمیز کردن، سختی (کلسیم ، منیزیم ، سیلیس) و مواد معدنی مرتبط با خوردگی (سرب ، آهن ، مس، آلومینیوم ، روی) در ساختمان‌های نمونه ۶۴٪ کاهش یافت.
۱۹	(هو، و همکاران ۲۰۱۸)[4]	مطالعه تجربی فرآیند رسوب زدایی و اثر ضد آلودگی در انتقال حرارت با استفاده از آلتراسونیک	طی یک مطالعه تجربی، یک دستگاه آلتراسونیک فرکانس ۲۰.۷ کیلوهرتز و توان بین ۰ تا ۷۵ وات بر روی یک مبدل حرارتی دو لوله ای نصب شد. سختی آب ورودی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر نتایج نشان داد که با افزایش دما رسوب تشکیل شده مقاومتر است. با روش آلتراسونیک، مقاومت رسوب، در مقایسه با نمونه بدون آلتراسونیک به طرز چشمگیری کاهش می‌یابد. ظاهر کربنات کلسیم توسط میکروسکوپ آنالیز شد، تأیید شد که آلتراسونیک باعث تشکیل تعداد بیشتری کریستال کربنات کلسیم شده است.

1 Rhoads ,William&et al.
2 Legionella
3 Flint, Michigan
4 Hou ,Tengfei

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

با استناد به مطالعات انجام شده می‌توان گفت برای کاهش مصرف انرژی در بخش‌خانگی از مرحله طراحی، اجرا، تا تعمیرات‌ونگهداری ساختمان می‌بایست به این موضوع توجه شود، تدوین مقررات ملی ساختمان، کمک شایانی در مرحله اجرا به این موضوع داشته است، (خواجه مبارکه و ذوالفقاری, ۱۳۸۸)با کمک طراحی ساختمان‌های سبز و استفاده از فناوری‌های جدید و روش‌های سبز در مرحله تعمیرات‌ونگهداری و همچنین فرهنگ‌سازی و تغییر الگو مصرف به طور یکپارچه و هدفمند می‌توان عمل کرد

۳. مبانی نظری

جیمز کلرک ماکسول[۱] ، فیزیک‌دان اسکاتلندی که در دهۀ ۱۸۷۰ نظریۀ واحد الکترومغناطیس را ارائه داد، وجود امواج رادیویی را پیش‌بینی کرده بود. چند سال بعد، هاینریش هرتز [۲] فیزیک‌دان آلمانی، نظریۀ ماکسول را در تولید و دریافت امواج رادیویی به کار برد. بعدها واحد فرکانس امواج الکترومغناطیسی، یک دوره در ثانیه، به افتخار او هرتز نام گرفت. هرتز از یک اسپارک گپ[۳] ، دو الکترود فلزی که با فاصلۀ مشخص از یکدیگر قرار گرفته‌اند، متصل به یک سیم‌پیچ به‌عنوان فرستنده و یک اسپارک گپ جدا روی آنتن دریافت‌کننده استفاده کرد.

امروزه و در عصر پیشرفت تکنولوژی، کاربرد و استفاده از طیف‌های فرکانسی و امواج رادیویی در حال‌گسترش روزافزون است.

در بین طیف الکترومغناطیسی، امواج رادیویی کمترین فرکانس (بزرگ‌ترین طول موج) را دارند و بیشترین استفاده از این امواج در ارتباطات و مخابرات است[۴]. (گروویچ،۱۹۸۵)

واحد اندازه‌گیری فرکانس رادیویی " هرتز"[۵] یا "سیکل بر ثانیه" است. طول موج یک سیگنال الکترومغناطیسی با فرکانس یا بسامد آن رابطۀ معکوس دارد، بدین معنی که بالاترین فرکانس کوتاه‌ترین

1 James Clerk Maxwell
2 Heinrich Hertz
3Spark Gap
4 Gurevich,A.V.
5 Hertz

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

طول موج را دارد. در کل سیگنال‌هایی با طول موج‌های بلندتر مسافت بیشتری را می‌پیمایند و از قابلیت نفوذ بهتری در میان اجسام در برابر سیگنال‌های دارای طول موج کوتاه برخوردارند.

تکنولوژی هیدروپت توسط یک شرکت دانش‌بنیان و نوآور در عرصهٔ جهانی در زمینهٔ مهار و کنترل سختی آب و رسوب‌زدایی با تکنولوژی پیشرفتهٔ امواج رادیویی در سال ۱۹۹۲ اختراع و به دنیا معرفی شد. این تکنولوژی یک اصلاح‌گر فیزیکی است که در آن فراوری فیزیکی آب با امواج رادیویی باند AMدر کل مدار لوله‌کشی انجام می‌شود. این تکنولوژی املاح سختی آب را حذف نمی‌کند، این املاح کماکان در آب موجود هستند اما سیگنال‌های هیدروفلو نه تنها به آنها اجازهٔ رسوب‌گذاری بر روی سطوح را نمی‌دهد بلکه قادر است رسوبات قدیمی را نیز باز کرده و به صورت کریستال تبدیل کند .

مصرف انرژی بخش خانگی علاوه بر محل جغرافیایی و مؤلفه‌های اقلیمی، نوع کاربری ساختمان، تأسیسات مکانیکی، نوع سازه به میزان سختی آب منطقه و رسوب‌گذار بودن آن نیز بستگی دارد. مصرف انرژی در ساختمان به فاکتورهای مختلفی وابسته است اما دو فاکتور مهم آن یکی مشخصات ساختمان (عواملی مانند بدنهٔ ساختمان، طراحی و نوع ساخت) و دیگری ادوات انرژی‌بر است که شامل ادوات سرمایشی،گرمایشی و تهویهٔ مطبوع می‌شود.

با شاخص قرار دادن موارد الزام قید شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان در جدول زیر، مفاهیمی که در ساختن ساختمان نمونه مورد استفاده قرار گرفته‌اند ارائه می‌شوند.

جدول۱) عوامل مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان نمونه

شرح مفهوم	جهت تأثیر روی مصرف انرژی بخش خانگی
عایق‌کاری دیوارهای خارجی ساختمان	مثبت
نصب پنجره‌های دوجداره	مثبت
عایق‌کاری کانال‌های هوا، لوله‌های تأسیسات و سیستم تولید آب‌گرم	مثبت
نصب سیستم‌های کنترل‌کنندهٔ موضعی نظیر شیرهای ترموستاتیک بر روی رادیاتورها	مثبت
نصب سیستم‌های کنترل مرکزی هوشمند و مجهز به سنسور اندازه‌گیری دمای هوای محیط	مثبت

منبع: یافته‌های پژوهش

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

برای بهینه‌سازی عملکرد بخش موتورخانه می توان از روش نصب سیستم کنترل محیطی هوشمند موتورخانه، تنظیم موتورخانه، تطابق دیگ و مشعل، نصب دمپر بارومتریک عایق‌کاری لوله و دیگ، و سرانجام رسوب‌زدایی برای انتقال حرارت بهتر استفاده کرد. در این پژوهش به رابطه بین میزان رسوب داخل لوله و تأثیر استفاده از امواج رادیویی بر حذف آن و در پی آن کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایشی اشاره می‌شود. (بطحایی، طاهری و ایزی، ۱۳۹۰).

از جمله عوامل مؤثر در میزان تشکیل رسوب می توان به سختی آب، دما، PH و جنس لوله اشاره کرد. رسوب گذاری در لوله های آب آثار مخرب متعددی را به همراه دارد که برخی از آن ها عبارتند از: کاهش آهنگ انتقال حرارت، کاهش جریان آب، مسدود شدن مسیر آب، افزایش هزینه های عملیات تمیزکاری، ایجاد خوردگی از طریق الکترولیز بین لایه و رسوب و فلز بدنه، افزایش آلودگی محیط زیست، افزایش میزان سوخت ناشی از لایه رسوب که سبب کاهش انتقال حرارت می شود، کاهش راندمان کار لوازم حرارتی و برودتی ماند آب گرمکن ، پکیج ، برج های خنک کننده و کندانسور، کاهش عمر تجهیزات. وجود رسوبات سبب کاهش قطر داخلی لوله ها و در نتیجه کاهش جریان آب می شود همچنین رسوبات به عنوان یک عایق حرارتی در سطوح انتقال حرارت عمل می کنند و متعاقباً منجر به اتلاف انرژی می شود .

چگونگی تاثیرامواج رادیویی بر حذف رسوب وکاهش مصرف انرژی

آب مهم‌ترین سیالی است که در سامانه‌های حرارتی و برودتی وظیفهٔ انتقال حرارت را بر عهده دارد. هرگاه دمای آب افزایش یابد واکنش ذیل رخ می‌دهد که از نظر شیمیایی بصورت زیر است:

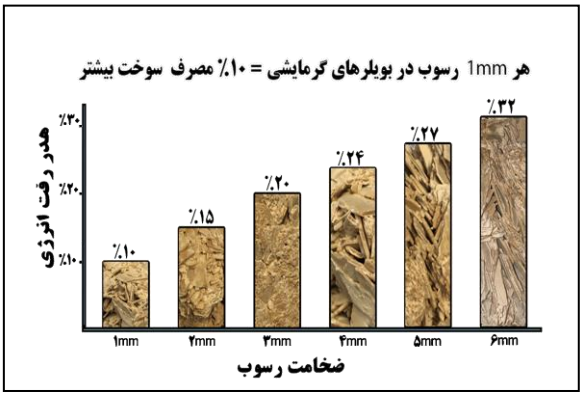
$$Ca(HCO3)2 \text{ —— } CaCO3 + H2O + CO2$$

بدین‌سان اولین لایه از رسوب بر جداره‌های لوله و سایر تجهیزات که در مسیر جریان آب قرار دارند تشکیل می‌شود که این لایه تشکیل شده، به عنوان پایه‌ای جهت نشست رسوبات بعدی می‌باشد، بدین ترتیب با گذشت زمان لایه‌ها افزایش یافته و بشکل دوایر متحدالمرکز افزایش رسوب را در پی خواهد داشت، که این موضوع منجر به، کاهش انتقال انتقال حرارت شده و در نهایت باعث کاهش کارایی و انسداد کل مسیر عبور آب می‌گردد. رسوب اولین عامل پنهان مصرف بی‌رویهٔ انرژی است که باید با رسوب‌گیری هدفمند آن را از میان برد. عامل ایجاد رسوب سختی آب است. (اورام، ۲۰۱۴)[1]در

1 Oram, B

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

سیستم‌های گرمایشی و گرم‌کننده نظیر دیگ و مبدل‌های آب‌گرم هر ۱ میلی‌متر رسوب، ۱۱ درصد انرژی را به هدر می‌دهد.چرا که یک مبدل با رسوب، زمان و سوخت بیشتری صرف گرم نمودن سیال خواهد کرد.



نمودار ۱) رابطهٔ میزان رسوب و هدررفت انرژی. منبع: (www.rgspath.com)

از گذشته تا امروز برای مقابله با رسوب روش‌های مختلفی معرفی شده است، اما استفاده از امواج رادیویی انتخاب پژوهشگر است زیرا طول عمر این تجهیز با توجه به اینکه تکنولوژی جدیدی بوده و دارای پتنت اختراع است بالغ بر ۳۰ سال برآورد شده است، نیاز به نگهداری ندارد و هیچ قطعهٔ مکانیکی‌ای ندارد. بنابراین، مستهلک نمی‌شود.

امواج رادیویی به عنوان یک اصلاح‌گر فیزیکی عمل می‌کند یعنی بدون استفاده از مواد شیمیایی و با استفـاده از ایجاد تغییرات در امـلاح محلول در آب بواسطه میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی تمایل رسوب گذاری آب را کاهش می‌دهد.

تکنولوژی امواج رادیویی با القای سیگنال‌های رادیویی به شکل جریان سینوسی در تمام مدار لوله‌کشی از هر دو سمت، یک میدان الکتریکی سینوسی در داخل لوله ایجاد می کند و امکان برخورد ذرات و یون‌ها به یکدیگر را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد و در نتیجه، هسته مرکزی کریستال‌های پایدار و منظم تشکیل می‌شود، یون‌های محلول در سیال به حالت کریستال‌درآمده و از رسوب‌گذاری آنها بر روی سطح جلوگیری می‌کند. این ذرات کوچک با سطح خارجی ناچیز، بار الکتریکی نسبتا بالایی داشته

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

و یون‌هایی را که در محلول معلق می‌گردند را بسرعت جذب می‌نمایند، حضور کریستال‌هایی که بطور یکنواخت در سیال وجود دارند پدیده رسوب گذاری بر روی سطوح را حذف می‌کند. مهمترین خصیصه این تکنولوژی این است که بدون نیاز به توقف سیستم و تخلیه آب و تغییر در لوله کشی، نصب می شود و منجر به حذف رسوب های قبلی شده و اجازه رسوب‌گذاری مجدد نمی‌دهد، نتیجتاً این روند تاثیر بر مصرف کمتر، سوخت و انرژی خواهد داشت. شایان ذکر است جنس لوله و دبی سیال داخل لوله تاثیری بر عملکرد این امواج ندارد.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، آب مهم‌ترین سیالی است که در سامانه‌های حرارتی و برودتی وظیفهٔ انتقال حرارت را بر عهده دارد. هرگاه دمای آب افزایش یابد و یا مقداری از آن تبخیر شود، لایه‌هایی از رسوب در جدارهٔ لوله‌ها، مخازن و شیرآلات تشکیل می‌شود. سختی آب عامل تأثیرگذاری بر رسوب‌گذاری در مدت کمتر است. وجود رسوبات سبب کاهش قطر داخلی لوله‌ها و درنتیجه کاهش جریان آب می‌شود. همچنین رسوبات همچون یک عایق حرارتی در سطوح انتقال حرارت عمل می‌کنند، بنابراین هردو عامل سبب کاهش انتقال حرارت شده و متعاقباً منجر به اتلاف انرژی می‌شوند. با عنایت به اینکه بیشترین مصرف انرژی در بخش خانگی است، معرفی روش‌هایی که بتواند مصرف این بخش را کنترل کند از اهمیت بالایی برخوردار است.

٤. داده‌ها و تصریح مدل

بدین ترتیب می‌بایست در این پژوهش به نحو مقتضی بررسی شود که آیا هر ساختمان به واسطهٔ مصرف انرژی (متغیر وابسته) که بخشی از مصرف انرژی کشور را دارد، می‌تواند با استفاده از تکنولوژی های نو ازجمله امواج رادیویی (متغیر مستقل) مصرف خود را کنترل کند و یا کاهش دهد یا خیر و اینکه استفاده از تکنولوژی امواج رادیویی در سیستم‌های گرمایش خانگی دارای توجیه اقتصادی است.

به سبب حجم گستردهٔ جامعهٔ آماری، مراجعه به همهٔ آحاد جامعه و مطالعهٔ یک‌به‌یک آنها امکان‌پذیر نیست. بنابراین، با انتخاب یک ساختمان در منطقهٔ ۱ تهران و ممیزی مصرف پس از استفاده از امواج رادیویی در جهت جلوگیری از تشکیل رسوب در آن ساختمان و تعمیم نتایج آن به کل کشور پژوهش انجام شده است. در روش کمی ریسک انتخاب اشتباه نمونه و بازگشت‌ناپذیر بودن وجود دارد که این نگرانی با اندازه‌گیری آب منطقهٔ قیطریه، که طبق مدارک سختی آب از میانگین آب کشور بالاتر است، می‌تواند این اطمینان را ایجاد کند که نمونه درست انتخاب شده است. به این دلیل که پارامتر سختی آب

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

در تشکیل رسوب و کاهش راندمان سیستم گرمایش و متعاقباً افزایش مصرف انرژی و کاهش بهره‌وری نقش بسزایی دارد. بنابراین، با توجه به سختی آب منطقهٔ قیطریه می‌توان عنوان کرد نمونه همگونی لازم را با جامعهٔ مورد مطالعه دارد.

در این پژوهش صرفاً با تاکید بر حذف رسوب (با استفاده از امواج رادیویی) که یک روش اصطلاحاً سبز است ارزیابی فوق صورت خواهد گرفت.

پروژهٔ مورد پژوهش (ساختمان دنو) با زمینی به مساحت ۱۷۴۰ متر مربع و با بر شمالی و جنوبی ۲۶ متر و طول ۶۷ متر که با توجه به کشیدگی ساختمان در راستای شمالی و جنوبی دو پاسیو اصلی شرقی و غربی با ابعاد ۷۵ و ۸۰ متر مربع برای نوررسانی به واحدها در نظر گرفته شده، در کل دارای ۷ طبقهٔ مسکونی و سه طبقهٔ مشاعات است.

در طبقهٔ اول سه واحد با رعایت استانداردهای خانه‌های معلولین ساخته شده که شامل دو سوئیت و یک آپارتمان دوخوابه در شمال ساختمان است. چهار واحد دیگر در جنوب ساختمان قرار دارند. در این طبقه واحدها از ۵۵ متر مربع تا ۱۶۷ متر مربع مساحت دارند. طبقهٔ دوم شامل سه واحد در شمال، دو واحد در مرکز و چهار واحد در جنوب است. از طبقهٔ سوم تا ششم چهار واحد در شمال، دو واحد در مرکز و چهار واحد در جنوب است. در طبقهٔ هفتم چهار واحد در شمال، دو واحد در مرکز و سه واحد در جنوب قرار دارند.

امکانات دیگر ساختمان شامل این موارد است: سالن اجتماعات، سالن ورزش، اتاق مدیریت، خانهٔ سرایداری، خانهٔ کارگری، کارواش.

نمونهٔ مورد پژوهش در سال ۱۳۹۴ به بهره‌برداری کامل رسید و در خرداد همان سال تمامی ساکنان در واحدهای آن مستقر شدند. در مهرماه سال ۱۳۹۵ با حضور کارشناسان تأسیسات، همهٔ تجهیزات بازبینی و موارد زیر مشاهده شد:

تخمین میزان رسوب در جدارهای دیگ و کندانسورهای چیلر به میزان ۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد که رسوبات سخت به دیواره‌ها چسبیده بود و به‌راحتی جدا نمی‌شد.

طبق گفتهٔ کارشناسان، در فصل‌های قبل هم بازبینی انجام گرفته بود اما به دلیل حجم کم رسوب‌ها صرفاً با تخلیه و آبگیری مجدد کار را ادامه داده بودند. با جلسهٔ برگزارشده توسط هیئت‌مدیره و اعضای تیم فنی مجموعه، راهکارهایی ازجمله تمیزکاری مکانیکی (استفاده از برس‌های فلزی، واتر جت و...)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

تمیزکاری شیمیایی (استفاده از مواد شیمیایی جهت شست‌وشو) و استفاده از تکنولوژی امواج رادیویی پیشنهاد شد. دو روش مکانیکی و شیمیایی با هزینهٔ بسیار کمتر انجام می‌گرفت اما روش سوم هزینهٔ زیادی را به مجموعه تحمیل می‌کرد.

در نهایت با توجه به معایب و تأثیرات منفی روش‌های مکانیکی و شیمیایی و همچنین تکرار مجدد رسوب‌گذاری درفصل‌های بعد، استفاده از تکنولوژی امواج رادیویی هیدروپت [1] برای ساختمان مورد مطالعه در مهرماه سال ۱۳۹۵ عملیاتی و خرید آن در ابتدای سال ۱۳۹۶ انجام شده است.

مصرف گاز به‌عنوان متغیر اصلی تحلیل انتخاب می‌شود زیرا شواهد کافی و قابل استناد برای این امر وجود داردکه، با توجه به حساسیت سوخت فسیلی و تجدیدناپذیری آن، استفاده از امواج رادیویی تأثیر بسزایی در این بخش دارد.

به‌منظور تحلیل داده‌ها، این رویکرد پی گرفته خواهد شد که در ابتدا مصرف سه نوع حامل انرژی (به ترتیب گاز، آب و برق) که به عنوان پارامترهای تحلیل این پروژه انتخاب شده‌اند با تمرکز انحصاری بر روی روندهای مصرف هریک بررسی خواهد شد، و صرفه‌جویی‌های انجام شده در یک دورهٔ قبل از استفاده از امواج رادیویی و بعد از استفاده از امواج رادیویی، مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت و در انتها برای انجام ارزیابی اقتصادی، داده‌ها در یک بازهٔ ۲۰ ساله (۱۳۹۵ الی ۱۴۱۵) NPV و IRR محاسبه خواهد شد.

۵. تجزیه و تحلیل نتایج

مصرف گاز

قبوض گاز مصرفی، مجموع گاز مصرفی در مجتمع مسکونی دنو را نمایش می‌دهد در جدول پیوست ۱، که شامل مصارف اجاق گاز خانگی برای پخت‌وپز و مصارف موتورخانه است. همچنین مصارف موتورخانه در زمستان شامل گرمایش ساختمان و آب گرم مصرفی است. در تابستان مصرف گاز برای گرمایش ساختمان حذف شده و به جای آن مصرف گاز چیلرهای جذبی اضافه می‌شود.

طبق جدول ۲ مبحث ۱۷ قوانین ملی ساختمان که در زیر آمده، گازکشی طبیعی مقررات ملی ساختمان ایران، مقدار تقریبی مصرف گاز جهت اجاق‌گاز خانگی (پنج‌شعلهٔ فردار) حدود ۰/۷ مترمکعب در

1 Hydropath

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ساعت است .با در نظر گرفتن ۴۵ دقیقه مصرف‌گاز در شبانه‌روز به صورت متوسط، میزان مصرف گاز طبیعی برای پخت‌وپز در ماه برای تمام واحدهای مجتمع نمونه یعنی ۶۵ واحد حدود ۹۷۵ مترمکعب در محاسبات لحاظ می‌شود.

در یک ساعت ۰/۷ متر مکعب، با فرض حدود ۴۵ دقیقه استفاده در روز از اجاق گاز به عدد حدود ۰/۵ در روز برای هر واحد می‌رسیم که در تعداد واحدها و روزهای یک ماه که ضرب می‌شود عدد ۹۷۵ استخراج می‌شود.

۰/۵× ۶۵ × ۳۰ = ۹۷۵

همچنین جهت مدار آب‌گرم مصرفی با در نظر گرفتن دوش، ماشین لباس‌شویی، ماشین ظرف‌شویی، سینک آشپزخانه و روشویی حدود ۱۰۰۰۰ کیلوکالری در ساعت یا معادل ۱ مترمکعب در ساعت برای هر واحد لحاظ می‌شود. بنابراین، مصرف گاز در بخش آب‌گرم مصرفی به صورت ماهیانه حدود ۱۵۰۰ مترمکعب در ماه لحاظ می‌شود.

جدول ۲) مبحث هفدهم مقدار تقریبی مصرف تعدادی از دستگاه‌های گاز سوز

دستگاه گازسوز	مقدار تقریبی مصرف (متر مکعب بر ساعت)
آب‌گرم‌کن فوری	۲.۵
آب‌گرم‌کن مخزن‌دار	۱.۵
اجاق گاز پنج‌شعلهٔ فردار	۰.۷
اجاق گاز تجاری	۴.۵ تا ۲.۵
بخاری خانگی	۰.۶
کباب‌پز یا پلوپز	۰.۳
پلوپز تجاری	۴.۵تا ۲.۵
روشنایی	۰.۱
شومینه	۰.۳

منبع: مقررات ملی ساختمان

باتوجه به اینکه بخش‌های فوق فاقد کنتورگاز فرعی و مجزا هستند، مصارف تقریبی با در نظر گرفتن ضرایب تقاضا و آماربرداری میدانی محاسبه شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

ذکر این نکته الزامی است که برای سیالات تراکم‌پذیر همچون گاز نمی‌توان گفت چه حجمی در لحظه مصرف شده. به همین دلیل در این قبیل محاسبات شمارشگر کنتور بیانگر عدد واقعی نیست و می‌بایست مصرف استاندارد، که همان مصرف واقعی ساختمان است، مورد ارزیابی قرار گیرد.

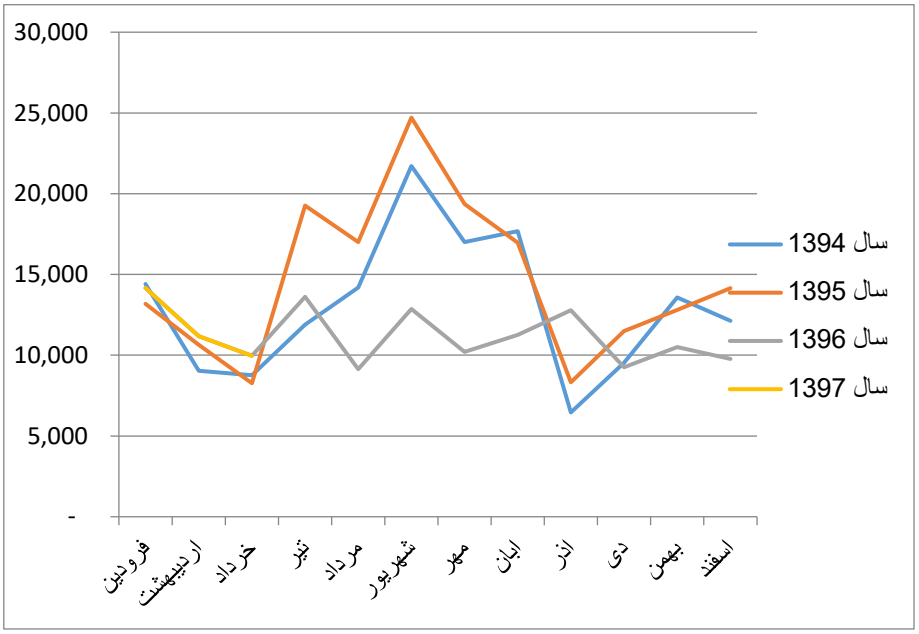
جهت تأمین صحت یافته‌های پیشین، مقایسهٔ تأثیر دستگاه در ۱۸ ماه قبل و ۱۸ ماه بعد از نصب دستگاه به سه روش انجام گرفت: میانگین مصرف استاندارد قبل از نصب و بعد از نصب، مقایسهٔ مصرف استاندارد هریک از ماه‌های قبل و بعد به صورت دوبه‌دو، مقایسهٔ میانگین مصرف زمستان.

کل مصرف استاندارد در هجده ماه قبل از نصب دستگاه بالغ بر ۲۴۹،۴۷۰ مترمکعب و کل مصرف استاندارد در هجده ماه بعد از نصب دستگاه بالغ بر ۲۲۱،۵۷۴ مترمکعب بوده است که بالغ بر ۲۷،۸۹۶ مترمکعب کمتر گاز مصرف شده. میانگین مصرف استاندارد ساختمان نمونه، از ابتدای سال ۱۳۹۴ تا مهرماه ۱۳۹۵ به میزان ۱۳،۸۵۹ مترمکعب و از مهرماه ۱۳۹۵ تا ابتدای سال ۱۳۹۷ به میزان ۱۲،۳۱۰ متر مکعب محاسبه شد که با مقایسه و استفاده از فرمول درصد قابل ملاحظه است که حدود ۱۱ درصد کاهش در مصرف گاز صورت گرفته است.

$$\frac{\text{میانگین قبل} - \text{میانگین بعد}}{\text{میانگین قبل}}$$

$$\frac{12310-13859}{13859} = -0.111 \times 100 = -11.1$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



نمودار ۲. مصرف گاز ساختمان نمونه. منبع: (فیش‌های گاز ساختمان)

بدیهی است تحلیل هر نموداری با توجه به شماتیک کلی و روندهای برجستهٔ مربوط به آن استفاده از لنز خاص و در ادامهٔ آن ابزار و نگرش تحلیلی منحصربه‌فردی را از سوی پژوهشگر می‌طلبد. در این باره، با یک بررسی اولیه و یک نگاه اجمالی به نمودار فوق می‌توان دریافت که در برخی ماه‌ها روند مصرف انرژی تغییراتی کاملاً چشمگیر داشته است. با توجه به اینکه مردادماه و دی‌ماه اوج مصرف انرژی است، می‌توان با اشاره به این دو ماه و بررسی آن به این نتیجه رسید که بعد از نصب دستگاه یعنی سال ۱۳۹۶ مصرف گاز در مرداد و دی‌ماه کاهش داشته است. در محاسبات بالا مشاهده شد که در ۱۸ ماه پس از نصب دستگاه‌ها، میانگین مصرف ۱۱درصد کاهش یافته است.

داده‌های مربوط به مقایسهٔ دوبه‌دوی هریک از ماه‌های قبل و بعد از نصب تجهیزات در جدول زیر آمده است:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

جدول ۳. مقایسهٔ دوبه‌دوی ماه‌ها قبل و بعد از نصب تجهیز

ماه‌ها	میانگین ماه‌های پیش از نصب	میانگین ماه‌های پس از نصب	درصد تغییر (کاهش)
فروردین	۱۳,۲۶۱	۱۴،۱۶۱	۶.۷۸ ٪
اردیبهشت	۱۳،۷۹۴	۱۳،۵۴۲	- ۱.۸۲ ٪
خرداد	۹،۸۴۱	۱۱،۱۷۳	۱۳.۵۳ ٪
تیر	۸,۵۱۵	۹،۹۶۰	۱۶.۹۷ ٪
مرداد	۱۵,۵۸۵	۱۳،۶۱۶	- ۱۲.۶۳ ٪
شهریور	۱۵,۶۰۰	۹،۱۳۸	- ۴۱.۴۲ ٪
مهر	۲۳,۲۱۰	۱۲،۸۵۹	- ۴۴.۵۹ ٪
آبان	۱۸،۱۸۶	۱۰،۲۰۵	- ۴۳.۸۸ ٪
آذر	۱۷,۳۲۱	۱۱،۲۵۸	- ۳۵ ٪
دی	۷،۳۹۴	۱۲،۷۹۰	۷۲.۹۷ ٪
بهمن	۱۰،۵۱۹	۹،۲۵۳	- ۱۲.۰۳ ٪
اسفند	۱۳,۱۹۱	۱۰،۴۹۹	- ۲۰.۴۰ ٪

منبع: نتایج تحقیق

با عنایت به اینکه موضوع پژوهش بررسی بخش گرمایش است و سیستم گرمایش در فصول سرما بهره‌برداری می‌شود لذا مقایسه‌ای بین این فصول انجام شده است. شایان ذکر است سال ۱۳۹۴ در این بخش محاسبه نشده زیرا سال اول بهره‌برداری ساختمان بوده و هیچگونه افت راندمان اتفاق نیفتاده است. با عنایت به بازبینی سیستم‌ها در مهر ۱۳۹۵ که مشاهدات حاکی از رسوب‌های سخت بوده لذا پاییز و زمستان ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ با هم قیاس شده است.

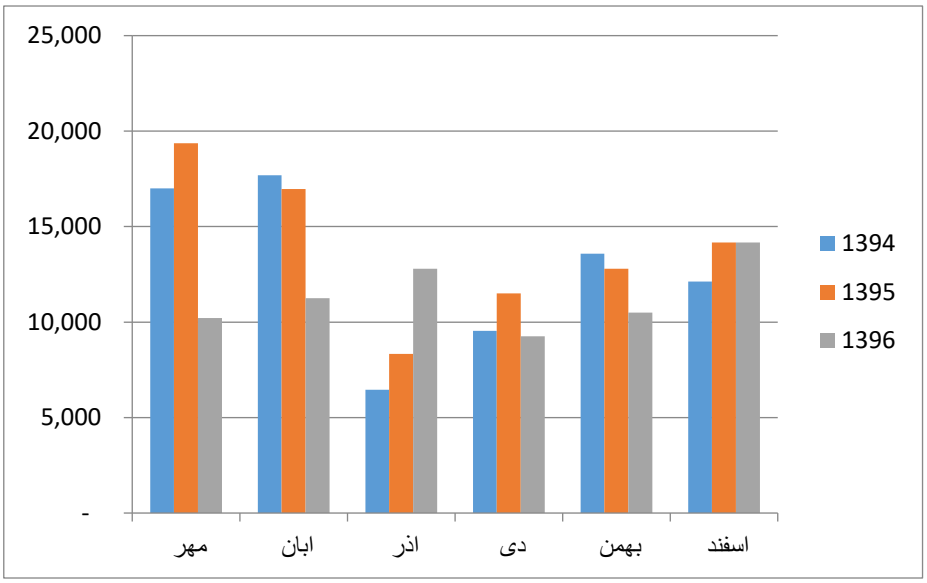
کل مصرف استاندارد گاز در فصل پاییز و زمستان سال ۱۳۹۵ معادل ۸۳،۱۲۰ مترمکعب و کل مصرف استاندارد در فصل پاییز و زمستان سال ۱۳۹۶ معادل ۶۸،۱۶۶ مترمکعب بوده است که بالغ بر ۱۴،۹۵۴ مترمکعب کمتر گاز مصرف شده. میانگین مصرف استاندارد ساختمان نمونه، در سال ۱۳۹۵ در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مدت مذکور ۱۳،۸۵۳ مترمکعب و در سال ۱۳۹۶ به میزان ۱۱،۳۶۱ مترمکعب محاسبه شد که با مقایسه و استفاده از فرمول درصد قابل ملاحظه است که ۱۷.۹ درصد کاهش در مصرف گاز انجام شده.

$$\frac{\text{میانگین قبل} - \text{میانگین بعد}}{\text{میانگین قبل}}$$

$$\frac{11361 - 13853}{13853} = -0.179 \times 100 = -17.9$$

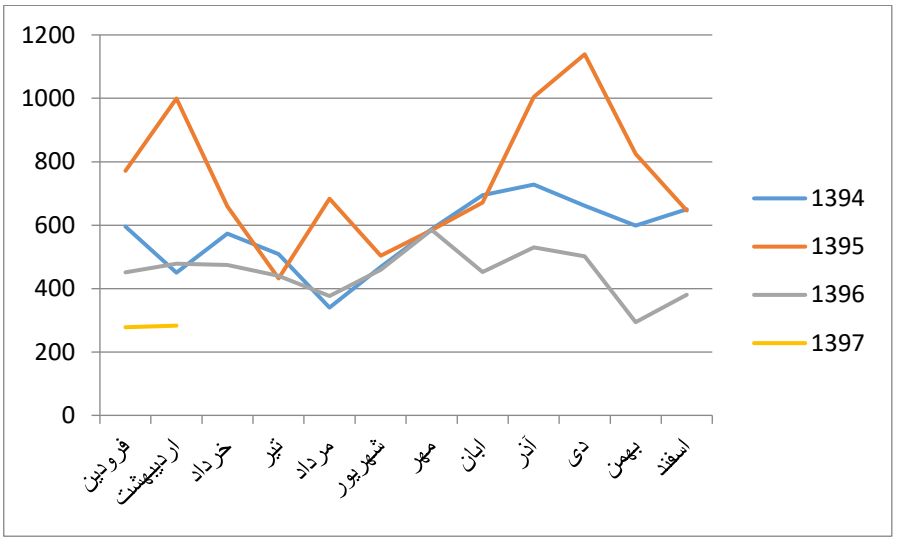


نمودار ۳. مصرف گاز ساختمان نمونه در فصول سرد سال. منبع: (فیش‌های گاز ساختمان)

مصرف آب

صرفاً در ذیل جهت اثربخشی تجهیزات نصب شده، به ارائهٔ داده‌های مربوط به مصرف آب پرداخته و با توجه به اینکه تمرکز اصلی بر روی مصرف گاز بوده به عنوان یک سوخت فسیلی و کاهش مصرف آب نیز روند نزولی داشته است، به ارائهٔ داده ها و تحلیل‌ها به صورت جدول پیوست ۲، و نمودار خواهیم پرداخت.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



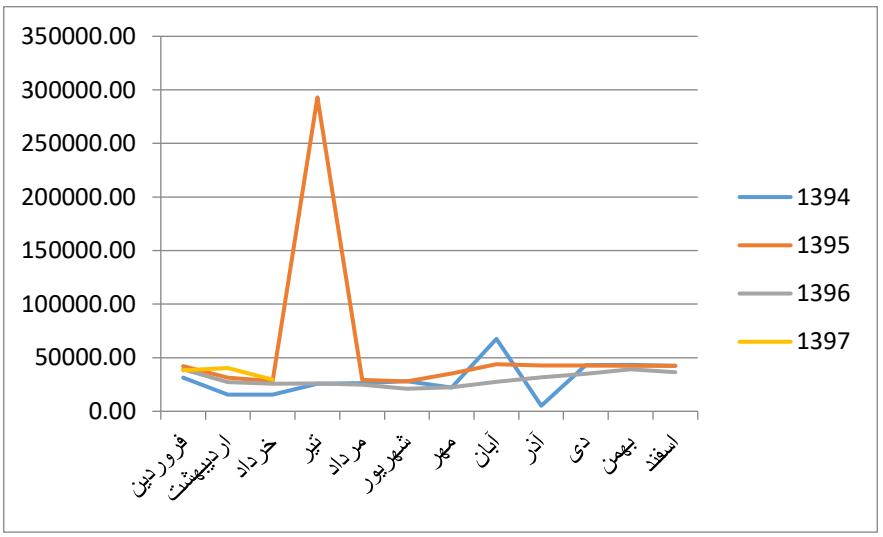
نمودار ۴. مصرف آب ساختمان نمونه. منبع: (فیش‌های آب ساختمان)

پس می‌توان دریافت استفاده از دستگاه رسوب‌زدا با توجه به کاهش کارکردهای لوازم مورد استفاده برای تجهیزات و تأسیسات مکانیکی و آب‌رسانی در این زمینه نیز اثر مثبتی بر جای گذاشته است. شاید با نگاهی به نمودار سال ۱۳۹۵ این ذهنیت ایجاد شود که افزایش در این سال بسیار زیاد بوده، اما ذکر این نکته الزامی است که استفاده از امواج رادیویی به دلیل اینکه از زمان نصب شروع به شکستن هسته‌های رسوب می‌کند و در ۳ الی ۶ ماه نخست با باز کردن رسوب‌ها که بیشتر از جنس کلسیم و منیزیم است موجب افزایش غلظت آب می‌شود، بدیهی است چنانچه آب تازه جهت رقیق‌سازی آب مدار وارد سیستم نشود، آب در مدار اشباع شده و مجدد رسوب‌گذاری اتفاق می‌افتد. لذا در دستورالعمل اجرایی پس از نصب این دستگاه تأکید می‌شود که در چند مرحله آب سیستم‌ها تخلیه شود تا غلظت آب داخل مدار کاهش یابد. افزایش مصرف آب در این مقطع این‌گونه توضیح داده می‌شود که تخلیهٔ کل مدار و آبگیری مجدد بدیهی است مصرف آب را افزایش می‌دهد. در این بخش برخلاف مولفه گاز، بهتر است سال ۱۳۹۶ با سال ۱۳۹۴ مورد ارزیابی قرار گیرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مصرف برق

در زمینهٔ مصرف برق نیز روندی مشابه با مصرف آب اتخاذ خواهد شد. با عنایت به جذبی بودن چیلرهای این پروژه، و اینکه در مصرف برق یک ساختمان با کاربری مسکونی عوامل مهم‌تری از موتورخانه می‌توانند در آن نقش داشته باشند لذا از انجام محاسبات مربوطه به این مولفه صرف نظر شده است. داده ها در جدول پیوست ۳، ارائه شده است.



نمودار ۵. مصرف برق ساختمان نمونه. منبع: (فیش‌های برق ساختمان)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

دمای هوا

جدول ۴) میانگین دمای هوای تهران به تفکیک ماه

سال	فروردین	اردی‌بهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۳۹۴	۱۱.۵	۱۹.۲	۲۵.۳	۳۱.۶	۳۱.۷	۳۰.۴	۲۵.۴	۲۰.۳	۱۰.۵	۵	۶.۹	۹.۸
۱۳۹۵	۱۳.۵	۱۷.۶	۲۴.۹	۲۸.۷	۳۱.۵	۳۰	۲۶.۹	۱۹.۴	۹.۸	۶.۳	۵.۴	۵.۴
۱۳۹۶	۱۱.۴	۱۷.۸	۲۵.۴	۲۹.۸	۳۱.۶	۳۰.۲	۲۶.۸	۱۹.۵	۱۳.۵	۸.۳	۵.۳	۵.۳
۱۳۹۷	۱۲.۳	۱۸.۲	۲۴.۵									

منبع: سایت هواشناسی

با محاسبهٔ میانگین دما قبل از نصب و بعد از نصب نیز بررسی می‌شود که دمای هوا به عنوان متغیر مداخله‌گر تأثیری در مصرف نداشته باشد.

میانگین دما ۱۸ ماه قبل از نصب دستگاه ۲۰/۷۶ درجه بوده و میانگین دما ۱۸ ماه بعد از نصب دستگاه ۱۹/۶۱ درجه است که می‌توان در این باره اعلام کرد که کاهش دمای چشمگیری در تابستان و یا افزایش دمای چشمگیری در زمستان‌های بعد از نصب صورت نگرفته که خود منجر به کاهش مصرف انرژی در فصول مختلف شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

قیمت و تعداد تجهیزات تعبیه شده:

مدل دستگاه	تعداد	قیمت (ریال)
p-8	۱	۳۰۴،۰۰۰،۰۰۰
HS-38	۱	۹،۰۰۰،۰۰۰
HS-40	۱	۲۸،۰۰۰،۰۰۰
C120	۱	۱۷۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع کل :		۵۱۱،۰۰۰،۰۰۰ = سرمایه‌گذاری اولیه

با استعلام از ادارهٔ گاز و طبق مصاحبه با کارشناسان این اداره، مشخص شد قیمت هر مترمکعب گاز از سال ۱۳۹۴ تغییر عمده‌ای نکرده است و قیمت هر مترمکعب گاز به‌صورت پلکانی بر اساس میزان مصرف تعیین می‌شود که حداقل آن از ۴۱۴ ریال برای دامنهٔ کم‌مصرف شروع می‌شود و برای دامنهٔ مصرفی بالای ۱۲۰۰ مترمکعب قیمت به ۴۸۳۰ ریال می‌رسد.

همچنین در فصل گرم با مصرف بیش از ۱۹۰مترمکعب گاز در یک ماه، مبلغ گازبها به ازای هر مترمکعب ۱۵۰۰ ریال محاسبه می‌شود.

برای این پژوهش نیز تصمیم بر آن شد که میانگین فصل‌های گرم و سرد با یک تلورانس ۵ درصدی مبنای قیمت گاز قرار گیرد، اما قیمت زیر به عنوان قیمت پایهٔ هر مترمکعب گاز در محاسبات مدنظر قرار خواهد گرفت.

قیمت پایهٔ هر متر مکعب گاز = ۳۶۰۰ ریال

در حالی که هزینهٔ تمام‌شدهٔ هر مترمکعب گاز طبیعی ۲۳ سنت است، در کشور به هر مترمکعب سوخت فسیلی ۲۱ سنت یارانه اختصاص داده می‌شود و در واقع برای هر مترمکعب گاز فقط ۲ سنت هزینه دریافت می‌شود. بنابراین، باتوجه به اینکه در ایران به گاز یارانه تعلق می‌گیرد با قیمت تمام شده به نرخ دلار بررسی‌های فوق نتیجه‌گیری خواهد شد.

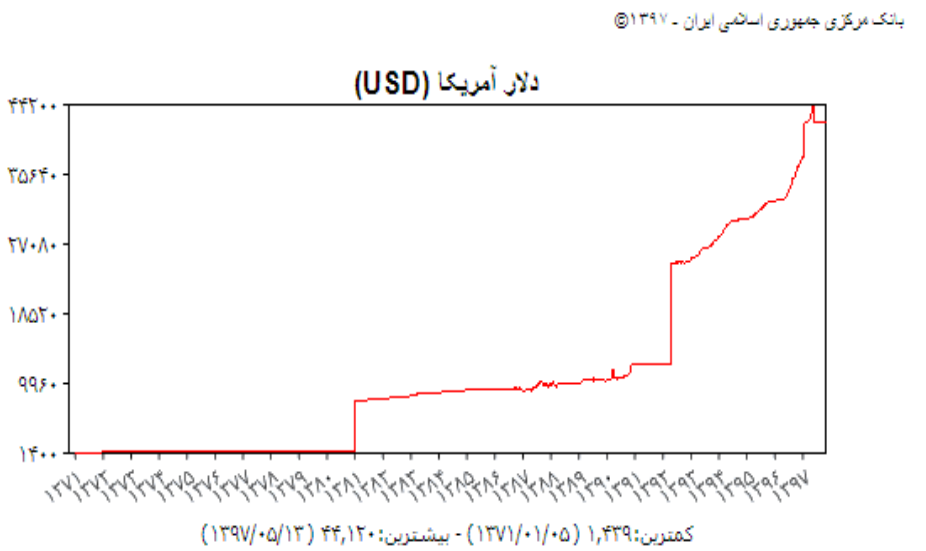
با استناد به داده‌های بانک مرکزی ایران، نرخ ارز در ابتدای اردیبهشت سال ۱۳۹۶ قیمت هر دلار امریکا توسط بانک مرکزی حدود ۳۲،۴۴۳ اعلام شد. (ساختمان نمونه نیمهٔ دوم سال ۱۳۹۵ دستگاه‌ها را به‌طور پایلوت نصب کرده و در ابتدای اردیبهشت ۱۳۹۶ وجه دستگاه‌ها را پرداخت کرد. البته نوسان زیادی در این بازهٔ زمانی نبوده است.)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

جدول ۵. قیمت دلار در بازهٔ مشخص خرید

دلار امریکا	ارز – ریال	تاریخ
حداقل	۳۱،۴۰۶	۱۳۹۵/۰۷/۰۴
میانگین	۳۲،۱۸۰	۱۳۹۵/۰۷/۰۱ تا ۱۳۹۶/۰۲/۱۵
حداکثر	۳۲،۴۴۳	۱۳۹۶/۰۲/۱۵

منبع: سایت بانک مرکزی



نمودار ۶. نرخ ارز. منبع: (سایت بانک مرکزی)

در نمودار هم می‌توان ملاحظه کرد که نوسانات نیمهٔ دوم سال ۱۳۹۵ تا اردیبهشت ۱۳۹۶ چشمگیر نبوده است. همان‌طور که در بررسی مصارف دوره‌های مختلف ساختمان ملاحظه شد، بالغ بر ۲۷،۸۹۶ مترمکعب در کل ۱۸ ماه مصرف گاز کاهش یافته است که چنانچه قیمت تمام شدهٔ هر مترمکعب گاز را ۲۳ سنت در نظر بگیریم، می‌توان محاسبه کرد:

۲۷۸۹۶×۲۳ = ۶۴۱۶۰۸ C = ۶۴۱۶.۰۸$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

بنابراین ۶،۴۱۶ دلار به ازای هر ۱۸ ماه کمتر مصرف شده است. چنانچه این عدد را به ریال تبدیل کنیم بالغ بر ۲۰۸،۱۳۵،۰۴۰ریال پس انداز شده است. همان‌طور که قبلاً اعلام شد، با توجه به اینکه در ایران به گاز یارانه تعلق می‌گیرد، مقدار مصرف کاهش یافته را به دلار تبدیل کردیم تا روشن شود که چنانچه بخش خانگی فقط ۱۱ درصد مصرف خود را کاهش دهد، با فروش این بخش به بازارهای جهانی چه درآمدی برای کشور حاصل خواهد شد.

میانگین مصرف گاز تا پیش از نصب دستگاه رسوب‌زدا (برای ۱۸ دورهٔ منتهی به زمان نصب تجهیز از زمان بهره‌برداری ساختمان) به عنوان پایهٔ مصرف گاز قبل از سرمایه‌گذاری خرید دستگاه در نظر گرفته خواهد شد.

مصرف گاز پایه ۱۳،۸۵۹=۱۸÷ ۲۴۹,۴۷۰= میانگین مصرف گاز پیش از نصب رسوب‌زدا

تحلیل هزینه- فایده

برای محاسبهٔ ارزش فعلی سرمایه‌گذاری نیاز به دو پیش‌محاسبه داریم. در ابتدا منفعت ماهانهٔ حاصل از نصب دستگاه رسوب‌زدا را بیان کرده و بعد نرخ بهره را با توجه به شاخص‌های اقتصادی کشور در سال‌های مورد نظر (۱۳۹۶ الی ۱۴۱۵) انتخاب می‌کنیم. در این پژوهش جهت محاسبه NPV دورهٔ ۲۰ سال، مصرف گاز سال ۱۳۹۶ تا پایان دورهٔ پیش‌فرض تکرار شده است.

مبلغ ۵۱۱،۰۰۰،۰۰۰ ریال هزینهٔ صرف شده جهت خرید و نصب دستگاه به‌عنوان سرمایه‌گذاری اولیه می باشد، و درآمد حاصل از هر سال که از تفاوت حاصل‌ضرب کاهش مصرف گاز ماهیانه (مصرف هر ماه منهای مصرف گاز پایه) در قیمت پایهٔ هر مترمکعب گاز به عنوان درآمد (یا به‌طور مبسوط سود) ماهیانه در نظر گرفته خواهد شد. و نرخ بهره‌های ۲۰ درصد و ۲۲ درصد در نظر گرفته خواهد شد که نتایج به شرح زیر هستند.

منفعت حاصل از نصب دستگاه در شش ماه سال ۱۳۹۵ (مهر الی اسفند)=۳۷،۸۴۳،۲۰۰ – ریال

منفعت حاصل از نصب دستگاه در سال ۱۳۹۶ و پس از آن= ۱۰۰،۲۷۴،۴۰۰ ریال در هرسال (با توجه به ثابت بودن نرخ گاز)

مدت‌زمان دریافت منفعت = ۲۰ سال

نرخ بهره ۲۰٪= ۳۷،۱۰۹،۸۲۳ ریال

نرخ بهره ۲۲٪= ۳،۱۹۷،۵۸۲ – ریال

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

بنابراین **NPV** بالاتر در نرخ تنزیل پایین‌تر صورت می‌گیرد.

برای محاسبهٔ نرخ بازگشت داخلی نیز از داده‌های مربوط استفاده شده است. بنابراین NPV زمانی مثبت است که نرخ بازده داخلی بین۲۰ تا ۲۲ درصد است. در این پژوهش طبق محاسبات ۲۱.۴ ٪ =IRR است.

با توجه به اینکه این تکنولوژی غیر قابل کپی کردن است، و نرخ ارز بر قیمت این تکنولوژی در ایران تأثیرگذار است، لذا در حال حاضر(اواخر سال ۱۳۹۸) با افزایش نرخ ارزبه مبلغ ۱۴۰،۰۰۰ ریال چنانچه برای خرید این تکنولوژی جهت همین ساختمان اقدام شود، مبلغ سرمایه‌گذاری اولیه به ۱،۵۸۶،۰۰۰،۰۰۰ ریال افزایش خواهد یافت ،که با در نظر گرفتن این عدد به‌عنوان سرمایه‌گذاری اولیه NPV با نرخ تنزیل ۲درصد مثبت می‌شود و IRR برابر ۰.۰۲۳ خواهد بود.لذا نصب تجهیزات فاقد توجیه اقتصادی می باشد.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

امواج رادیویی (متغییر مستقل) بر میزان مصرف انرژی (متغییر وابسته) تأثیر دارد. همان‌طور که مطرح شد، رسوب عامل تأثیرگذاری بر مصرف انرژی بخش تأسیسات و موتورخانه است و حذف این متغیر و مهم‌تر از آن جلوگیری از رسوب‌گذاری مجدد با کمک تکنولوژی هیدروپت می‌تواند تأثیر چشمگیری در مصرف انرژی این بخش و متعاقباً کل کشور داشته باشد. . امواج رادیویی قابلیت باکتری کشی، نیز دارد بنابراین می تواند در مطالعات بعدی نسبت به تاثیر آن بر روی باکتری ها، حذف کلر، تصفیه آبهای پسماند، بهبود فیلتراسیون از طریق لخته سازی و ... اقدام کرد.

در ساختمان‌های مسکونی، هزینه کردن برای تجهیزات تاسیساتی و زیرسازی در بین مردم اهمیت چندانی ندارد و یا بهتر است گفته شود به سیستم آتش‌نشانی عمل می‌کنند یعنی تا زمانی که حادثه‌ای رخ ندهد فکری برای حل مشکل نمی‌شود، به عنوان مثال ساکنین یک ساختمان ترجیح می‌دهند نمای ساختمان و لابی بسیار لوکسی داشته باشند تا اینکه موتورخانه ساختمان را هوشمند نمایند. به نوعی مردم بیشتر تاکید به عدم هزینه کردن برای پاسخ‌گیری در بلند مدت دارند. چند راهبرد یا توصیه برای ارتقا روش‌های جلوگیری از هدر رفت انرژی در بخش خانگی توسط نگارنده در این بخش ارائه می شود:

- برنامه‌ریزی از سوی سازمان‌های نظارت بر ساخت ساختمان‌ها و کنترل مصارف انرژی با تمرکز بر ادوات انرژی بر، مانند ادوات سرمایشی‌گرمایشی و تهویه‌مطبوع و تدوین قوانین و یا اعمال مشوق‌هایی برای استفاده از تکنولوژی امواج رادیویی.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

- برنامه‌ریزی از سوی دولت جهت کنترل رسوب بخش‌خانگی و ارائه خدمات یکپارچه به کلیه ساختمان جهت حذف رسوب به روشی سبز و به دور از آلودگی، می تواند مصرف انرژی را به میزان چشم‌گیری کاهش دهد. فرهنگ سازی و تغییر الگوهای مصرف جامعه در جهت رسیدن به این مهم بسیار تاثیرگذار است.
- صندوق حمایت از پژوهشگران و نوآوران کشور می‌تواند با حمایت جهت تولید و یا گرفتن حق امتیاز تولید این تکنولوژی و در طرحی مشترک با سازمان های زیربط در جهت رسیدن به هدفی مشترک (کاهش مصرف انرژی بخش خانگی)با هم همکاری نمایند. ضرورت دارد که معرفی و اجرا این طرح با دقت بالایی انجام شود و منافع شخص یا گروه خاصی در نظر گرفته نشود.

منابع

[۱] آرمن،سید عزیز و زارع، روح الله، (۱۳۸۸) ، "مصرف انرژی در بخش های مختلف و ارتباط آن با رشد اقتصادی در ایران"، نشریه *مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۲۱ صفحه ۶۷ تا ۹۲.

[۲] بطحایی، تورج و طاهری ، سیدمهدی و ایزی، حسین ، (۱۳۹۰)،" نقش موثر رسوب زدایی منابع ابگرم بهداشتی در بهینه سازی مصرف انرژی و قابلیت ممتاز سامانه کنترل هوشمند"، هشتمین همایش ملی انرژی.

[۳] بطحایی، تورج و محمودی، امیرحسین (۱۳۸۴). "سیستم های کنترل هوشمند تاسیسات حرارتی ساختمان"، نشریه *انرژی ایران، شماره ۳ صفحه ۳۲ تا ۵۰.*

[۴] پیش قدم، کامبیز (۱۳۸۱)، "طراحی سیستم های مدرن سرمایش کفی و سرمایش سقفی و گرمایش کفی جهت بهینه سازی مصرف سوخت"، دومین *همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان* .

[۵] جفعری نصر، محمد رضا و نبوی، سید مهدی (۱۳۸۴)،" بررسی تاثیر رسوب گرفتگی بر میزان هزینه سرمایه گذاری و صرفه جویی در مصرف انرژی در اصلاح شبکه مبدلهای حرارتی"، دهمین‌کنگره *ملی مهندسی شیمی ایران* .

[۶] صادقی شاهدانی، مهدی و خوشخوی، مهدی، (۱۳۹۶)،"تحلیل مقایسه ای نقش مؤلفه های اقتصادی و فنی در بهبود کارایی مصرف انرژی بخش خانگی ایران"، فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی، شماره ۲۷ صفحه ۱۲۳ تا ۱۷۵.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

[۷] محمودی،امیرحسین و بطحایی، تورج، (۱۳۸۶) ، "بررسی صرفه جویی مصرف سوخت در بخش ساختمان و صرفه اقتصادی حاصل از آن در بعد کلان توسط کنترل هوشمند " همایش ملی انرژی .
[۸] خواجه مبارکه، علی و ذوالفقاری، امین،(۱۳۸۸)، ممیزی انرژی جامع ساختمان اداره مرکزی شرکت برق منطقه ای خوزستان،کنفرانس سراسری اصلاح الگوی مصرف انرژی الکتریکی.
[۹] وکیل الرعایا، وحید (۱۳۹۳)، "بهینه سازی مصرف انرژی در سیستم های تهویه مطبوع واقعیت یا تجارت "، سومین *ماهنامه سرمایش و گرمایش و تهویه مطبوع* .
[۱۰] مرکز مطالعات انرژی ایران،مجموعه کتب ترازنامه انرژی

[11] AnnaKrawczyk, Dorota.(2016). Analysis of Energy Consumption for Heating in a Residential House in Poland
[12] Fraiese, A., et al. (2020). Ultrasonic processes for the advanced remediation of contaminated sediments. Ultrasonics Sonochemistry.
[13] Geng, Y., et al. (2017). A bibliometric review: Energy consumption and greenhouse gas emissions in the residential sector. Journal of Cleaner Production, 301-316.
[14] Gurevich, A. V. (1985). Long Distance Propagation of HF Radio Waves.
[15] Hou, T., et al. (2018). Experimental study of fouling process and antifouling effect in convective heat transfer under ultrasonic treatment. Applied Thermal Engineering, 671-678.
[16] Nilsson, A., et al. (2018). Smart homes, home energy management systems and real-time feedback: Lessons for influencing household energy consumption from a Swedish field study. Energy and Buildings, 15-25.
[17] Oram, B. (2014). hard water hardness calcim magnesiu water corrosion mineral scale . water resarch center.
[18] Rhoads, W., et al. (2020). Residential water heater cleaning and occurrence of Legionella in Flint, MI. Water Research.
[19] Sohaili, J., et al. (2016). Removal of scale deposition on pipe walls by using magnetic field treatment and the effects of magnetic strength. Journal of Cleaner Production, 1393-1399.
[20] Siyue, G., et al. (2021). Modelling building energy consumption in China under different future scenarios. Energy.
[21] Teng, K., et al. (2017). Calcium carbonate fouling on double-pipe heat exchanger with different heat exchanging surfaces. Powder Technology, 216-226.
[22] http://www.civil-eng.ir/. (1392). مقاله انواع سازه های ساختمان.
[23] https://www.britishgas.co.uk/home-services/boilers-and-heating/home-improvements.html#water-efficiency. (n.d.).
[24] Tasisat.com. (1396). تاسیسات ساختمان چیست .*مرجع تخصصی تاسیسات ایران*.
[25] www.buldings.com. (2015).
[26] www.havacmagazine.ir. (n.d.).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

[27] www.nbri.ir. (1377). *مرکز تحقیقات راه و شهر سازی*.
[28] www.tasisat.ir. (n.d.). *سایت تخصصی تاسیسات*.
[29] www.tehranmet.ir. (n.d.)
[30] www.RGSpath.com.(۱۳۸۹). مطالعات موردی. رسوب و خوردگی
[31] www.hydropath.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]