

بررسی صرفه جویی در مصرف آب ناشی از جایگزینی کولرهای گازی با آبی: مطالعه موردی شهر یزد

امید گل شیرینی اصفهانی^{۱*}، علی شاهی پور^۲

۱- کارشناس طراحی مناطق، شرکت آب و فاضلاب استان یزد، Omid.golshiri@gmail.com

۲- سرپرست اداره خدمات مهندسی، شرکت آب و فاضلاب استان یزد، Alishahedi89@yahoo.com

چکیده

با توجه به نقش اساسی کمبود آب در برنامه ریزی های آینده کشور، مدیریت مصرف منابع آب شیرین از جمله مهمترین مباحث پیش رو خواهد بود. کولرهای آبی یکی از جدی ترین مصرف کننده های آب در بخش خانگی در فصل تابستان محسوب می شوند. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی مصرف آب کولرهای آبی و گازی می باشد. به همین منظور با توجه به آمار و اطلاعات شهر یزد ابتدا تعداد کولرهای مورد نیاز گازی یا آبی با ظرفیت های مختلف در بخش مسکونی و تجاری شهر یزد محاسبه و تعیین گردید. در مرحله بعد میزان مصرف آب و برق این تعداد کولر در یک دوره چهار ماهه از فصل گرم سال تعیین گردید. و در نهایت مصرف آب ناشی از تولید برق مورد نیاز کولرهای آب محاسبه شد و در مجموع حجم آب مصرفی کولر های آبی و گازی به طور جداگانه مشخص شد. نتایج این پژوهش نشان می دهد در یک دوره چهار ماه در بخش های مسکونی و تجاری شهر یزد، در صورت استفاده از کولر آبی حدودا ۱۰/۹ میلیون متر مکعب و در صورت استفاده از کولر گازی تقریبا ۱/۷ میلیون متر مکعب آب مصرف می گردد.

واژه های کلیدی فارسی: مدیریت منابع آب، کولر آبی، کولر گازی، یزد، مصرف آب

۱- مقدمه

کشور ایران با وسعتی حدود ۱۷۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع و جمعیتی حدود ۸۰ میلیون نفر، در منطقه ای با آب و هوای عمدتا گرم و خشک قرار دارد (دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه ریزی استان یزد، ۱۳۹۵). متوسط میزان بارندگی سالانه کشور ایران طی ۴۹ سال گذشته در حدود ۲۴۵ میلیمتر می باشد که حدود ۷۰ درصد آن قبل از رسیدن به محیط های پذیرنده آب شیرین تبخیر می شود (سازمان برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۳). میزان آب تجدید پذیر در سال آبی ۹۵-۹۶ به ۱۱۶ میلیارد متر مکعب رسیده که با توجه به جمعیت کشور سالیانه آب در دسترس کشور به ۱۴۵۰ متر مکعب رسیده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۷). بر اساس شاخص تنش آبی فالکن مارک^۱، مناطق با سرانه سالیانه آب در دسترس کمتر از ۱۷۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ مترمکعب، به ترتیب مناطق دارای تنش آبی^۲، مناطق با کمبود آب^۳ و مناطق با کمبود شدید آب^۴ نامیده می شوند (Unesco, 2012). در نتیجه با توجه به شاخص فالکن مارک ایران در حال حاضر با تنش آبی روبروست و پیش بینی می شود در سال های نه چندان دور وارد مناطق با کمبود آب شود.

با توجه به اینکه کشور ایران دارای آب و هوای بسیار متنوع است در بعضی از استان ها مساله فقر منابع آبی بسیار جدی تر خواهد بود. یکی از استان های دارای فقر منابع آبی استان یزد می باشد. شهر یزد با وسعت ۷۴۷۸۱ کیلومتر مربع و جمعیت ۱۱۳۸۵۳۳ نفر در سال ۱۳۹۵ در منطقه ای گرم و خشک و بیابانی در مرکز ایران قرار دارد که از

قدیم با مشکلات کمبود منابع آب روبرو بوده است (دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه ریزی استان یزد، ۱۳۹۵). میانگین بارندگی متوسط درازمدت استان یزد ۹۳ میلیمتر است که در سال آبی ۹۶-۹۷ به ۷۰ میلیمتر رسیده است (مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۷). به علت فقر شدید منابع آبی در استان یزد حدود ۶۰ درصد از منابع آب شرب استان از طریق خط انتقالی از سرچشمه های کوهرنگ تامین میگردد که با توجه به خشکسالی های اخیر در این حوزه آبریز خطر تامین منابع آب استان بسیار جدی به نظر می رسد (شرکت آب و فاضلاب استان یزد، ۱۳۹۷).

با توجه به هزینه بالای جمع آوری، تصفیه، انتقال و توزیع آب شرب بهداشتی و همچنین کمبود و فقر منابع آبی در این استان لزوم توجه به مسائل صرفه جویی و مدیریت آب شرب حیاتی است. یکی از مصارف عمده آب در بخش خانگی خصوصا در فصول گرم سیستم های سرمایش آبی و سنتی در استان یزد می باشد. با توجه به آمار و ارقام موجود حدودا ۴۰۰ هزار کولر آبی در استان یزد موجود می باشد که هر کدام به طور میانگین در فصول گرم سال ۴۰۰ لیتر در شبانه روز آب مصرف می کنند که حدود ۴۰ درصد از آب استان یزد در فصول گرم سال را مصرف می کنند (شرکت آب و فاضلاب یزد، ۱۳۹۷). به منظوری جلوگیری از هدر رفت این حجم از آب مورد استفاده در کولر آبی راهکارهای مختلفی قابل پیشنهاد است. یکی از این راهکارها استفاده از آب خاکستری در بخش های خانگی و بازگردانی آب می باشد. با توجه به فقدان فرهنگ سازی، امکانات و زیرساخت ها در این زمینه، پیاده سازی این طرح نیاز به زمان نسبتا طولانی خواهد داشت. یکی دیگر از راهکار های پیشنهادی طرح جایگزینی خنک کننده های آبی با کولرهای گازی می باشد. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی طرح جایگزینی خنک کننده های آبی با خنک کننده های گازی و تصمیم گیری در مورد آن می باشد.

۲- روش انجام تحقیق

۲-۱- انتخاب شاخص های تاثیر گذار:

توسعه پایدار^۱ به معنای دستیابی به توسعه اقتصادی و اجتماعی در مسیری است که تضمین می دهد استفاده از منابع طبیعی و محیط زیست در زمان کنونی، توانایی نسل های آینده در برآورده سازی نیازهایشان را به خطر نمی اندازد (Lafferty, 2000). آب شیرین یکی از منابع طبیعی است که علی رغم احیای آن توسط یک چرخه کوتاه مدت، می تواند با افزایش تقاضای بشر و مصرف ذخایر موجود با خطر کمبود برای نسل آینده روبرو شود. بنابراین توجه به مسائل مدیریت آب با نگاه به مساله توسعه پایدار امری ضروری است. توسعه پایدار از سه جنبه اصلی اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی برای ارزیابی و آنالیز اجرای طرح های توسعه استفاده میکنند (Lafferty, 2000). هر چند جهت ارزیابی کلی بین دو گزینه استفاده از کولر آبی یا گازی باید معیارهای توسعه پایدار اعم از شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد، اما با توجه به اهمیت بسیار بالاتر بحران شدید منابع آب شیرین در کشور، در این پژوهش شاخص محیط زیستی ارزیابی توسعه پایدار مورد توجه قرار می گیرد از سایر معیارها در شاخص های توسعه پایدار صرف نظر می گردد.

۲-۲- بررسی شاخص محیط زیستی طرح:

در قسمت شاخص محیط زیستی طرح جایگزینی کولر گازی به جای کولر آبی در این پژوهش، مهمترین مساله بحث مقایسه مصرف آب به طور مستقیم و غیر مستقیم در دو سیستم خنک کننده می باشد. در قسمت مصرف آب به طور

مستقیم، مصرف آب خنک کننده در بهره برداری و در قسمت مصرف غیر مستقیم، مصرف آب در بخش تولید انرژی برای استفاده سیستم های خنک کننده مورد توجه است. با توجه به پیچیدگی تعیین رد پای آب در ساخت و تولید خنک کننده ها و ناچیز بود مقدار آن در مقایسه با مصرف آب مستقیم و غیر مستقیم از این قسمت صرف نظر میگردد. از معیار های مرتبط دیگر شاخص محیط زیستی در ارزیابی طرح جایگزینی مذکور میتوان به مساله گازهای مورد استفاده در کولر گازی و تخریب لایه اوزون، افزایش گازهای گلخانه ای و آلودگی محیط زیستی ناشی از افزایش تولید برق اشاره نمود. اما با توجه به اهمیت بحران کمبود آب از این مسائل صرف نظر می گردد و تنها معیار مورد استفاده در این پژوهش، مصرف آب مستقیم و غیرمستقیم بین دو گزینه موجود سیستم خنک کننده می باشد.

۲-۳- بررسی نحوه کارکرد دو سیستم سرمایشی:

کولر آبی در گروه دستگاه های سرمایش تبخیری قرار می گیرد که سرمایش مورد نیاز را از حرارت نهان تبخیر آب تامین می کند و از اجزای اصلی پمپ، فن سانتریفیوژ و پوشال تشکیل شده است (طباطبایی، ۱۳۸۲). در ورودی آب تغذیه شیر شناوری وجود دارد که با رسیدن ارتفاع آب موجود در کولر شیر آب تغذیه را قطع می کند. با شروع کار کولر پمپ آب موجود در کف کولر را بر روی پوشال ها می ریزد و پوشال ها به خاطر خاصیت فیزیکی خود مقداری از آب را در خود نگه می دارند. سپس فن هوای اطراف را از میان پوشال ها مکیده و از طریق کانال های توزیع هوا به ساختمان انتقال می دهد (طباطبایی، ۱۳۸۲). هنگام عبور هوا از پوشال ها مقداری از آب محبوس در بین پوشال ها را جذب کرده و وارد فضا می کند. آب محبوس شده در هوا تبخیر می شود و حرارت خود را از هوا می گیرد و در نتیجه هوا خنک می شود. میزان آب و برق مصرفی کولر آبی به عوامل متعددی همچون دمای محیط اطراف، میزان رطوبت، تجهیزات، ظرفیت، کیفیت آب و غیره بستگی دارد.

کولر گازی یکی از محصولات تهویه مطبوع است که از فرایند تبدیل گاز به مایع به وسیله افزایش فشار و در نتیجه تولید سرما با تبدیل مایع به گاز، استفاده می کند (طباطبایی، ۱۳۸۲). از مهمترین انواع کولر های گازی می توان به کولرهای گازی پنجره ای، اسپلیت دیواری و اسپلیت ایستاده اشاره نمود (بحرینی؛ رضایی، ۱۳۹۵). کولر گازی یک تکه یا پنجره ای، مجموعه ای یک تکه می باشد که همه اجزای سیکل تبرید در آن قرار می گیرد و جزو ابتدایی ترین نوع کولر گازی است و با توجه به مصرف برق بسیار بالای آن امروزه کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. کولرهای گازی اسپلیت یک چرخه تبرید تراکمی را به دو قسمت تقسیم کرده و یک قسمت آن در داخل محیط ساختمان و دیگری در بیرون از ساختمان و در هوای آزاد نصب می شود (بحرینی؛ رضایی، ۱۳۹۵). اینورتر^۱ قابلیت است که به واسطه ی یک برد الکترونیکی به کمپرسور اضافه می شود تا در هنگام رسیدن به دمای مطلوب کمپرسور خاموش نشود و تنها دور موتور کاهش یابد. این قابلیت باعث کاهش مصرف برق قابل چشمگیر کولر گازی می شود (بحرینی؛ رضایی، ۱۳۹۵). در این پژوهش، استفاده از کولرهای گازی اسپلیت دیواری و ایستاده و دارای اینورتر^۱ مورد نظر خواهد بود. مصرف انرژی در کولر گازی به عوامل مختلفی از جمله نوع مصرف خنک کننده و عایق بندی حرارتی محل مورد مصرف و غیره بستگی دارد (بحرینی؛ رضایی، ۱۳۹۵).

به منظور دستیابی به عملکرد مناسب هر دو سیستم سرمایش باید توجه کافی به انتخاب ظرفیت کولر با توجه به فضای مورد استفاده را داشت. جدول ۱ عوامل تاثیرگذار در انتخاب ظرفیت دستگاه سرمایش و فرمول محاسبه ظرفیت را نشان می دهد (بغوزیان، ۱۳۹۵). در این پژوهش با توجه به متغیر بودن شرایط استفاده هر دو نوع سیستم سرمایش در شهر یزد سعی شده از فرمول کلی برای محاسبه تقریبی ظرفیت دستگاه استفاده گردد.

جدول ۱- روش محاسبه تقریبی ظرفیت مورد نیاز سیستم های سرمایش

نوع سیستم سرمایش	عوامل تاثیر گذار بر ظرفیت مورد نیاز	فرمول محاسبه ظرفیت	توضیحات فرمول ارائه شده
کولر آب	متراژ و ارتفاع فضای مورد استفاده آب و هوای منطقه مورد استفاده	$C = \frac{V}{N}$ $N = \frac{T_{db} - T_{wb}}{10}$	$C(\text{ft}^3/\text{min or CFM}) = \text{ظرفیت کولر آبی}$ $V(\text{ft}^3) = \text{حجم فضای مورد نظر}$ $N = \text{تعداد دفعات مورد نیاز تغییر حجم فضا در دقیقه}$ $T_{db}(F) = \text{دمای هوای خشک منطقه}$ $T_{wb}(F) = \text{دمای هوای مرطوب منطقه}$
کولر گازی	نوع کاربری فضای مورد استفاده متراژ و ارتفاع فضای مورد استفاده آب و هوای منطقه مورد استفاده	$Q = 0.166 \times V \times AF \times K \times B$	$Q(\text{BTU/hr}) = \text{بار سرمایشی}$ $V(\text{ft}^3) = \text{حجم فضای مورد نظر}$ $AF = \text{ضریب هوا}$ $K = \text{ضریب شرایط اقلیم}$ $B = \text{ضریب کاربری فضا}$

۳-۳- بررسی آمار و اطلاعات مورد نیاز شهر یزد:

به منظور تخمین تعداد مورد نیاز کولر های آبی و گازی با ظرفیت های مختلف در شهر یزد با توجه به سالنامه آماری سال ۱۳۹۵ تعداد واحد های مسکونی، تجاری، صنعتی، اداری، آموزشی و غیره با مساحت های مختلف مشخص می گردد. جدول شماره ۲ تعداد کلی واحد های مسکونی آپارتمانی و غیر آپارتمانی شهر یزد را به تفکیک مساحت زیربنا را مشخص می کند (دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه ریزی استان یزد، ۱۳۹۵). جدول ۲ نشان می دهد حدود ۱۱۴۱ واحد با مترآژ نامعلوم وجود دارد که فرض می شود برابر با مترآژ متوسط واحد های مسکونی در شهر یزد حدوداً ۱۴۰ متر مربع باشد. جدول ۳ تعداد کلی انشعابات واحد های صنعتی، مذهبی-آموزشی، عمومی-دولتی، تجاری و غیره همراه با مترآژهای تخمین زده شده برای هر قسمت را نشان می دهد (دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه ریزی استان یزد، ۱۳۹۵). همچنین در قسمت سایر از جدول ۳ مترآژ میانگین ۱۵۰ متر مربع تخمین زده می شود. جدول ۴ اطلاعات لازم شهر یزد جهت تخمین ظرفیت سیستم سرمایشی مورد نیاز برای هر واحد با مترآژهای مختلف را نشان می دهد (دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه ریزی استان یزد، ۱۳۹۵).

جدول ۲- تعداد واحدهای مسکونی به تفکیک مترآژ زیربنا در شهر یزد تا پایان سال ۱۳۹۴

نامعلوم	>۵۰۰	۳۰۱-۵۰۰	۲۰۱-۳۰۰	۱۵۱-۲۰۰	۱۰۱-۱۵۰	۸۱-۱۰۰	۵۱-۸۰	<۵۰	محدوده مترآژ زیربنا (m ²)
۱۱۴۱	۱۰۶۵	۶۱۳۹	۱۵۸۹۰	۲۹۱۴۱	۵۳۹۱۸	۴۶۲۹۴	۲۱۵۲۷	۳۸۲۴	تعداد واحد مسکونی

جدول ۳- تعداد انشعابات واحدها با کاربری های مختلف در شهر یزد و تخمین مترآژ زیربنای آن ها تا پایان سال ۱۳۹۴

نوع واحد	تعداد انشعاب	مترآژ زیربنای فرضی
آموزشی و مذهبی	۱۶۵۷	۱۰۰۰
صنعتی	۶۳۱	۲۰۰۰
عمومی/دولتی	۱۱۶۷	۱۰۰۰
تجاری	۲۸۷۸۷	۸۰
سایر	۸۲۹	۱۵۰

جدول ۴- آمار و اطلاعات مورد نیاز شهر یزد به منظور استفاده در تعیین ظرفیت سیستم های سرمایشی

مقدار	واحد	مشخصات
۱۰۵	درجه فارنهایت (F^0)	متوسط دمای خشک در چهار ماه گرم سال*
۷۷	درجه فارنهایت (F^0)	متوسط دمای مرطوب در چهار ماه گرم سال*
۴۱۰۰	فوت (ft)	ارتفاع از سطح دریا
۰,۹۳	-	ضریب هوا
۲۸	-	ضریب شرایط اقلیم
۳۷,۷	درجه سانتی گراد (C^0)	متوسط دمای بیشینه در چهار ماه گرم سال*

* چهارماه گرم سال به ماه های خرداد، تیر، مرداد و شهریور اطلاق می گردد.

۳-۳- تخمین میزان آب و برق مصرفی دو سیستم سرمایشی انتخابی:

به منظور امکان ارزیابی مصرف آب دو سیستم کولر آبی و کولر گازی لازم است مصرف آب و برق هر کدام از سیستم ها برای شهر یزد در چهار ماه گرم سال (خرداد- تیر- مرداد و شهریور) که تقریباً نود درصد زمان استفاده از سیستم های سرمایشی را در بر می گیرند، محاسبه گردد. با توجه به اینکه واحدهای صنعتی، آموزشی و اداری و عمومی دارای فضای بزرگی هستند و استفاده از سیستم سرمایشی کولر آبی یا گازی مقرون به صرفه نیست، جهت مقایسه بین دو سیستم سرمایشی در دو بخش مصرف مسکونی و تجاری استفاده می شود. ابتدا از اطلاعات در دسترس برای شهر یزد تعداد کولرهای مورد نیاز آبی یا گازی با ظرفیت های مختلف تعیین می گردد. در مرحله بعد میزان آب و برق مصرفی هر کدام از ظرفیت های کولر آبی و گازی در شرایط ایده آل در بخش خانگی و تجاری شهر یزد تخمین زده می شود و در نهایت با توجه به آمار میزان آب مصرفی در نیروگاه های برقی کشور، میزان آب غیرمستقیم ناشی از مصرف برق در هر دو سیستم سرمایشی محاسبه و مجموع کل آب مصرفی مستقیم و غیر مستقیم محاسبه و مقایسه می گردد.

جدول ۵ و ۶ به ترتیب تعداد کولر های مورد نیاز آبی و گازی با ظرفیت های مختلف به تفکیک مترائ زیربنای واحد های مسکونی و تجاری مختلف در شهر یزد را نشان می دهد. در جدول ۵ و ۶ محاسبه ظرفیت مورد نیاز کولر آبی و گازی بر اساس مترائ معیار و با فرض متوسط ارتفاع سقف ۳/۵ متر و با توجه به فرمول جدول ۱ و آمار و اطلاعات موجود در جدول ۴ انجام شده است. جهت تعیین ظرفیت کولر گازی ضریب کاربری بخش مسکونی ۱ و بخش تجاری ۱/۲ در نظر گرفته می شود. به منظور تعیین نوع کولر آبی از سه ظرفیت ۳۵۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ در بازار استفاده شده است. همچنین از ظرفیت های ۱۲۰۰۰، ۱۸۰۰۰، ۲۴۰۰۰، ۳۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰ برای انتخاب کولرهای گازی استفاده شده است.

با توجه به این که کولر گازی در حین استفاده آبی مصرف نمی کند، در بخش مصرف آب در حین بهره برداری فقط کولر آبی کنترل می شود. مصرف آب در کولرهای آبی به عوامل مختلفی همچون درجه حرارت، رطوبت، تابش خورشید، کیفیت آب و غیره بستگی دارد و نمی توان برای آن الگوی خاصی را در نظر گرفت. به همین منظور با توجه به رابطه تجربی ۱ که برای مصرف آب کولرهای آبی به صورت مطالعه موردی در یکی از مناطق گرم و خشک ایران (شهر قم) پیشنهاد شده است، می توان به طور تقریبی مصرف آب این نوع کولرها را در شهر یزد محاسبه کرد. در رابطه ۱ متوسط دبی مصرف آب کولر آبی در شبانه روز بر حسب لیتر بر ساعت (C) وابسته به متوسط بیشینه دمای هوا بر حسب درجه سانتی گراد (T) و ظرفیت کولر مورد استفاده بر حسب فوت مکعب بر دقیقه (X) است (ربانی و همکاران، ۱۳۸۷).

$$C = (-4.225 + 0.381 T) \times \frac{X}{2500} \quad (1)$$

جدول ۵- محاسبه و تخمین تعداد کولرهای آبی مورد نیاز در شهر یزد

کاربری	محدوده متراژ (m ²)	متراژ معیار (m ²)	تعداد تقریبی واحد	ظرفیت مورد نیاز (cfm)	طراحی سیستم سرمایشی (cfm)	تعداد کولر با ظرفیت ۳۵۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۵۰۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۷۰۰۰
مسکونی	<۵۰	۵۰	۳۸۲۴	۲۳۱۵	۱ عدد کولر ۳۵۰۰	۳۸۲۴	.	.
	۵۱-۸۰	۸۰	۲۱۵۲۷	۳۷۰۴	۱ عدد کولر ۳۵۰۰	۲۱۵۲۷	.	.
	۸۱-۱۰۰	۱۰۰	۴۶۲۹۴	۴۶۳۰	۱ عدد کولر ۵۰۰۰	.	۴۶۲۹۴	.
	۱۰۱-۱۵۰	۱۵۰	۵۳۹۱۸	۶۹۴۴	۱ عدد کولر ۷۰۰۰	.	.	۵۳۹۱۸
	۱۵۱-۲۰۰	۲۰۰	۲۹۱۴۱	۹۲۵۹	۲ عدد کولر ۵۰۰۰	.	۵۸۲۸۲	.
	۲۰۱-۳۰۰	۳۰۰	۱۵۸۹۰	۱۳۸۸۹	۲ عدد کولر ۷۰۰۰	.	.	۳۱۷۸۰
	۳۰۱-۵۰۰	۵۰۰	۶۱۳۹	۲۳۱۴۸	۳ عدد کولر ۷۰۰۰	.	.	۱۸۴۱۷
	>۵۰۱	۷۰۰	۱۰۶۵	۳۲۴۰۷	۴ عدد کولر ۷۰۰۰ و ۱ عدد کولر ۵۰۰۰	.	۱۰۶۵	۴۲۶۰
تجاری	نامعلوم	۱۴۰	۱۱۴۱	۶۴۸۱	۱ عدد کولر ۷۰۰۰	.	.	۱۱۴۱
	-	۵۰	۲۸۷۸۷	۲۳۱۵	۱ عدد کولر ۳۵۰۰	۲۸۷۸۷	.	.
	جمع کل				۵۴۱۳۸	۱۰۵۶۴۱	۱۰۹۵۱۶	



جدول ۵- محاسبه و تخمین تعداد کولرهای گازی مورد نیاز در شهر یزد

کاربری	محدوده متراژ (m ²)	متراژ معیار (m ²)	تعداد تقریبی واحد	ظرفیت لازم (BTU/hr)	طراحی سیستم سرمایشی (BTU/hr)	تعداد کولر با ظرفیت ۱۲۰۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۱۸۰۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۲۴۰۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۳۰۰۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۵۰۰۰۰	تعداد کولر با ظرفیت ۱۰۰۰۰۰
مسکونی	<۵۰	۵۰	۳۸۲۴	۲۶۰۶۶	۱ عدد کولر ۳۰۰۰۰	۰	۰	۰	۳۸۲۴	۰	۰
	۵۱-۸۰	۸۰	۲۱۵۲۷	۴۱۷۰۶	۱ عدد کولر ۲۴۰۰۰ و ۱ عدد کولر ۱۸۰۰۰	۰	۲۱۵۲۷	۲۱۵۲۷	۰	۰	۰
	۸۱-۱۰۰	۱۰۰	۴۶۲۹۴	۵۲۱۳۲	۱ عدد کولر ۳۰۰۰۰ و ۲ عدد کولر ۱۲۰۰۰	۹۲۵۸۸	۰	۰	۴۶۲۹۴	۰	۰
	۱۰۱-۱۵۰	۱۵۰	۵۳۹۱۸	۷۸۱۹۸	۱ عدد کولر ۳۰۰۰۰ و ۲ عدد کولر ۲۴۰۰۰	۰	۰	۱۰۷۸۳۶	۵۳۹۱۸	۰	۰
	۱۵۱-۲۰۰	۲۰۰	۲۹۱۴۱	۱۰۴۲۶۴	۱ عدد کولر ۵۰۰۰۰ و ۳ عدد کولر ۱۸۰۰۰	۰	۸۷۴۲۳	۰	۰	۲۹۱۴۱	۰
	۲۰۱-۳۰۰	۳۰۰	۱۵۸۹۰	۱۵۶۳۹۶	۲ عدد کولر ۵۰۰۰۰ و ۳ عدد کولر ۱۸۰۰۰	۰	۴۷۶۷۰	۰	۰	۳۱۷۸۰	۰
	۳۰۱-۵۰۰	۵۰۰	۶۱۳۹	۲۶۰۶۶۰	۲ عدد کولر ۱۰۰۰۰۰ و ۲ عدد کولر ۱۸۰۰۰ و ۲ عدد کولر ۱۲۰۰۰	۱۲۲۷۸	۱۲۲۷۸	۰	۰	۰	۱۲۲۷۸
	>۵۰۱	۷۰۰	۱۰۶۵	۳۶۴۹۲۵	۲ عدد کولر ۱۰۰۰۰۰ و ۳ عدد کولر ۳۰۰۰۰ و ۳ عدد کولر ۲۴۰۰۰	۰	۰	۳۱۹۵	۳۱۹۵	۰	۲۱۳۰
	نامعلوم	۱۴۰	۱۱۴۱	۷۲۹۸۵	۳ عدد کولر ۲۴۰۰۰	۰	۱۱۴۱	۱۱۴۱	۱۱۴۱	۰	۰
تجاری	-	۵۰	۲۸۷۸۷	۳۱۲۷۹	۱ عدد کولر ۳۰۰۰۰	۰	۰	۰	۲۸۷۸۷	۰	۰
جمع کل						۱۱۶۸۶۶	۱۸۶۸۹۸	۱۵۹۹۸۱	۱۶۶۰۱۸	۱۱۰۹۲۱	۱۱۴۴۰۸

جدول ۶ میزان مصرف آب کولرهای آبی در بخش مسکونی و تجاری شهر یزد، در چهار ماه گرم سال با استفاده از فرمول (۱) و آمار و اطلاعات موجود در جدول ۴ و ۵ و فرض استفاده روزانه ۱۵ ساعت را نشان می دهد. با توجه به جدول ۶ تخمین زده می شود با استفاده از کولر آبی در بخش مسکونی و تجاری شهر یزد، روزانه تقریباً ۸۷ هزار متر مکعب و در چهار ماه گرم سال حدود ۱۰/۷ میلیون متر مکعب آب شرب بهداشتی مصرف شود.

جدول ۶- مصرف آب کولرهای آبی بخش مسکونی و تجاری شهر یزد

ظرفیت کولر آبی (CFM)	تعداد کولر	متوسط مصرف آب کولر در روز (Lit)	مصرف آب کولر در روز (m ³)	مصرف آب کولر در چهار ماه گرم سال (m ³)
۳۵۰۰	۵۴۱۳۸	۲۰۵	۱۱۰۹۸	۱۳۷۶۱۵۲
۵۰۰۰	۱۰۵۶۴۱	۲۹۲	۳۰۸۴۷	۳۸۲۵۰۲۸
۷۰۰۰	۱۰۹۵۱۶	۴۰۹	۴۴۷۹۲	۵۵۵۴۲۰۸
جمع کل			۸۶۷۳۷	۱۰۷۵۵۳۸۸

جهت تخمین میزان برق مصرفی کولرهای آب و گازی ابتدا با توجه به اطلاعات فنی کولرهای آبی و گازی مشخص شده استفاده میگردد. در جدول ۷ میانگین مصرف برق انواع کولرهای آبی و گازی مشخص شده با توجه شرایط متوسط شدت سرمایش، مشخص شده است (آبسال، ۱۳۹۷ و گلدایران، ۱۳۹۷). همانطور که قبلاً بیان شده برای استفاده از کولرهای گازی از کولرهای اسپلیت دیواری با قابلیت اینورتر استفاده می گردد. به منظور تعیین میزان مصرف برق از مشخصات فنی اسپلیت های دیواری با برند الجی^۷ و از کولرهای آبی با برند آبسال استفاده می گردد. همانطور که در جدول ۷ پیش بینی می شود، برای یک دوره چهار ماهه گرم سال در صورت استفاده از کولر گازی از نوع اسپلیت اینورتر در شهر یزد، میزان ۴/۳۸۰/۰۰۰ مگاوات برق مصرف می شود. همچنین در صورت استفاده از کولرهای آبی، پیش بینی می شود میزان تقریبی ۳۷۰/۰۰۰ مگاوات در یک دوره چهارماهه گرم سال برق مصرف شود. با توجه به تراز نامه انرژی سال ۱۳۹۴ توسط وزارت نیرو، سهم تولید برق در نیروگاه های بخاری ۳۱/۲ درصد، سیکل ترکیبی ۳۵/۳ درصد، گازی ۲۶/۷ درصد، آبی ۵ درصد، تجدیدپذیر و اتمی ۱/۸ درصد و دیزلی نیز ۰/۳ درصد است (وزارت نیرو، ۱۳۹۶). میزان آب مصرفی در هر نیروگاه از طریق تعیین آب ورودی به بخش های مختلف آن قابل محاسبه است که می تواند بسیار پیچیده باشد. عمده مصرف آب نیروگاه ها در سامانه های خنک کننده، جبران نشتی آب در سیکل بویلرها، سامانه تزریق آب به توربین های گاز برای خنک کاری هوای ورودی، سیستم آتش نشانی، شست و شو و آبیاری فضای سبز و اخیراً سامانه های حذف آلاینده ها از گازهای خروجی دودکش است که طبق برآوردها به ازای تولید ۱ کیلووات ساعت برق، برای نیروگاه های بخاری ۷۰۰ لیتر، نیروگاه های سیکل ترکیبی تا ۳۰۰ لیتر و برای نیروگاه های گازی تا ۱۲۰ لیتر، آب مصرف می شود (وزارت نیرو، ۱۳۹۶). با توجه به سهم تولید برق در نیروگاه های مختلف، به طور متوسط به ازای تولید هر ۱ مگاوات ساعت، ۳۸۲ لیتر آب مصرف می شود. همانطور که در جدول ۷ نشان داده شده است مقدار مصرف غیر مستقیم آب ناشی از مصرف برق در دو بخش استفاده از کولرهای گازی و آبی در دوره چهار ماه تعیین شده به ترتیب تقریباً ۱/۷۰۰/۰۰۰ متر مکعب و ۱۴۰/۰۰۰ متر مکعب خواهد بود.



جدول ۷- مصرف آب غیرمستقیم ناشی از مصرف برق کولرهای آبی و گازی بخش مسکونی و تجاری شهر یزد

کولر گازی						کولر آبی			
۱۰۰۰۰۰ Btu	۵۰۰۰۰ Btu	۳۰۰۰۰ Btu	۲۴۰۰۰ Btu	۱۸۰۰۰ Btu	۱۲۰۰۰ Btu	۷۰۰۰ Cfm	۵۰۰۰ Cfm	۳۵۰۰ Cfm	ظرفیت
۱۱۴۴۰۸	۱۱۰۹۲۱	۱۶۶۰۱۸	۱۵۹۹۸۱	۱۸۶۸۹۸	۱۱۶۸۶۶	۱۰۹۵۱۶	۱۰۵۶۴۱	۵۴۱۳۸	تعداد
۶۰۰۰	۳۸۰۰	۲۷۰۰	۲۲۰۰	۱۷۰۰	۱۱۰۰	۹۰۰	۶۸۵	۵۲۰	مصرف برق در یک ساعت (W)
۶۸۶۴۴۸	۴۲۱۵۰۰	۴۴۸۲۴۹	۳۵۱۹۵۸	۳۱۷۷۲۷	۱۲۸۵۵۳	۹۸۵۶۴	۷۲۳۶۴	۲۸۱۵۲	مصرف کل برق در یک ساعت (Kw)
۱۰۲۹۷	۶۳۲۲	۶۷۲۳	۵۲۷۹	۴۷۶۶	۱۹۲۸	۱۴۷۸	۱۰۸۵	۴۲۲	مصرف کل برق در یک روز (Mw)
۱۲۷۶۸۹۳	۷۸۳۹۹۰	۸۳۳۷۴۲	۶۵۴۶۴۲	۵۹۰۹۷۱	۲۳۹۱۰۸	۱۸۳۳۳۰	۱۳۴۵۹۷	۵۲۳۶۲	مصرف کل برق در چهار ماه گرم سال (Mw)
۴۳۷۹۲۴۷						۳۷۰۲۸۹			جمع کل مصرف برق (Mw)
۱۶۷۲۸۷۲						۱۴۱۷۴۵			جمع کل آب مورد نیاز برای تولید برق (m ³)

۴- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده در این پژوهش نشان می دهد مصرف آب و برق ناشی از استفاده کولر آبی، در بخش مسکونی و تجاری شهر یزد در یک دوره چهار ماهه گرم سال به ترتیب تقریباً ۱۰/۷۶ میلیون متر مکعب و ۳۷۰۰۰۰ مگاوات می باشد. همچنین در این پژوهش مشخص گردید برای تولید ۳۷۰۰۰۰ مگاوات برق حدوداً ۱۴۰/۰۰۰ متر مکعب آب مصرف می گردد. بنابراین در صورتی که کل بخش مسکونی و تجاری شهر یزد در چهار ماه گرم سال از کولر آبی استفاده کنند حجمی معادل ۱۰/۹ میلیون متر مکعب آب مصرف می گردد. از طرفی در صورت جایگزینی کولر های گازی به جای کولرهای آبی، با توجه عدم مصرف آب به طور مستقیم، تنها مصرف آب غیر مستقیم ناشی از تولید برق مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج نشان می دهد برای استفاده از کولرهای گازی در بخش مسکونی و تجاری شهر یزد در یک دوره چهار ماه گرم سال حدوداً ۴,۳۷۹,۰۰۰ مگاوات برق مصرف می گردد که برای تولید این مقدار برق، تقریباً ۱/۷ میلیون متر مکعب آب در کشور مصرف خواهد شد. ارزیابی مصرف آب کولرهای آبی و گازی نشان می دهد در صورت جایگزینی کولرهای گازی به جای آبی در شهر یزد، مقدار ۹ میلیون متر مکعب در یک دوره چهار ماهه گرم سال صرفه جویی خواهد شد که با توجه به شرایط تنش بسیار شدید آبی در استان یزد حجم قابل توجهی خواهد بود. همچنین باید در نظر گرفت این مقدار در صورتی است که تعداد کولرهای گازی مورد نیاز تعیین شده برای خنک نگه داشتن کل زیربنای بخش مسکونی و تجاری شهر یزد تماماً و با میانگین ۱۵ ساعت در روز روشن باشد. در صورتی که برای استفاده از سیستم سرمایش نیازی به خنک نگه داشتن تمامی مناطق منزل مسکونی نیست. در نتیجه اگر فرض شود دو سوم کولر های گازی در روز مورد استفاده قرار گیرد، میزان مصرف برق کولرهای گازی در این دوره ۴ ماهه به ۲,۹۲۰,۰۰۰ مگاوات کاهش می یابد و متعاقباً مصرف آب ناشی از تولید این مقدار برق به ۱/۱ میلیون متر مکعب تعدیل خواهد یافت.

۵- پیشنهادات

در این پژوهش با توجه به در نظر گرفتن سناریو کمبود شدید منابع آبی و بالا بود ارزش آب در مقابل برق، ارزیابی جایگزینی کولرهای گازی به جای آبی تنها از منظر مصرف آب مورد توجه قرار گرفت. در صورتیکه به منظور تحلیل توسعه پایدار در اجرای یک طرح می بایست جنبه های مختلف زیست محیطی، اجتماعی و خصوصاً اقتصادی طرح در نظر گرفته شود. به همین منظور پیشنهاد می گردد علاوه بر معیار مصرف آب معیار های ذیل مورد ارزیابی قرار گیرند.

۱. آنالیز رد پای آب در تولید محصولات کولر گازی و آبی
۲. مقایسه آلودگی زیست محیطی ناشی از تولید برق مصرفی کولرهای گازی و آبی
۳. بررسی تخریب لایه اوزون ناشی از تولید گازهای مورد استفاده در سیستم سرمایشی کولر گازی
۴. بررسی سلامت عمومی ناشی از خشکی هوا در صورت استفاده از کولر گازی و ارائه راهکار پیشنهادی
۵. ارزیابی مقبولیت عمومی ناشی از برچیدن کولرهای آب و جایگزینی آن با کولرهای گازی
۶. امکان سنجی توانایی تولید برق ناشی از مصرف کولرهای گازی در سطح شهر
۷. آنالیز سود و هزینه ناشی از جایگزینی کولرهای گازی به جای آبی
۸. برآورد هزینه اولیه و امکان سنجی فراهم نمودن تعداد بالای کولرهای گازی مورد نیاز برای جایگزینی

۶- پی‌نوشت‌ها

1. Falkenmark Water Stress Indicator
2. Water Stress
3. Water Scarcity
4. Absolute Water Scarcity
5. Sustainable development
6. Inverter
7. LG Company
8. Once-trough

۱۰- مراجع

- دفتر آمار و اطلاعات معاونت برنامه ریزی استان یزد، (۱۳۹۵)، "سالنامه آماری استان یزد"، استانداری یزد، مرکز آمار ایران.
- سازمان برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۹۳)، "نگاهی به وضعیت آب ایران و جهان"، برگرفته از <http://files.spac.ir>، در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۰.
- شرکت مدیریت منابع آب کشور، (۱۳۹۷)، "گزارش پایه منابع آب کشور"، سامانه اطلاعات جامع آب کشور، برگرفته از سایت <http://wrm.ir>، در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۱۱.
- شرکت آب و فاضلاب استان یزد، (۱۳۹۷)، "گزارش بهره برداری از منابع آب در سال ۱۳۹۶"، معاونت بهره برداری.
- طباطبایی، م.، (۱۳۸۲) "محاسبات تاسیسات ساختمان"، چاپ نهم، انتشارات فرهنگ معاصر.
- بحرینی، م. و رضایی، م.، (۱۳۹۵)، "مرجع کامل کولر گازی"، چاپ اول، انتشارات خانه روشنا.
- بنغوزیان، ر.، (۱۳۹۵) "محاسبات تاسیسات ساختمان"، چاپ چهارم، نشر و گروه نشریات یزدا.
- ربانی، د.؛ موسوی، غ. و قره گوزلو، م.، (۱۳۸۷) "مدل سازی مصرف آب یک دستگاه کولر آبی در منطقه گرم و خشک قم"، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، زاهدان، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان.
- آبسال، (۱۳۹۷)، "کاتالوگ محصولات کولر آبی آبسال"، شرکت سهامی خاص آبسال.
- گلدیران، (۱۳۹۷)، "کاتالوگ محصولات کولر گازی ال جی"، شرکت گلدیران، نمایندگی محصولات ال جی.
- وزارت نیرو، (۱۳۹۶)، "ترازنامه انرژی ۱۳۹۴"، معاونت امور برق و انرژی.
- Lafferty, W.M., (2000), "Implementing sustainable development: Strategies and initiatives in high consumption societies", Oxford:Oxford university press.
- Unesco,(2012), "Managing water under uncertainty and risk; Managing water under uncertainty and risk", World Water Assessment Programme Unesco.

Evaluation of water saving usage in replacing inverter split with evaporative cooler: A case study in Yazd city

Omid Golshiri Esfahani^{*1}, Ali Shahedipur²

1- Omid Golshiri Esfahani, Omid.golshiri@gmail.com

2- Ali Shahedipur, Alishahedi89@yahoo.com

Abstract

Regard to fundamental role of water scarcity in the country's future planning, water resource management is one of the most important issues. Evaporative coolers is one of the most household water user in the summer season. The purpose of this study is to evaluate the water consumption of evaporative coolers and split air conditioners. For this purpose, in the first step, the number of required evaporative coolers or split air conditioners was evaluated according to the residential and commercial data of Yazd city. In the next step, the amount of water and electricity consumed about air conditioners calculated in the four-month period of warm season. Finally, for evaporative coolers and split conditioners, water usage equivalent of electricity power generation was calculated. Generally, water usage of both coolers was determined separately. The results of this research show that in a four month period, the residential and commercial area of Yazd city needs to use about 10.9 million cubic meters water for evaporative coolers and about 1.7 million cubic meters water for split air conditioners. This result show that, in case of using split air conditioners, about 9.2 million cubic meters water was saved.

KEYWORDS: Water recourse management, Evaporative cooler, Split cooler, Yazd city, water usage