

## امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از دیگ چگالشی در فضاهای اداری

سید ایمان پیش‌بین<sup>۱</sup>، علی امیری<sup>۲</sup>، نازنین قلاسی مود<sup>۳</sup>، مهران شفیع<sup>۴</sup>

استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه خیام مشهد، [i.pishbin@khayam.ac.ir](mailto:i.pishbin@khayam.ac.ir)

دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه خیام مشهد، [ali.amiri.1713@gmail.com](mailto:ali.amiri.1713@gmail.com)

دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی مشهد؛ مسئول کنترل کیفیت، شرکت شفیع سازه شرق، [nazi.ghollasimood@gmail.com](mailto:nazi.ghollasimood@gmail.com)

مدیریت کارخانه، شرکت شفیع سازه شرق، [3s.pars@gmail.com](mailto:3s.pars@gmail.com)

### چکیده

امروزه به‌طور گسترده‌ای در جهان دیگ‌های چگالشی به‌عنوان یکی از تجهیزات مهم و مؤثر در جهت کاهش مصرف انرژی پذیرفته شده‌اند. داشتن قابلیت‌های خاص مانند سیستم ماژولار (خود تنظیم نسبت به حداقل نیاز حرارتی ساختمان)، افزایش تدریجی ظرفیت حرارتی، فشردگی و ابعاد کوچک نسبت به ظرفیت، صدای کم و امکان استفاده از سیستم کنترلر هوشمند، دیگ‌های چگالشی را به یکی از فناوری‌های مفید و کارآمد بخصوص در فضاهای اداری تبدیل کرده‌است. در این مقاله ضمن مرور فناوری و مطالعات پیشین در این حوزه به بررسی و امکان‌سنجی استفاده از دیگ چگالشی و محاسبه میزان صرفه‌جویی سوخت و هزینه جاری ناشی از نصب آن در برخی از ساختمان‌های اداری شهر مشهد پرداخته شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر مزایای اصلی و سایر مزایای جانبی استفاده از این دیگ‌ها، حدود ۳۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف گاز و کاهش قابل توجه انتشار آلاینده‌ها حاصل شده‌است.

واژه‌های کلیدی: دیگ چگالشی - راندمان - فضاهای اداری - مصرف انرژی - بازگشت سرمایه

### ۱- مقدمه

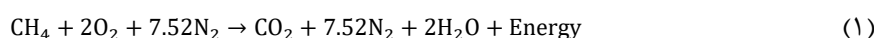
رشد سالانه ۱۱ تا ۱۲ درصدی تقاضای گاز در سطح کشور باعث افزایش روز افزون تولید آلاینده‌های زیست محیطی شده‌است. همچنین مصرف روزانه پانصد و چهل میلیون مترمکعب گاز طبیعی در فصول سرد سال صرفاً در بخش خانگی و تجاری و نیز کمبود ذخایر گازی و حداکثر تولید روزانه پانصد و هفتاد میلیون مترمکعب گاز طبیعی در کل پالایشگاه‌های کشور باعث شده‌است تا ضرورت جلوگیری از هدر رفت و بهینه‌سازی مصرف انرژی بیش از گذشته احساس شود. در این میان اختصاص یافتن ۸۸,۸۲۶,۵۹۳ مترمکعب مصرف گاز طبیعی به بخش اداری استان خراسان رضوی در سال ۱۳۹۴ که حدود ۱۱ درصد از سهم مصرف گاز استان می‌باشد، اهمیت این موضوع را در بخش اداری چند برابر می‌کند.

در این خصوص راهکارهایی نظیر نوسازی تجهیزات ساختمان‌ها و به کارگیری فناوری‌های نوین در کشور اهمیت می‌یابد. یکی از فناوری‌های نوین در زمینه بهینه‌سازی و ارتقاء راندمان تجهیزات گازسوز، دیگ چگالشی می‌باشد. این تجهیزات به دلیل

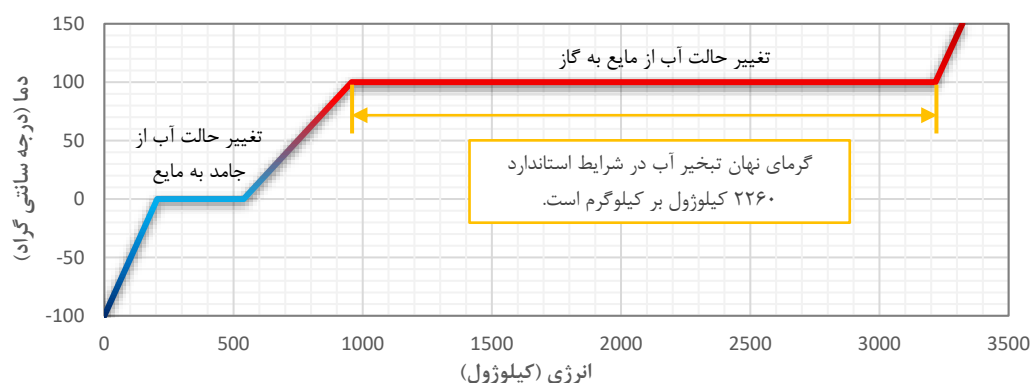
ویژگی‌های خاص علاوه بر راندمان بالا برای ساختمان‌های اداری مناسب بوده و موجب کاهش چشمگیر مصرف انرژی می‌گردد. کاربردهای این فناوری در چند نمونه از ساختمان‌های اداری کشورهای دیگر از جمله آمریکا مورد بررسی قرار گرفته‌است که نتایج حاکی از کاهش چشمگیر مصرف سوخت با نصب دیگ چگالشی است. در این پژوهش به صورت تجربی نتایج واقعی نصب و بکارگیری این فناوری در چند محیط اداری کشور ایران در شهر مشهد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- مفهوم چگالش در احتراق

سوخت رایج مورد استفاده در انواع دیگ‌ها گاز طبیعی می‌باشد که با ترکیب غالب ۹۸ درصدی متان همراه است و با اکسیژن ترکیب می‌شود و عمل احتراق صورت می‌گیرد. احتراق کامل احتراقی است که در آن کربن و هیدروژن موجود در سوخت کاملاً به  $H_2O$  و  $CO_2$  تبدیل شده و در نتیجه حداکثر حرارت ممکن تولید شود. برای ایجاد احتراق کامل نیاز به ترکیب مناسب سوخت و هوا می‌باشد. معادله شماره (۱) واکنش سوختن متان را نشان می‌دهد [۱].



همان‌طور که مشاهده می‌شود در محصولات احتراق آب وجود دارد، که بخشی از حرارت محصولات احتراق را جذب کرده و بخار می‌شود. به عبارتی بخشی از حرارت که می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد، جذب می‌شود. شکل شماره (۱) نشان دهنده ارزش این حرارت از دست رفته است که با توجه به گرمای نهان تبخیر آب در شرایط استاندارد این مقدار بسیار قابل توجه است.



شکل ۱- نمودار تغییرات دما بر حسب انرژی دریافتی یا آزاد شده برای یک کیلوگرم آب در شرایط استاندارد [۱]

حال اگر به طریقی بتوان این بخار تولید شده را به آب مایع تبدیل کرد، مجدد می‌توان از حرارتی که قرار بود تلف شود استفاده کرد. برای این کار باید فرآیند چگالش انجام شود. چگالش آب زمانی شروع می‌شود که بخار آب اشباع موجود در محصولات احتراق سرد شود و به نقطه شبنم<sup>۱</sup> برسد [۲]. برای درک بهتر میزان حرارت بازیافتی باید مفهوم ارزش حرارتی بالا و پایین سوخت مورد بحث قرار گیرد.

یکی از مزایای دیگ‌های چگالشی راندمان بالا در آن‌هاست که حداکثر میزان آن ۱۰۸/۵ درصد می‌باشد [۳]. راندمان، مقدار انرژی مفید به انرژی ورودی می‌باشد. سوخت براساس محتوای انرژی، به دو حد پایین LHV<sup>۲</sup> و بالا HHV<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود. LHV عبارت است از مقدار گرمای آزاد شده در یک احتراق کامل زمانی که واکنش دهنده‌ها و محصولات احتراق در دمای یکسانی باشند و آب موجود در محصولات احتراق به صورت بخار باشد و HHV همان مقدار گرماساز در صورتی که آب موجود در محصولات احتراق به صورت مایع باشد. در دیگ‌های چگالشی با بهبود فرآیند احتراق، بازیابی حرارت نهان بخار آب موجود در محصولات احتراق که همان اختلاف بین ارزش حرارتی بالا و پایین سوخت است (که برای متان براساس معادله شماره (۲) برابر

1. Dew Point  
2. Low Heating Value  
3. High Heating Value

۱۱٪ می باشد)، افزایش سطح تبادل حرارتی و انجام اصلاحات ساختاری در دیگ و مشعل، راندمان حداکثری از یک مصرف سوخت ثابت را ممکن ساخته اند [۵۴].

$$\text{HHV/LHV} = 35.16/31.65 = 11\% \quad (2)$$

اصلی ترین فناوری که کمک می کند تا دیگ های چگالشی قابلیت های ویژه و متمایزی را ارائه نمایند، بهره گیری از مشعل - تخت<sup>۴</sup> در این دیگ هاست. این مشعل ها که نمونه ای از آن در شکل شماره (۲) مشاهده می شود، احتراق پیش آمیخته<sup>۵</sup> دارند و با استفاده از یک صفحه مشبک فلزی، سطحی گسترده برای احتراق را فراهم می آورند. از این طریق تبعات منفی اکثر احتراق های پیش آمیخته از قبیل برگشت شعله<sup>۶</sup> و یا وزش شعله<sup>۷</sup> از بین می رود، دامنه کاری مشعل زیاد و طول شعله کوتاه می شود، همچنین درخشندگی شعله افزایش می یابد. لذا انتقال حرارت از شعله مشعل به مبدل حرارتی عمدتاً شکل تابشی به خود می گیرد [۶].



شکل ۲- مشعل تخت به کار گرفته شده در دیگ های چگالشی

همچنین ارتفاع کم شعله نقاط داغ آن را کاهش داده و لذا تولید اکسید ازت NOx کم می شود. از طرفی مدیریت هوای اضافی در حالت پیش آمیخته منجر به انجام یک احتراق کامل و کاهش آلاینده CO می گردد. بنابر این یکی دیگر از مزایای دیگ های چگالشی کاهش غلظت آلاینده های NOx و CO در آن هاست [۷].

در کنار تمامی مزایای خوب دیگ های چگالشی، به دلیل استفاده از مشعل تخت و تجهیزات مورد نیاز آن و همچنین استفاده از آلیاژهای خاصی در مبدل های این دیگ ها به دلیل وجود آب چگالیده در محصولات احتراق که محیط دیگ را اسیدی و خورنده می کند، این فناوری دارای هزینه و قیمت تمام شده بالایی می باشد. لذا نیاز است بررسی شود که آیا افزایش هزینه اولیه با مزیت های فنی و صرفه جویی اقتصادی این دستگاه قابل جبران هست یا خیر.

### ۳- مزایای فناوری در فضاهای اداری

دیگ های چگالشی دارای قابلیت های خاصی هستند که آن ها را برای استفاده در فضاهای اداری بسیار کارآمد می سازد. در ادامه به بررسی هر یک از این مزیت ها پرداخته می شود.

#### ۳-۱- سیستم ماژولار و افزایش تدریجی ظرفیت حرارتی

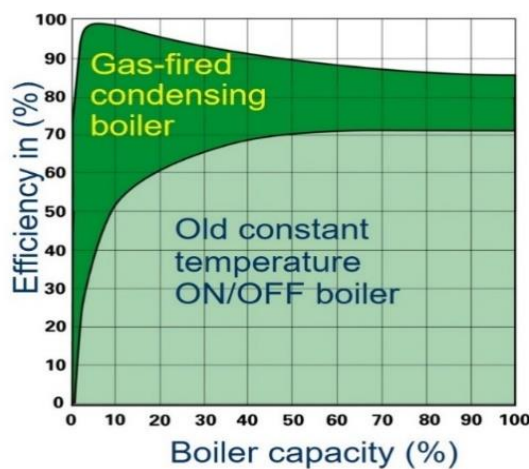
یکی از مزایای مهم دیگ های چگالشی سیستم ماژولار (خود تنظیم نسبت به حداقل نیاز حرارتی) مشعل آن ها می باشد. این فناوری قابلیت تولید توان حرارتی از ۱۲ تا ۹۰۰ کیلووات را به صورت پلکانی داراست. هنگام استفاده از دیگ های چدنی و

4. Flat Flame
5. Premixed
6. Flashback
7. Blow-off

فولادی، زمانی که به توان حرارتی اندکی نیاز داریم، عموماً سیستم‌ها از کنترلر on/off استفاده می‌کنند. ولی در دیگ‌های چگالشی، سیستم ماژولار این امکان را فراهم می‌آورد که میزان مصرف سوخت، مطابق با نیاز گرمایشی ساختمان تنظیم شود. در مراکز اداری سیستم ماژولار صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی و هزینه به ارمغان می‌آورد. زیرا عموماً این امکان در ساعات روز فعال هستند و بار گرمایشی مورد نیاز در این ساعات نسبت به ظرفیت طراحی شده دیگ که معمولاً برای ساعات پیک شب انتخاب شده به نسبت پایین‌تر است. لذا کارکرد مناسب دیگ در ظرفیت زیر ۵۰ درصد یک مزیت مهم به حساب می‌آید. جدای از کارایی دیگ‌ها در این ظرفیت مطابق شکل شماره (۳) و (۴) هنگامی که یک دیگ چگالشی در ظرفیت پایین کار می‌کند، راندمان آن بر خلاف دیگ‌های فولادی و چدنی نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش می‌یابد. این موضوع به این دلیل رخ می‌دهد که در هنگام کاهش ظرفیت حرارتی، دمای آب برگشت دیگ کاهش یافته و لذا احتمال بروز چگالش افزایش می‌یابد و در نتیجه راندمان دیگ هم افزایش می‌یابد.



شکل ۳- راندمان دیگ‌های چگالشی در ظرفیت‌های متفاوت [۳]



شکل ۴- مقایسه راندمان دیگ‌های چگالشی و معمولی در ظرفیت‌های متفاوت [۸]

### ۳-۲- محدوده عملکردی بالا

همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد، دیگ‌های چگالشی به طور میانگین قابلیت تولید توان حرارتی از ۱۲ تا ۹۰۰ کیلووات را دارند، یعنی دارای بازگشت (کاهش) ظرفیت تا نسبت ۱/۳٪ ظرفیت کلی هستند [۳].

### ۳-۳- فشردگی و ابعاد کوچک نسبت به ظرفیت

دیگ چگالشی با هدف افزایش سطح تبادل حرارتی، به صورت فشرده طراحی شده‌است و در گروه دیگ‌های Low water content قرار می‌گیرد و این موضوع باعث کاهش بسیار فضای اشغال شده توسط این دستگاه می‌شود. لذا در محیط‌های اداری به راحتی می‌توان از فضای کمی جهت موتورخانه استفاده کرد که این ویژگی منجر به صرفه‌جویی در هزینه و افزایش فضای مفید اداری می‌شود.

### ۳-۴- کم صدا

به دلیل عایق کاری خاص، استفاده از مشعل تخت با شعله کوتاه و نوع عملکرد این سیستم‌ها، صدای تولیدی بسیار پایین بوده و لذا به راحتی می‌توان در اتاق‌های مجاور محل نصب این دیگ‌ها فضای مناسب اداری در ادارات ایجاد نمود. این در حالی است که در دیگ‌های چدنی و فولادی به دلیل شدت صدا تولیدی بالا، عملاً زیر زمین ادارات به موتورخانه تبدیل می‌گردد و استفاده و کارایی خود را از دست می‌دهد.

### ۳-۵- سیستم کنترلر هوشمند

در اکثر مراکز اداری به دلیل محدود بودن شیفت‌های کاری در بیشتر زمان‌ها، سیستم‌های گرمایشی یا در ظرفیت کامل فعالیت ندارند یا خارج از سرویس هستند. سیستم کنترلر هوشمند دیگ‌های چگالشی با دریافت داده‌های مختلف نسبت به تنظیم ظرفیت اقدام می‌نماید که موجب صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف سوخت می‌گردد. همچنین این سیستم هوشمند قابلیت برنامه‌ریزی بر اساس ایام هفته را نیز داشته و نیاز به نظارت کاربر را به حداقل می‌رساند.

### ۴- مروری بر مطالعات گذشته

در پژوهشی که در ساختمان اداری فدرال آمریکا بین دیگ معمولی رایج در آن کشور با دیگ چگالشی در طول یک سال صورت گرفت، نتایج مقایسه اقتصادی حاکی از اختلاف هزینه نصب اولیه دیگ‌های چگالشی در مقایسه با دیگ‌های معمولی رایج در آن کشور در حدود ۲۴,۵۸۴ دلار بوده است. اما میزان مصرف سالانه انرژی پس از نصب این فناوری ۱/۲۱۷۴ میلیارد BTU کاهش یافته و حدود ۸۸,۱۶۰ دلار صرفه‌جویی اقتصادی در مصرف سوخت حاصل شده است. نهایتاً نصب دیگ چگالشی پس از یک سال باعث ۳۸,۰۲۸ دلار صرفه‌جویی اقتصادی نسبت به دیگ معمولی شد [۹].

در تحقیقی دیگر پتانسیل سنجی استفاده از دیگ‌های چگالشی در کشور آمریکا انجام شد که نتایج آن در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- صرفه‌جویی سالانه در اثر استفاده از دیگ‌های چگالشی در کشور آمریکا [۹]

نوع بنا	تعداد بناهای که به دیگ احتیاج دارند	صرفه‌جویی انرژی Trillion Btu/ Year
مدارس	۱۹۶۵	۰/۲۷۱
آپارتمان‌های ۵ تا ۳۰ واحدی	۴۰۰۰	۰/۲۳۴
دفاتر خصوصی	۵۰۰	۰/۰۳۴
ادارات دولتی	۳۰۰۰	۲/۵۳۸

همان‌طور که ملاحظه می‌شود بیشترین پتانسیل صرفه‌جویی در اثر استفاده از این سیستم‌ها در ساختمان‌های با کاربری اداری می‌باشد. این در حالی است که در برخی از کشورهای اروپایی نظیر هلند، ایرلند و انگلستان نصب دیگ‌های چگالشی اجباری و استفاده از دیگ‌های معمولی ممنوع شده است [۱۰].

### ۵- مطالعات تجربی

در این بخش نتایج مطالعات تجربی نصب این دستگاه در ۲ ساختمان اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان خراسان رضوی و بانک ملت شعبه مدرس در شهر مشهد ارائه می‌گردد.

داده‌های مورد مطالعه در این پژوهش از میزان گاز مصرفی ساختمان‌ها از سایت شرکت ملی گاز ایران گردآوری شده‌است [۱۱]. پارامترهای متعدد از قبیل وضعیت آب و هوا، شیفت کاری، کالیبره نبودن کنتور و ... بر این داده‌ها مؤثر هستند. بطور مشخص دمای شبانه روز یکی از عوامل اثرگذار و اصلی بر مصرف انرژی است. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از شاخص

روز درجه گرمایش HDD<sup>۱</sup> مصارف سالانه گاز نرمال سازی شده است تا تاثیر پارامتر مذکور بر نتایج تحقیقات تصحیح شود. لذا در ابتدا به توضیح فرآیند نرمال سازی با استفاده از شاخص روز درجه گرمایش پرداخته می شود.

### ۵-۱- نرمال سازی داده ها

نرمال سازی عبارت است از تغییر داده های موجود با استفاده از پارامترهای موثر بر داده ها بر اساس اصولی خاص. به دلیل اینکه داده های تجربی از نتایج واقعی تجهیزات نصب شده استخراج شده اند، لذا نیاز است نرمال سازی داده ها انجام شود. جهت نرمال سازی داده های مصرف از رابطه (۳) استفاده می کنیم [۱۲]:

$$Q_{Norm} = \frac{\sum Q_i \times HDD_i}{\sum HDD_i} \quad (3)$$

که در رابطه بالا  $Q_{Norm}$  مقدار سوخت مصرفی سالانه نرمال شده حاصل از تاثیر دما،  $Q_i$  مقدار سوخت مصرفی غیر نرمال (واقعی) ماه  $i$  و  $HDD_i$  مقدار روز درجه گرمایش ماه  $i$  می باشد. مقدار روز درجه گرمایش هم از رابطه (۴) محاسبه می شود [۱۲]:

$$HDD_i = \begin{cases} 0 & T_{ave.i} \geq T_0 \\ (T_0 - T_{ave.i}) \times Day_i & T_{ave.i} < T_0 \end{cases} \quad (4)$$

که در رابطه فوق نیز  $HDD_i$  روز درجه گرمایش ماه  $i$ ،  $T_0$  دمای مبانی محاسبه روز درجه گرمایش برحسب  $^{\circ}C$  (که معمولا  $18^{\circ}C$  در نظر گرفته می شود)،  $T_{ave.i}$  دمای میانگین ماهانه برحسب  $^{\circ}C$  و  $Day_i$  تعداد روز ماه  $i$  می باشد. در محاسبات انجام شده، دمای میانگین ماهانه شهر مشهد از پژوهشکده اقلیم شناسی و اداره هواشناسی خراسان رضوی استعلام گرفته شده است [۱۳]. نمونه ای از این داده های دمایی به همراه روز درجه گرمایش که در نرمال سازی داده های سوخت مصرفی از آن استفاده شده در جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول ۲- نمونه اطلاعات دما و روز درجه گرمایش شهر مشهد در سال های ۸۶، ۹۰ و ۹۴

ماه های سال	میانگین درجه حرارت خشک ( $^{\circ}C$ )			روز درجه گرمایش با مبانی دمایی $18^{\circ}C$		
	سال ۱۳۸۶	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۴	سال ۱۳۸۶	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۴
فروردین	۱۴	۱۵	۱۴	۱۲۹	۱۰۴	۱۱۰
اردیبهشت	۲۰	۲۲	۲۲	۰	۰	۰
خرداد	۲۶	۲۷	۲۷	۰	۰	۰
تیر	۲۸	۲۹	۳۰	۰	۰	۰
مرداد	۲۷	۳۰	۲۸	۰	۰	۰
شهریور	۲۴	۲۳	۲۲	۰	۰	۰
مهر	۱۵	۱۹	۱۸	۹۲	۰	۰
آبان	۱۳	۸	۱۱	۱۶۲	۳۰۹	۲۱۷
آذر	۶	۲	۶	۳۷۲	۴۸۱	۳۷۵
دی	-۶	۲	۷	۷۰۹	۴۹۰	۳۲۶
بهمن	-۴	۱	۵	۶۴۸	۵۰۶	۳۹۳
اسفند	۱۰	۵	۱۱	۲۳۱	۳۶۷	۱۹۳

### ۵-۲- ساختمان های مورد مطالعه

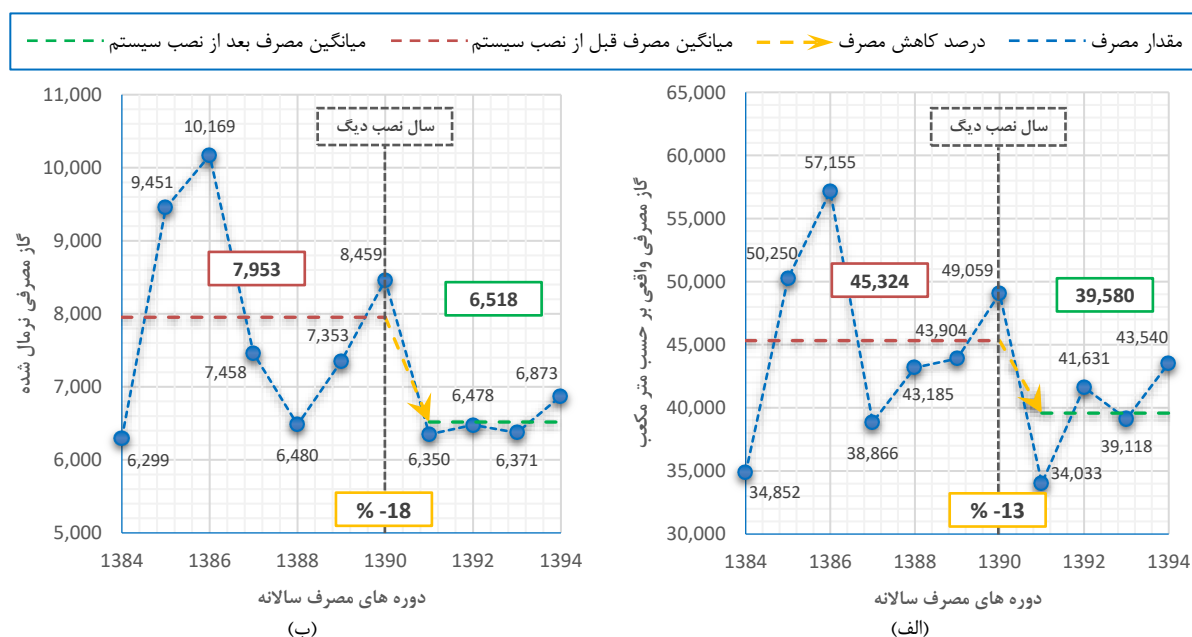
پس از بررسی روش و فرمول های نرمال سازی داده ها و ذکر نمونه ای از نتایج محاسبات روز درجه گرمایش در بخش قبل، در این قسمت به بررسی مصارف گاز ثبت شده در چند سال قبل و بعد از زمان نصب سیستم چگالشی، درصد کاهش مصرف گاز و صرفه جویی انرژی و ریالی حاصل از بکارگیری تجهیز فوق در ساختمان های مذکور پرداخته می شود.

### ۵-۲-۱- اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان خراسان رضوی



شکل ۵- اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان خراسان رضوی

در ساختمان اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان خراسان رضوی دو دیگ چگالشی به ظرفیت های ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلووات در سال ۱۳۹۰ نصب شده است. زیربنای این ساختمان حدود ۲,۸۰۰ مترمربع است.



شکل ۶- نمودار مصرف گاز اداره کل نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس استان خراسان رضوی در دو حالت مصرف الف) واقعی و ب) نرمال شده

همان طور که در نمودارهای شکل شماره (۶) مشاهده می شود، میانگین مصرف گاز طبیعی در ۶ سال قبل از نصب دیگ چگالشی از سال ۸۴ تا ۹۰ مقدار ۴۵,۳۲۴ مترمکعب و در ۴ سال بعد از نصب آن از سال ۹۰ تا ۹۴ مقدار ۳۹,۵۸۰ مترمکعب بوده است. با مقایسه دو مقدار مصرف گاز قبل و بعد از زمان نصب تجهیز فوق می توان دریافت میزان مصرف سوخت به طور میانگین معادل ۱۵ درصد کاهش یافته است. طبق استعلام گرفته شده از شرکت گاز استان خراسان رضوی، ارزش حرارتی گاز طبیعی تقریباً معادل ۳۳/۸ مگاژول بر متر مکعب و باتوجه به تعرفه گاز طبیعی مصوب هیئت وزیران برای فضاهای اداری در

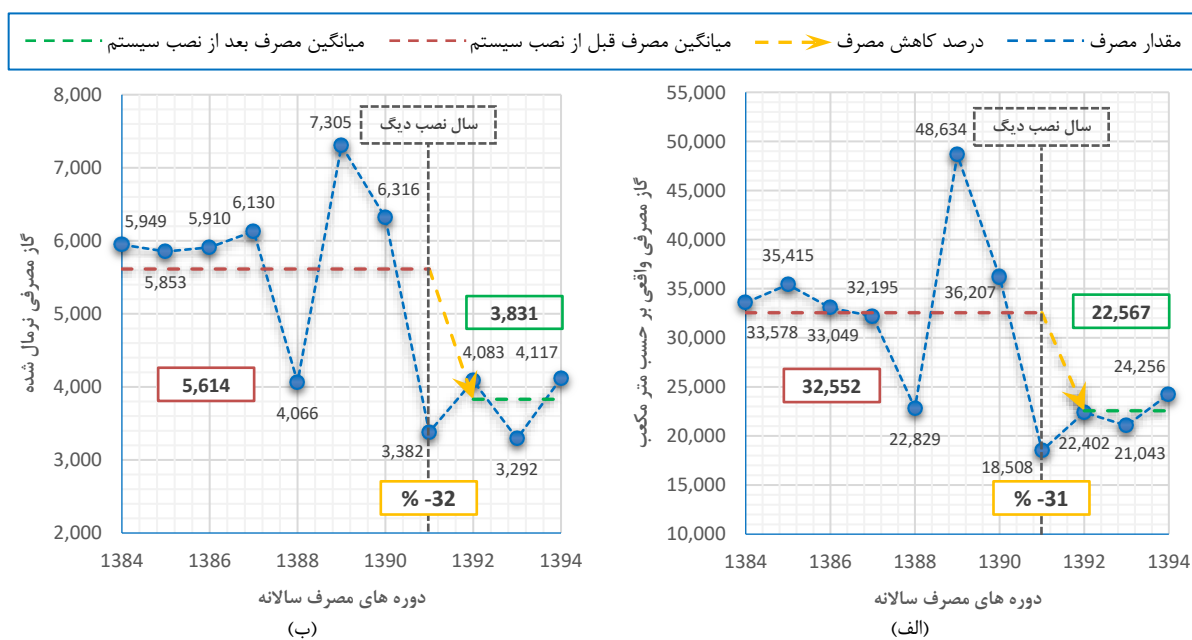
سال ۱۳۹۴ که ۱,۵۰۰ ریال بر مترمکعب می باشد، معادل ۱۹۴,۱۴۷ مگاژول صرفه جویی انرژی و ۸,۶۱۶,۰۰۰ ریال صرفه جویی ریالی سالانه حاصل شده است.

### ۵-۲-۲- بانک ملت شعبه مدرس مشهد



شکل ۷- مکان نصب دیگ در بانک ملت شعبه مدرس مشهد

در ساختمان بانک ملت شعبه مدرس شهر مشهد یک دیگ چگالشی به ظرفیت ۲۰۰ کیلووات در سال ۱۳۹۱ نصب شده است. زیربنای این ساختمان حدود ۲,۰۰۰ مترمربع است.



شکل ۸- نمودار مصرف گاز بانک ملت شعبه مدرس مشهد در دو حالت مصرف الف) واقعی و ب) نرمال شده

مطابق نمودارهای شکل شماره (۸)، مصرف سوخت در اثر نصب دیگ چگالشی به طور میانگین ۳۰ درصد کاهش یافته است. در نتیجه معادل ۳۳۷,۴۹۳ مگاژول صرفه جویی انرژی و ۱۴,۹۷۷,۵۰۰ ریال صرفه جویی ریالی سالانه حاصل شده است.

### ۶- بررسی توجیه اقتصادی به کارگیری فناوری دیگ چگالشی

به طور کلی هزینه‌های مربوط به ساخت و تجهیز یک ساختمان از دیدگاه اقتصادی شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری (ساخت و خرید تجهیزات) و هزینه‌های جاری (مصارف انرژی و تعمیرات و نگهداری) می باشد. قیمت دیگ‌های چگالشی بیشتر از فناوری‌های مرسوم است. ولی از طرفی ابعاد آن کوچکتر بوده و فضای کمتری اشغال می نماید. همچنین دیگ‌های چگالشی

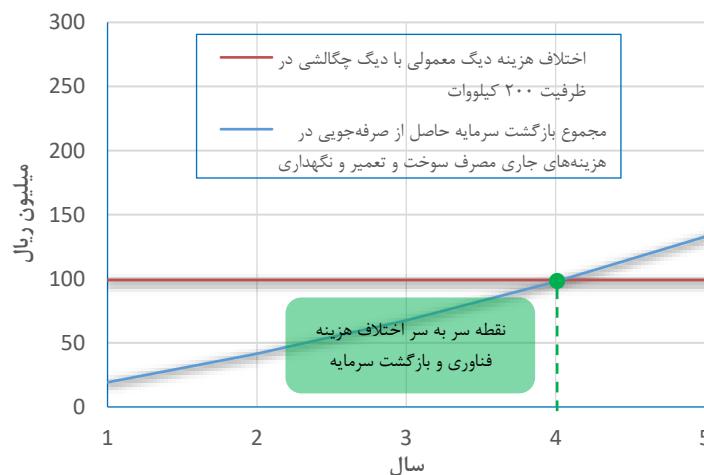


قابلیت تأمین هوای تازه از فضای بیرون را دارند. لذا به راحتی می توان ابعاد موتورخانه را از این طریق کاهش و هزینه سرمایه گذاری مربوط به ساخت و ساز موتورخانه و زمین مربوط به آن را کاهش داد.

#### ۶-۱- دوره بازگشت سرمایه

حال با توجه به نتایج مطالعات تجربی ساختمان های مورد بررسی، دوره بازگشت سرمایه یک دیگ چگالشی را برای یک ساختمان با کاربری اداری در شرایط اقلیمی شهر مشهد با معماری، دیوارها و پنجره های استاندارد بر اساس فرضیات زیر محاسبه می کنیم:

اگر فرض شود نیاز حرارتی برای ساختمان فوق به طور میانگین ۱۰۰ وات بر مترمربع و دارای زیربنای ۲,۰۰۰ مترمربع باشد، لذا به یک دیگ با ظرفیت ۲۰۰ کیلووات نیاز است. همچنین در صورتی که میانگین مصرف سالانه گاز ساختمان مذکور را در حالت عادی ۱۶ مترمکعب بر مترمربع در نظر بگیریم، میانگین مصرف سالانه گاز آن ۳۲,۰۰۰ مترمکعب می شود. بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات تجربی، حداکثر کاهش مصرف سوخت در دیگ های چگالشی ۳۰ درصد می باشد. لذا میانگین مصرف سالانه گاز آن پس از نصب دیگ چگالشی ۲۲,۴۰۰ مترمکعب می شود. در محاسبات صورت گرفته تعرفه گاز طبیعی برابر ۱,۵۰۰ ریال با نرخ افزایش سالانه ۱۵ درصد مبنای محاسبات در نظر گرفته شده است. همچنین هزینه تعمیر و نگهداری برای دیگ های معمولی در اولین سال بعد از نصب ۶,۰۰۰,۰۰۰ ریال با نرخ افزایش سالانه ۲۰ درصد و برای دیگ های چگالشی باتوجه به پایین بودن این هزینه در آن ها به صورت ۲۰ درصد هزینه دیگ های معمولی فرض شده است [۱۴ و ۱۵ و ۱۶].



شکل ۹- نمودار نقطه سر به سر هزینه و بازگشت سرمایه

همان طور که در نمودار شکل شماره (۹) مشخص شده است، نرخ بازگشت سرمایه برای یک ساختمان با شرایط مذکور حدود ۴ سال ارزیابی شده است. این نرخ بازگشت با توجه به عمر بالای این تجهیزات (بالای ۲۰ سال) کاملاً اقتصادی است. فارق از هزینه های جاری محاسبه شده، در خصوص هزینه های سرمایه گذاری مربوط به بخش ساخت بنا لازم به توضیح است در صورت اختصاص یافتن ۳٪ از زیربنای ساختمان هایی با کاربری اداری به فضای موتورخانه برای دیگ های معمولی و حداکثر این نیاز برای دیگ های چگالشی به میزان ۵٪ از زیربنای کل ساختمان، ۲/۵٪ از زیربنای ساختمان ها که قبلاً به موتورخانه اختصاص می یافت، در اثر استفاده از فناوری چگالشی قابلیت بهره برداری در بخش اداری را پیدا می کنند. لذا صرفه جویی زیربنایی حاصل از دیگ چگالشی برای ساختمان مذکور ۵۰ مترمربع می شود. بنابراین با توجه به هزینه ساخت بنا بدون احتساب قیمت زمین در شهر مشهد که به طور میانگین برای هر مترمربع ۶ میلیون ریال برآورد شده است، معادل ۳۰۰ میلیون ریال صرفه جویی ریالی در هزینه سرمایه گذاری در همان ابتدا حاصل می گردد. این رقم بیش از ۳ برابر اختلاف هزینه دیگ چگالشی و معمولی است که اقتصادی بودن به کارگیری فناوری چگالشی را کاملاً توجیح می کند.

همچنین لازم به توضیح است اکثر فضاها با کاربری بالا در ساعاتی گرم روز و صبح تا عصر فعال هستند و لذا مدت مصرف آنها در سال و نیز زمان مصرف آنها، در پیک مصرف قرار ندارد. در نتیجه نسبت به یک ساختمان مسکونی با مساحت زیربنای یکسان، مصرفی بسیار کمتر خواهند داشت. بنابر این بازگشت سرمایه برای این بخشها نسبت به ساختمانهای مسکونی طولانی تر خواهد بود.

## ۷ - نتیجه گیری

نتایج نمودارهای مصرف گاز در شرایط واقعی و دوره بازگشت سرمایه محاسبه شده حاکی از اثربخشی استفاده از دیگ چگالشی در کاهش مصرف انرژی می باشد. از طرفی با توجه به حداقل عمر مفید این دستگاهها (بالای ۱۵ سال)، دوره بازگشت سرمایه برآورد شده، استفاده از این تجهیزات را توجیه پذیر می سازد.

همچنین در استفاده از دیگهای چگالشی علاوه بر کاهش مصرف سوخت، بایستی به سایر مزایای این فناوری از جمله کاهش انتشار آلایندههای منواکسید کربن و هوای داغ به محیط اشاره کرد. از طرفی باید به کاهش ابعاد موتورخانه و کاهش هزینههای سرمایه گذاری در ساخت بنا نیز به عنوان یک مزیت مهم که عملاً در محاسبات صرفه جویی لحاظ نشده است دقت نمود. افزایش تدریجی ظرفیت حرارتی، محدوده عملیاتی گسترده، فشردگی و ابعاد کوچک نسبت به ظرفیت، صدای کم، امکان استفاده از سیستم کنترلر هوشمند و همچنین هزینه تعمیر و نگهداری بسیار کمتر (حدود ۲۰٪) نسبت به فناوریهای رایج نیز مزیت های مهم این دستگاه است. بنابراین در حال حاضر استفاده از دیگ چگالشی در بخشهای اداری علی رغم هزینه سرمایه گذاری اولیه بالاتر برای دستگاه از دیدگاه فنی و اقتصادی توجیه پذیر می باشد.

## مراجع ( منابع و مأخذ )

- [1] Claus, Borgnakke. Richard, E.Sonntag. " Fundamentals of Thermodynamics, 7th Edition". Wiley.
- [2] Theodore, L.Bergman. Adrienne, S.Lavine. Frank, P.Incropera. David, P.DeWitt. " Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition". Wiley.
- [3] Catalog, 2015. Unical condensing boilers Moudulex. On the <http://www.unical.eu>
- [4] Barros, J.P., Azevedo, J.L.T., and Monteiro, L., "Effect of relative humidity in the efficiency of condensing gas water heater appliance", Applied Thermal Engineering, 65:66-73, 2014.
- [۵] دلیری، زهرا. ۳۱ بهمن ماه ۱۳۹۴. جذب گازهای آلاینده حاصل از احتراق (NOx و SO<sub>2</sub>) به درون کندانس و خنثی سازی pH آن در پکیج های چگالشی، ششمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۶] امینی مقدم، فاروج. داود، خسروپور. عرب، مصطفی. علوی، سید محمود ابوالحسن. محرری، محمدمیر. ۵ خرداد ۱۳۹۰. بررسی بویلرهای چگالشی، روشهای محاسبه راندمان و توجیه فنی آنها، مجموعه مقالات سومین کنفرانس بین المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع، تهران، هتل المپیک.
- [۷] اشرفی زاده، سید علی. دریکوند، اسد. جعفری، فرزانه. ۲۰ مرداد ۱۳۹۳. تحلیل ترموآکونومیک استفاده از بویلرهای چگالشی در مدارس استان لرستان، کنفرانس سراسری محیط زیست و انرژی ایران، موسسه بین المللی آموزشی و پژوهشی خوارزمی، ایران، شیراز.
- [8] Jim Cooke, Nov 2005. CONDENSING BOILER TECHNOLOGY, Mechanical Solutions NW, Foil 64, Ashrae Presentation.
- [9] A Market Assessment for Condensing Boilers in Commercial Heating Applications, Consortium for Energy Efficiency, Suite 1400 Boston, 2001, MA 02109 on the [www.cee1.org](http://www.cee1.org)
- [10] <http://www.nef.org.uk/>
- [11] <http://www.nigc.ir>
- [12] Joseph, H.Eto. 1985. "A Comparison of Weather Normalization Techniques for Commercial Building Energy Use". BTECC Conference
- [13] [www.irimo.ir/far/index.php](http://www.irimo.ir/far/index.php)
- [14] <http://www.damatajihiz.com>
- [15] <http://www.damanama.com>