

بررسی فنی و اقتصادی روش‌ها و منافع افزایش کارایی مصرف انرژی در کولرهای آبی

امیردودابی نژاد، مونا وثوقی فرد

سازمان بهره‌وری انرژی ایران

چکیده:

با توجه به اقلیم گرم و خشک ایران، کولر آبی یکی از ابزارهای مهم، کم مصرف و مناسب سرمایه‌گذاری برای بخش بزرگی از مناطق کشور است. براساس آمارها و برآوردها تا پایان سال ۱۳۸۹ حداقل ۱۱ میلیون از این دستگاه در کشور وجود دارد. تاثیر این تعداد کولر آبی در اوج بار تابستان بیش از ۵۵۰۰ مگاوات با مصرف انرژی بیش از ۷۹۲۰ هزار مگاوات‌ساعت در طول چهار ماه گرم سال برآورد می‌گردد. بنابراین میزان مصرف انرژی فاکتور مهمی در کارکرد کولر آبی است. در این تحقیق راهکارهای افزایش کارایی مصرف انرژی شامل قطر پروانه کولر، عرض پروانه کولر، تعداد پره‌های پروانه، زاویه پره‌های پروانه، نوع و بازده الکتروموتور، سیستم انتقال نیرو در کولرهای آبی، یاتاقان‌بندی و جنس محور فن در کولرهای آبی، نوع و بازده پمپ آب در کولرهای آبی، اثر پولی، کولر آبی بررسی شده و نشان داده می‌شود که با به-کارگیری این راهکارها می‌توان حدود ۲۵ درصد از توان مصرفی این تجهیزات کاست. در پایان مهم‌ترین شاخص‌های اقتصادی افزایش کارایی مصرف انرژی در کولر آبی محاسبه و نشان می‌دهد که بازگشت سرمایه برای این حد افزایش کارایی کمتر از یک سال خواهد بود. در صورتی که عمر مفید هر دستگاه کولر آبی ده سال در نظر گرفته شود، خالص ارزش حال این اقدام برای تولیدات پنج سال ۱۳۹۶۲ میلیارد ریال خواهد بود.

کلمات کلیدی: کولر آبی، کارایی مصرف انرژی، شاخص بازده انرژی، خالص ارزش حال، بهره‌وری انرژی

۱. مقدمه:

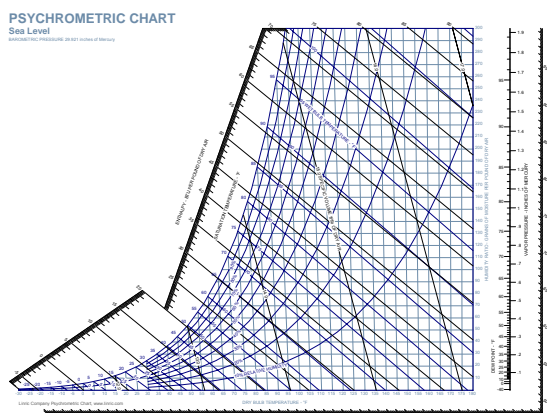
حرارتی و رطوبتی محیط مورد نظر را تامین می‌کند. بدین جهت استفاده از این وسیله در مناطقی با آب و هوای مرطوب امکان پذیر نبوده و فقط در مناطقی که دارای آب و هوای خشک می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملکرد کولرهای آبی بر اساس دو مکانیزم اصلی استوار می‌باشد که عبارتند از:

کولر آبی که به شکل امروزی در ایران موجود می‌باشد در حدود ۴۰ سال پیش در کشور آمریکا طراحی و ساخته شد. کولر آبی مجموعه‌ای است از قطعات مونتاژ شده در داخل یک اتاقک کوچک که به عنوان یکی از لوازم خانگی برای ایجاد محیطی خنک و مرطوب مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله به طور معمول خارج از محیط مورد نظر نصب می‌گردد و بر اساس فرآیند سرمایه‌گذاری، سطح آسایش

جدول ۱: میزان مصرف انرژی و آب در کولرهای آبی [۶]

ردیف	ظرفیت هواده ی (cfm ^۱)	ظرفیت هواده ی (m ³ /h)	توان مصرفی (w)	مصرف انرژی (kwh)	مصرف آب (lit/h)
۱	۸۸۰	۱۵۰۰	۱۴۰	۲۰۰	۴
۲	۲۶۵۰	۴۵۰۰	۳۸۰	۵۵۰	۱۳
۳	۲۹۵۰	۵۰۰۰	۴۲۰	۶۰۰	۱۴
۴	۳۲۵۰	۵۵۰۰	۴۵۰	۶۵۰	۱۵
۵	۳۵۵۰	۶۰۰۰	۴۷۰	۶۸۰	۱۶
۶	۵۰۰۰	۸۵۰۰	۵۹۰	۸۵۰	۲۵

فرآیند سرمایش تبخیری در کولر آبی فرآیندی آدیاباتیک^۲ فرض می‌شود. عملکرد یک سیستم سرمایش تبخیری غیر مستقیم را نیز می‌توان بر روی نمودار سایکرومتریک (نمودار ۱) نشان داد. ضریب عملکرد این سیستمها برابر است با تنزل درجه حرارت حباب خشک جریان هوای اولیه تقسیم بر اختلاف درجه حرارت‌های حباب خشک ورودی هوای اولیه و حباب تر ورودی هوای ثانویه. در این سیستم مقدار بازده ممکن است به ۸۵٪ نیز برسد. چون در فرآیند سرمایش تبخیری غیر مستقیم هر دو درجه حرارت حباب خشک و تر کاهش می‌یابند در بسیاری از کاربردها می‌توان از آن به عنوان جایگزین برای بخشی از بار تبرید استفاده کرد.



نمودار ۱: نمودار سایکرومتریک تبخیری

سهولت استفاده، سادگی مکانیزم عمل، دوام کافی، قابلیت تعمیر، بکارگیری مجدد و هزینه اولیه مناسب، از اهم عوامل توسعه استفاده از انواع کولرهای آبی جهت مصارف عمومی در اماکن مختلف مسکونی، تجاری و واحدهای کوچک و بزرگ به شمار می‌آیند. از این رو پارامترهای مهمی نظیر عملکرد خوب

1: cubic feet per minute

۲: در این فرآیند فقط بخشی از آب در گردش تبخیر می‌گردد و درجه حرارت تعادل باقیمانده آن تقریباً برابر با درجه حرارت حباب تر هوای ورودی می‌باشد.

• ایجاد هوای خنک در داخل محوطه اتاقک توسط تبخیر آب

• دمیدن هوای خنک ایجاد شده به خارج از اتاقک با توجه به مطالب مذکور کولرهای آبی دارای دو مجموعه اصلی می‌باشند که عبارتند از:

- مجموعه خنک کننده
- مجموعه دمنده

نحوه عملکرد کولر آبی بسیار ساده است. به این ترتیب که هوای گرم و خشک پس از عبور از فیلترهایی از جنس کاه و چوب خرد شده که پوشال نامیده می‌شود (در برخی کولرها سلولزی) و توسط آب مرطوب شده‌اند، تصفیه و رطوبت آن را جذب نموده و گرمای خود را صرف تبخیر قطرات آب می‌نماید. بدین ترتیب هوای گرم و خشک، خنک و مرطوب شده و وارد فضای داخل کولر می‌شود. سپس این هوای خنک و مرطوب توسط یک مکانیزم دمنده (فن) و یک مکانیزم ایجاد فشار همراه با اختلاف فشار (حلزونی)، با فشار به داخل فضای اتاق هدایت می‌شود.

میزان و سرعت خنک کنندگی در این نوع کولرها بستگی به نوع و اندازه محفظه کولر، نوع و اندازه مکانیزم دمنده و همچنین مکانیزم ایجاد فشار دارد و اختلاف عمده در کارکرد کولرهای آبی ناشی از این تفاوت می‌باشد. بازدهی خنک کاری این کولرها تقریباً برابر ۸۰٪ است و قابلیت تصفیه گرد و غبار تا ابعاد ۱۰ میکرون و بزرگتر را دارند. میزان مصرف انرژی و آب در کارکرد کولر آبی است. میزان مصرف انرژی و آب در کولرهای آبی به نوع الکتروموتور و پمپ گردش آب به کار رفته و همچنین ظرفیت هواده ی بستگی دارد که با واحدهای کیلووات ساعت و لیتر در ساعت سنجیده می‌شوند. از آنجایی که اکثر شرکت‌های تولیدکننده کولر از موتور و پمپ گردش آب با توان مصرفی یکسان استفاده می‌کنند، بدین جهت این فاکتور در مقایسه دو کولر با ظرفیت هواده ی یکسان ثابت می‌باشد. به عنوان مثال در کولرهایی با ظرفیت هواده ی ۴۵۰۰ متر مکعب در ساعت، مصرف انرژی معادل ۵۴۰ کیلو وات ساعت و مصرف آب معادل ۱۳ لیتر در ساعت است. ولی در مقایسه دو کولر با ظرفیت هواده ی مختلف این فاکتور یکسان نیست. البته پارامترهای دیگری نظیر نوع طراحی سیستم فن، حلزونی، دریچه‌ها و همچنین نوع پوشال به کار رفته، باعث افزایش راندمان کولر و در نتیجه کاهش مصرف انرژی و آب می‌شود. جدول ۱ نشان دهنده مصرف انرژی و آب در کولرها با ظرفیت هواده ی مختلف می‌باشد.

جدول (۳): تعداد کولر آبی موجود در کشور

تعداد کولر آبی			
شرح	۱۳۷۵	۱۳۸۵	درصد رشد سالیانه
مناطق شهری	۳,۸۷۵,۸۹۶	۷,۵۲۲,۷۴۶	۶/۹
مناطق روستایی	۷۴۴,۸۱۴	۱,۳۲۸,۵۷۶	۶/۰
کل کشور	۴,۶۲۰,۷۱۰	۸,۸۵۱,۳۲۲	۶/۷

منبع: مرکز آمار ایران

جدول (۴): برآورد تعداد کولرهای کشور طی سال‌های ۸۹ الی ۹۳

سال	تعداد کولرهای اضافه شده	تعداد کل کولرهای موجود در کشور
۱۳۸۹	۷۲۰,۴۰۴	۱۱,۴۷۲,۷۰۵
۱۳۹۰	۷۶۸,۶۷۱	۱۲,۲۴۱,۳۷۶
۱۳۹۱	۸۲۰,۱۷۲	۱۳,۰۶۱,۵۴۸
۱۳۹۲	۸۷۵,۱۲۴	۱۳,۹۳۶,۶۷۲
۱۳۹۳	۹۳۳,۷۵۷	۱۴,۸۷۰,۴۲۹

منبع: محاسبات تحقیق

براساس آمارها و برآوردها تا پایان سال ۱۳۸۹ حداقل ۱۱ میلیون از این دستگاه در کشور وجود دارد. تاثیر این تعداد کولر آبی در اوج بار تابستان بیش از ۵۵۰۰ مگاوات با مصرف انرژی بیش از ۷۹۲۰ هزار مگاوات ساعت در طول چهار ماه گرم سال برآورد می‌گردد. (ساعت کارکرد سالانه ۱۴۴۰ ساعت در نظر گرفته شده است).

۳. تعیین شاخص بازده انرژی:

برای تعیین شاخص بازده انرژی از کمیت نسبت بازده انرژی (EER) استفاده می‌شود که به کمک آن مصرف انرژی دستگاه اندازه‌گیری می‌شود و از معادله زیر بدست می‌آید:

$$EER = \frac{(q_s) = Q \rho C_p (t_{di} - t_{do})}{(P_t)}$$

که در آن:

q_s : ظرفیت سرمایش محسوس برحسب کیلووات؛

P_t : توان مصرفی کولر برحسب کیلو وات؛

Q : هوادهی برحسب مترمکعب برثانیه؛

ρ : چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب؛

C_p : گرمای ویژه هوا در فشار ثابت، برحسب کیلوژول بر کیلوگرم درجه کلوین؛

t_{di} : دمای هوای خشک ورودی بر حسب درجه سلسیوس؛

و راندمان مناسب، سهولت کاربرد جهت مصرف عامه، تطابق قابلیت‌ها با شرایط آب و هوایی اکثر نقاط کشور (به لحاظ گرمسیر و خشک بودن) عوامل موفقیت استفاده از انواع کولر آبی در کشور به حساب می‌آید و ضرورتی را برای جایگزینی کالاهای دیگر بصورت استفاده گسترده در قیاس با کولر آبی ایجاد ننموده است. همچنین قیمت مناسب آن (به جهت درآمد عمومی پایین در کشور ایران) و مصرف کم انرژی در مقایسه با سایر وسایل سرمایشی نظیر کولرهای گازی از جمله عواملی است که این محصول را در زمره پرمصرف ترین لوازم خانگی سرمایشی قرار داده است. همچنین این احتمال وجود دارد که تا چند سال آینده با ساخت و صدور محصولاتی که در حال حاضر در مرحله طراحی به سر می‌برند، نظیر کولرهای گازی با مصرف انرژی بسیار کم و قیمت مناسب، توسط کشور چین، به بازارهای جهانی و فراهم آمدن شرایط واردات آن به ایران بازار کولرهای آبی دستخوش تغییر شود. به هر حال هر یک از انواع متداول وسایل سرمایش محیط بر مبنای ظرفیت هوادهی و اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند که کولر آبی نیز از این امر مستثنی نمی‌باشد.

۲. گسترده‌ی کاربرد کولرهای آبی تولید داخل:

مطابق اطلاعات موجود در وزارت صنایع، خلاصه اطلاعات مربوط به تعداد و ظرفیت واحدهای فعال تولیدکننده کولر آبی در سطح کشور به تفکیک استان‌ها در جدول زیر ارائه شده است. طبق داده‌های مرکز آمار ایران بازار کولر آبی بسیار متمرکز است به نحوی که طی دوره (۱۳۸۱-۱۳۸۶) چهار بنگاه بزرگ به طور متوسط حدود ۸۷ درصد از بازار را در اختیار داشته‌اند.

جدول (۲): ظرفیت واحدهای تولیدی در سال ۱۳۸۶ به تفکیک

نام استان	ظرفیت تولید (دستگاه)
آذربایجان شرقی	۱۴۵۰۰۰
آذربایجان غربی	۱۰۰۰۰
اصفهان	۱۳۰۰۰۰
تهران	۴۴۶۳۰۰
چهارمحال بختیاری	۳۰۰۰۰۰
خراسان رضوی	۳۰۱۰۰۰
سمنان	۵۰۰۰۰
قزوین	۱۷۰۰۰۰
جمع کل	۱۵۵۲۳۰۰

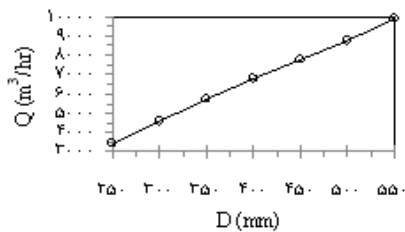
منبع: مرکز آمار ایران

کولرهای آبی، نوع و بازده پمپ آب در کولرهای آبی، اثر پولی، اثر برداشتن داکت هوایی از دهانه کولر، اثر واسطه تبخیر. کیفیت اثرگذاری پارامترها بر بازده کولر آبی:

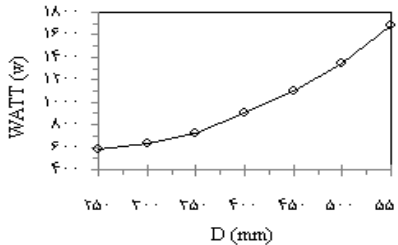
۱.۵. قطر پروانه کولر:

با افزایش قطر پروانه، میزان هوادهی کولر زیادتر می‌شود و در سرعت ثابت مقدار توان خروجی الکتروموتور و در نتیجه مقدار توان مصرفی آن افزایش می‌یابد. شاخص بازده انرژی هم در قطرهای کمتر از ۳۵۰ mm با افزایش قطر به دلیل غلبه افزایش میزان هوادهی کولر بر افزایش توان مصرفی زیاد می‌شود و در قطر پروانه حدود 350mm به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد اما پس از آن با افزایش توان مصرفی، شاخص EER کاهش می‌یابد.

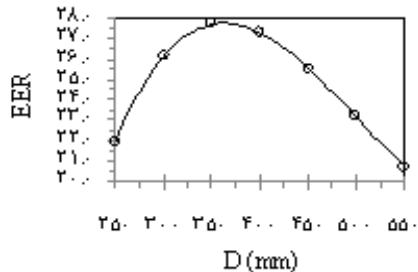
نمودار ۲: اثر تغییرات دبی با تغییر قطر پروانه



نمودار ۳: اثر تغییرات توان با تغییر قطر پروانه



نمودار ۴: اثر تغییرات EER با تغییر قطر پروانه



نکته ای که باید به آن دقت نمود آن است که مقدار متوسط قطر پروانه در کولرها کمی بیشتر از مقدار فوق می‌باشد (بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ میلیمتر). اهمیت این مسأله به ویژه در مورد کولرهای با ظرفیت هوادهی بالاتر مشهود است. علت این

۴. مشخصات فنی و بازده مصرف انرژی کولرهای آبی ساخت داخل:

بررسی کاتالوگ محصولات تولیدی و نتایج حاصل از آزمون‌های انجام شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی بر روی ۵۳ نمونه کولر آبی از تولیدکنندگان مختلف کشور، نشان دهنده این موضوع است که کولرهای آبی تولید داخل دارای ساختار و اصول عملکرد مشابهی بوده و بنابر این پارامترهای الکتریکی و مکانیکی کولرهای آبی با ظرفیت‌های یکسان تولیدکنندگان متفاوت، تقریباً از رفتار یکسانی برخوردار می‌باشند.

- ظرفیت هوادهی کولرهای آبی در بازه ۴۹۰۰ CFM - ۲۰۰۰ قرار دارد.
- فن‌های مورد استفاده در تمامی کولرهای آبی از نوع شعاعی می‌باشند.
- موتورهای الکتریکی مورد استفاده تک فاز بوده و دارای دو سرعت، ۹۵۰ rpm و ۱۴۲۵ rpm می‌باشند.
- پمپ‌های آب مورد استفاده دارای توان $\frac{1}{60}$ hp می‌باشند.
- بدنه و قسمت‌های فلزی کولرهای آبی از جنس ورق گالوانیزه می‌باشد.
- عموماً موتورهای الکتریکی مورد استفاده در کولرهای آبی دارای توان $\frac{1}{4}$ hp، $\frac{1}{3}$ hp، $\frac{1}{2}$ hp و $\frac{3}{4}$ hp می‌باشند.
- مقدار $td_i - td_o$ برای کولرهای آبی مورد آزمون در بازه ۱۰/۴ - ۱۲/۲ درجه سلسیوس قرار دارد.
- تقریباً تمامی کولرهای آبی تولیدی دارای رتبه G در برچسب انرژی بوده و EER آنها در بازه ۲۱ - ۳۳ قرار دارد.
- بیشترین EER مشاهده شده در نتایج آزمون‌های صورت گرفته ۳۳/۹۸ می‌باشد.
- متوسط EER کولرهای آبی مورد آزمون قرار گرفته ۲۷ می‌باشد.

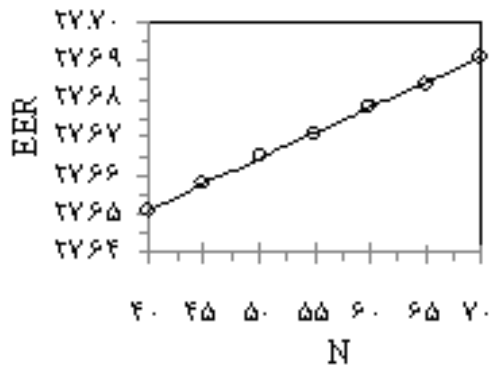
۵. شناسایی پارامترهای موثر بر مصرف انرژی کولرهای آبی:

پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف انرژی در کولرهای آبی عبارتند از: قطر پروانه کولر، عرض پروانه کولر، تعداد پره‌های پروانه، زاویه پره‌های پروانه، نوع و بازده الکتروموتور، سیستم انتقال نیرو در کولرهای آبی، یاتاقان‌بندی و جنس محور فن در

۳.۵. تعداد پره‌های پروانه:

با افزایش تعداد پره‌های پروانه، مقدار هوادهی کولر به میزان حدود ۱ درصد کاهش و توان مصرفی نیز در حد ۱ درصد کاهش می‌یابد، که نسبتاً ناچیز است. با تغییر تعداد پره‌های پروانه، دامنه تغییر شاخص EER کولر بسیار جزئی بوده و فقط در حد ۰/۱ درصد می‌باشد. لذا این پارامتر هم نمی‌تواند نقش موثری در بهبود عملکرد کولر داشته باشد و از تغییر آن صرف نظر می‌شود.

نمودار ۸: اثر تغییر تعداد پره‌های پروانه بر شاخص EER کولر



۴.۵. زاویه پره‌های پروانه:

با توجه به محدوده تغییرات بسیار گسترده زاویه پره پروانه در کولرها (اختلاف زاویه بین ورودی و خروجی پره‌ها) که بین ۸۰-۲۰ درجه می‌باشد، جهت بررسی از سه کولر مختلف که اختلاف زاویه ورودی و خروجی پره در پروانه آنها در حد نرمال محدوده تغییرات باشد استفاده شده است که نتایج آن به شرح جدول شماره ۷ می‌باشد.

این زاویه بهینه تحت تاثیر شرایط متعددی، مانند: فناوری ساخت و تولید قالب پروانه، میزان نویز و یا سر و صدای عملکردی کولر، جنس پروانه و ... تغییر می‌کند.

مسأله در آن است که با کاهش قطر پروانه، به جهت ضرورت داشتن دبی خروجی ثابت، می‌بایست سرعت چرخش آن بیشتر شود. افزایش سرعت چرخش پروانه کولر باعث تولید نویز و سر و صدای بیشتر در کولرهای آبی می‌شود که این امر یکی از اصلی‌ترین مشخصه‌های عملکردی کولرهای آبی به شمار می‌آید. لذا جهت کاهش نویز تولیدی هنگام کار کولر، افزایش هر چه بیشتر قطر پروانه کولر به عنوان تابع هدف منظور می‌گردد. در نتیجه، کاهش قطر پروانه به حدود ۳۵۰ mm که طبق نمودار ۴ به عنوان قطر بهینه جهت افزایش مقدار شاخص EER محاسبه شده است، به عنوان راهکار مناسبی جهت بهینه‌سازی عملکرد کولر پیشنهاد نمی‌شود و همین مقادیر فعلی قطر (۳۵۰-۴۰۰ میلی‌متر) که شرکت‌های مختلف در ساخت پروانه‌های کولر از آنها استفاده می‌کنند، به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته می‌شود. این عدد بسته به استحکام بدنه کولر و نیز میزان حساسیت شرکت‌های تولیدی به نویز و سر و صدای کولر در هنگام استفاده، انتخاب می‌شود.

۲.۵. عرض پروانه کولر:

با تغییر عرض پروانه، میزان هوادهی کولر فقط در حدود ۵ درصد و توان مصرفی هم حدود ۳ درصد تغییر می‌یابد. تاثیر تغییر عرض پروانه بر شاخص EER در حدود ۰.۳ درصد و بسیار ناچیز است.

باید در نظر داشت که افزایش عرض پروانه (با فرض ثابت ماندن سطح جانبی کولر) باعث بروز مشکلاتی مانند: پاشش آب بر روی تسمه انتقال نیرو، پاشش آب بر روی یاتاقانها، مشکل شدن بالانس پروانه و ... خواهد شد. لذا تغییر این پارامتر نیز به عنوان راهکاری مناسب و موثر برای افزایش کارایی کولر پیشنهاد نمی‌شود.

منبع: [۵]

جدول (۵) - اثر تغییرات زاویه بر عملکرد کولر

نتیجه	کاهش زاویه پره ۲۰°			افزایش زاویه پره ۲۰°			زاویه مبدأ	نوع الکتروموتور کولر	ظرفیت کولر
	$\frac{\Delta EER}{\Delta Q}$	ΔQ	ΔEER	$\frac{\Delta EER}{\Delta Q}$	ΔQ	ΔEER			
شرایط فعلی تقریباً مطلوب است	0.27	167 ↓	0.47 ↑	نامطلوب	42 ↓	نامحسوس	۶۰°	۱/۳ HP و خازن دار	۳۰۰۰
		7.5 % ↓	2 % ↑		1.8 % ↓				
شرایط فعلی مطلوب است	نامطلوب	208 ↓	0.8 ↓	نامطلوب	83 ↓	0.07 ↓	۴۵°	۱/۲ HP و خازن دار	۵۰۰۰
		6.7 % ↓	2.7 % ↓		2.7 % ↓	0.2 % ↓			
شرایط فعلی اندکی قابل اصلاح است	نامطلوب	249 ↓	0.27 ↓	2	41 ↓	0.42 ↑	۴۰°	۳/۴ HP و گاورنردار	۷۰۰۰
		5.6 % ↓	1.2 % ↓		0.9 % ↓	1.8 % ↑			

گریز از مرکز وجود ندارد و سیم پیچ راه انداز که در این حالت کمکی نامیده می شود، به طور دائم در مدار باقی می ماند. در این نوع الکتروموتور سیم پیچ کمکی با یک خازن به صورت سری در مدار قرار می گیرد. این موتورها گشتاور راه انداز کمتری در مقایسه با انواع الکتروموتورهای فاز شکسته دارند. نویز الکتریکی و مکانیکی تولید شده توسط این نوع الکتروموتورها نیز کمتر است و راندمان آنها در مقایسه با انواع الکتروموتورهای فاز شکسته بیشتر است.

۵-۳-۵-۳ مقایسه نتایج مربوط به تغییر نوع الکتروموتور: در این قسمت نتایج مربوط به مقایسه الکتروموتورها آمده است (جدول ۸).

۶.۵. سیستم انتقال نیرو در کولرهای آبی:

سیستم انتقال نیرو در کولرهای آبی، حرکت دورانی و گشتاور شفت الکتروموتور را به بلوئر (فن کولر) انتقال می دهد. این سیستم در حالت فعلی تسمه و پولی می باشد. همان گونه که در جدول شماره ۹ ملاحظه می گردد، کشش بیش از حد تسمه باعث کاهش EER (هر چند به مقدار کم) می شود. نکته مهم تعیین این حد استاندارد می باشد و اینکه کشش تسمه بر روی کولر چگونه باید تعیین شود. مطابق استاندارد کولرهای آمریکایی کشش تسمه باید به گونه ای باشد که با فشار $1/5 \text{ Kg}$ بر روی تسمه (در وسط فاصله پولی موتور و بلوئر) مقدار جابجایی آن 2 cm باشد.

نحوه بستن تسمه	EER	میزان هوادهی (cfm)	سرعت هوا (m/s)	توان مصرفی (w)
استاندارد	۲۱/۹	۲۲۴۵	۵/۴	۵۹۰
بیش از حد	۲۱/۳	۲۲۴۰	۵/۴	۶۰۵

۷.۵. یاتاقان بندی و جنس محور فن در کولرهای آبی:

در کولرها، یاتاقان بندی در سه قسمت از ساختمان کولر انجام می شود:

- یاتاقان بندی الکتروموتور محرک فن
- یاتاقان بندی فن اصلی کولر
- یاتاقان بندی پمپ آب کولر

الکتروموتور کولر دارای دو یاتاقان جلو و عقب می باشد. یاتاقان عقب می تواند هم از جنس بلبرینگ و هم از جنس بوش باشد. چنانچه از بوش در این یاتاقان استفاده شود، بهتر است از نوع زینتر و یا باییت استفاده شود و اگر از بلبرینگ

می توان این نتیجه گیری کلی را داشت که شکل کل پروانه که در جداول و استانداردهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند، با توجه به فناوری های تولیدی مورد استفاده توسط شرکت های کولر ساز، مواد مصرفی، شکل خارجی کولر، اولویت عملکرد دور تند و کند و ... می توانند انتخاب شوند و از آنها نباید به عنوان یک پارامتر ثابت در بهبود شاخص EER استفاده کرد. به عبارت دیگر هیچگونه الزامی بر روی شکل پروانه برای بهبود EER نمی توان قائل شد.

۵.۵. نوع الکتروموتور:

الکتروموتورهای مورد استفاده در انواع کولرهای آبی عموماً از نوع القایی و تکفاز هستند. علت استفاده از این نوع الکتروموتورها در کولر، پایین بودن هزینه نگهداری آنها (در مقایسه با سایر انواع الکتروموتورها) و ارزان بودن قیمت اولیه آنها و نیز عدم نیاز به برق سه فاز در کلیه منازل مسکونی می باشد. این نوع الکتروموتورها در حالت کلی به دو نوع خازن دائم و فاز شکسته تقسیم بندی می شوند.

ردیف	نوع الکتروموتور	EER	میزان هوادهی (cfm)	توان مصرفی (w)
۱	HP 1/3 خازن دار	۲۳/۷	۲۲۴۵	۵۴۵
۲	HP 1/3 فاز	۲۱/۹	۲۲۴۵	۵۹۰
۳	HP 1/2 خازن دار	۲۹/۱۹	۳۱۱۸	۶۱۵
۴	HP 1/2 فاز	۱/۴۷	۳۰۳۵	۶۶۰
۵	HP 3/4 خازن دار	۱/۷۳	۴۵۷۷	۹۸۵
۶	HP 3/4 فاز	۱/۰۷	۴۴۴۸	۱۱۱۰

۱.۵.۵. الکتروموتورهای فاز شکسته:

در این نوع الکتروموتورها استاتور از دو سیم پیچ متعامد تشکیل شده است که یکی سیم پیچ اصلی و دیگری سیم پیچ راه اندازی نام دارد. در مدار سیم پیچ راه انداز یک کلید گریز از مرکز وجود دارد که وقتی دور موتور به ۷۵ تا ۸۰ درصد دور سنکرون می رسد، کلید عمل کرده و سیم پیچ کمکی از مدار خارج می شود. گشتاور راه انداز در این نوع الکتروموتورها بیشتر از گشتاور نامی آنهاست و جریان راه انداز بسیار زیادی دارند (حدود ۵ تا ۶ برابر جریان نامی). از سوی دیگر، این نوع موتورها دارای راندمان نسبتاً پایین تری در مقایسه با سایر انواع الکتروموتورهای القایی هستند.

۲.۵.۵. الکتروموتور با خازن دائمی:

در این نوع الکتروموتورها همانند الکتروموتورهای فاز شکسته، استاتور از دو سیم پیچ متعامد تشکیل شده است ولی کلید

استفاده می شود، بهتر است از نوع 2Z و مقاوم در برابر رطوبت استفاده گردد.

یاتاقان درپوش جلوی کولر نیز می تواند از نوع بوش و یا بلبرینگ باشد. در این نوع درپوش استفاده از بلبرینگ ارجحیت دارد زیرا فشار تسمه مستقیماً بر روی این یاتاقان می باشد و چنانچه از بوش استفاده شود ممکن است در راه اندازی کولرهایی که الکتروموتور خازن دائم دارند مشکلاتی به وجود آید. (گشتاور راه اندازی در این نوع الکتروموتورها نسبتاً پایین است). چنانچه از بوش در درپوش جلو استفاده شود، می بایست بوش استوانه ای در آن تعبیه نمود.

تقریباً در کلیه کولرها جهت یاتاقان بندی فن از بوش استفاده می شود. اینکه در الکتروموتور کولر می توان از بلبرینگ استفاده کرد اما استفاده از آن در فن کولر جایز نیست، بدین دلیل است که نیروی چرخشی الکتروموتور توسط تسمه (جسم غیر صلب) به فن منتقل می شود و این مسئله باعث می گردد تا قسمت عمده ای از نويز موتور در این مسیر حذف شود و در حلزونی فن تشدید نگردد. بهتر است بوش های مورد استفاده در فن از نوع کرومی باشند تا تنظیم فن راحت تر صورت پذیرد. جنس این بوشها نیز معمولاً از نوع گرافیتی یا زینتر شده (Zintred) می باشد. استفاده از بلبرینگ علاوه بر مشکل نويز، مسئله زنگ زدن را نیز به همراه دارد. بلبرینگ یاتاقانهای فن بر خلاف یاتاقانهای الکتروموتور در معرض پاشش مستقیم ذرات آب می باشند، لذا هر نوع بلبرینگ (البته از نوع متعارف) احتمال زنگ زدگی و در نتیجه گیر کردن و از کار افتادن را دارد. یاتاقان بندی پمپ آب می

ارزانی قیمت معمولاً از نوع بوش استفاده می شود. با توجه به نحوه قرار گرفتن این پمپ در کولر (به صورت عمودی) و نیروی ناچیزی که به آن اعمال می شود، این یاتاقان بندی نسبت به دو مورد قبلی از اهمیت کمتری برخوردار است.

محور فن نیز از اجزاء مهم و حساس در کولر است که در کیفیت عملکرد کولر و عمر مفید آن نقش موثری دارد. در حال حاضر برخی از تولید کنندگان داخلی از لوله آب (!) بجای این محور استفاده می کنند.

این محور می بایست بدون تاب بوده و میزان لقی بین محور و بوش بر اساس استاندارد باشد. میزان لقی مجاز بین بوش و محور با توجه به قطر محور تعیین می شود. کم بودن این لقی باعث افزایش اصطکاک در محل یاتاقان شده و زیاد بودن آن نیز باعث ایجاد نويز و سر و صدا هنگام چرخش فن خواهد شد.

۸.۵. پمپ آب در کولرهای آبی:

در حال حاضر الکتروموتورهای پمپ آب کولرهای آبی موجود در کشور از نوع القایی قطب چاکدار می باشند. توان خروجی آنها در حدود ۱۰ W در دور ۲۴۰۰ rpm و راندمان تقریبی آنها حدود ۱۷٪ است. گشتاور راه انداز این الکتروموتورها حدود ۰/۱۷ N.m می باشد.

در حقیقت می توان از یک الکتروموتور (Permanent Magnet) PM بجای الکتروموتور قطب چاکدار استفاده کرد. الکتروموتور PM بر خلاف الکتروموتورهای القایی از نوع سنکرون است لذا دور نامی آن ۳۰۰۰ rpm می باشد و این مسئله برای پمپ آب که از نوع سانتریفوژ است بهتر بوده و راندمان پمپ را افزایش می دهد. راندمان الکتروموتور PM حدود ۵۰٪ است.

این الکتروموتور هنگام اتصال به پمپ آب کولر توان ۲۰ W مصرف می نماید که بیش از ۳۰ W کمتر از توان مصرفی الکتروموتور با قطب چاکدار می باشد.

برای بررسی دقیقتر و عملی موضوع، در سه نوع کولر ۳۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ مورد بررسی یک بار از الکتروموتور قطب چاکدار و یک بار از نوع PM جهت پمپاژ آب استفاده کرده و شاخص EER حاصله با یکدیگر مقایسه شده است.

پمپ آب بکار برده شده در کولرهای آبی از نوع سانتریفوژ است. این نوع پمپ دارای ۴ پره می باشد که دور نامی آن حدود ۲۴۰۰ rpm است. ساختار پمپ آب کولر بسیار ساده و در عین حال ارزان قیمت بوده و براحتی تعمیر می شود.

نوع کولر مورد تست	الکتروموتور پمپ آب مصرفی	EER	میزان هوادهی (cfm)	توان مصرفی (w)
۳۰۰۰ با الکتروموتور اصلی از نوع خازن دائم	قطب چاکدار	۲۳/۷	۲۲۴۵	۵۴۵
۳۰۰۰ با الکتروموتور اصلی از نوع خازن دائم	PM	۲۵/۰۸	۲۲۴۵	۵۱۵
۵۰۰۰ با الکتروموتور اصلی از نوع خازن دائم	قطب چاکدار	۲۹/۱۹	۳۱۱۸	۶۱۵
۵۰۰۰ با الکتروموتور اصلی از نوع خازن دائم	PM	۳۰/۷۹	۳۱۱۸	۵۸۳
۷۰۰۰ با الکتروموتور اصلی از نوع خازن دائم	قطب چاکدار	۲۶/۷۳	۴۵۷۷	۹۸۵
۷۰۰۰ با الکتروموتور اصلی از نوع خازن دائم	PM	۲۷/۷	۴۵۷۷	۹۵۰

تواند هم از نوع بوش و هم از نوع بلبرینگ باشد ولی به جهت

۹.۵. اثر پولی:

نیروی محرک الکتروموتور توسط ۲ پولی و یک تسمه به فن اعمال می گردد. نکته مهم در مورد تاثیر پولی در این انتقال نیرو، در واقع تاثیر نسبت قطر پولی ها می باشد. لذا جهت راحتی کار و درک بهتر مسئله، قطر پولی متصل به فن را ثابت در نظر گرفته و فقط قطر پولی الکتروموتور تغییر داده می شود. افزایش قطر پولی الکتروموتور باعث افزایش دور فن و در نتیجه افزایش میزان هوادهی می شود. ولی این مسئله همزمان باعث افزایش توان ورودی به الکتروموتور نیز می شود. بر عکس، کاهش قطر همین پولی باعث کاهش میزان هوادهی و کاهش توان ورودی به الکتروموتور می گردد.

با توجه به تفاوت منحنی دینامومتری الکتروموتورهای خازن دائم و فاز شکسته این مسئله می تواند پاسخ های متفاوتی در کولر (از لحاظ بررسی EER) داشته باشد.

نتایج حاصل از بررسی تغییر قطر پولی بر روی مدلهای مختلف کولرهای آبی با الکتروموتورهای خازن دائم و فاز شکسته نشان می دهد که بهترین روش برای تعیین قطر بهینه پولی در کولرها، استفاده از روش تجربی سعی و خطاست و کولر سازها می بایست با انجام تست های مختلف (بسته به نوع الکتروموتور مصرفی) سایز پولی مناسب را برای الکتروموتور و فن تولیدی خود انتخاب نمایند.

مسئله مهم دیگری که در انتخاب پولی باید مورد دقت قرار گیرد مربوط به محل نصب کولر می باشد. به عبارت دیگر ممکن است یک کولر با شاخص EER بالا تولید شود ولی عملاً هنگام استفاده EER آن افت نماید. در عمل هنگام استفاده و نصب کولرها ممکن است شرایط به گونه ای باشد که باعث افت دور الکتروموتور نسبت به دور نامی گردد. این مسئله باعث کاهش شاخص EER کولر از مقدار نامی آن می گردد.

۱۰.۵. اثر واسطه تبخیر:

جهت مقایسه اثر استفاده از پوشال و سلولز نسبت به یکدیگر بر عملکرد کولر به یک نمونه تست انجام شده در اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران که بر روی کولر ۵۰۰۰ با واسطه تبخیری سلولزی انجام شده است، اشاره می کنیم. بر اساس توافق انجام شده هنگام اندازه گیری EER در کولرهایی که واسطه تبخیری آنها پوشالی است اختلاف دمای خشک ورودی و خروجی 12°C در نظر گرفته می شود. در هنگام انجام آزمون بر روی کولر با پد سلولزی این عدد $12/5^{\circ}\text{C}$ اندازه گیری شده است. به عبارت دیگر تاثیر محسوسی

در اختلاف دمای ورودی و خروجی هنگام استفاده از پوشال یا پد سلولزی مشاهده نمی شود.

استفاده از واسطه تبخیری سلولزی به جهت طبیعت آن باعث توزیع یکنواخت آب روی سطح آن می شود. این مسئله به ویژه با گذشت زمان - که در پوشال باعث ایجاد تغییر شکل شده و مانع رسیدن آب به تمام سطوح آن می شود - قابل تامل می باشد. یعنی احتمال کاهش EER کولرهای مجهز به واسطه تبخیری سلولزی به مرور زمان، کمتر از انواع پوشالی می باشد.

۶. بررسی تجربی افزایش راندمان در کولرهای آبی:

در این قسمت به بررسی عملی اثر برخی از راهکارهای فوق که توام با یکدیگر در برخی از پرتیراژ ترین کولرهای تولیدی کشور به کار گرفته شده است می پردازیم. همانطور که در جدول زیر مشاهده می شود با اجرای این راهکارها به طور متوسط به ازای هر دستگاه ۱۲۳ کیلووات ساعت و در پیک ۸۵.۵ وات کاهش مصرف خواهیم داشت. مهمترین و موثرترین راهکارهای استفاده شده در این شرکت ها تعویض الکتروموتور و الکتروپمپ ها با انواع کم مصرف آن می باشد. از دیگر راهکارهای به کار رفته می توان به استفاده از سیستم آبرسانی مناسب با دبی خروجی بالا، استفاده از آبریز دابل اشکی، استفاده از پوشال مناسب، طراحی زاویه مناسب برای فن ها، طراحی و ساخت یاتاقانها با جنس مناسب، انتخاب زوایا و ابعاد مناسب در قطعات تسمه، پولی موتور و پولی بلور، تولید بلور با کیفیت و دقت بالا و بالانسی صد در صد بلورها، بهینه نمودن طراحی ناخنیها، کاهش وزن بلور اشاره نمود.

۷. تحلیل هزینه - فایده اجرای راهکارها

براساس اطلاعات جداول می توان متوسط تغییرات EER و هزینه های افزایش کارایی سه ظرفیت مهم تولیدی کشور (۳۵۰۰، ۵۵۰۰ و ۷۵۰۰ cfm) را در جدول خلاصه کرد. همچنین با توجه به آمارها و نمونه گیری های انجام شده می توان نسبت تولید هر مدل را مشخص و براساس اطلاعات جدول (۴) تعداد تولید هر محصول را در پنج سال ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۳ مشخص کرد. براساس ارقام مندرج در جدول (۹) در هر ظرفیت به ترتیب ۱۷۶،۲۴۱ و ۲۰۵ کیلووات ساعت صرفه جویی خواهیم داشت. براین اساس ارزش ریالی صرفه جویی برای کولر های تولیدی هر سال برابر ۶۹۶ میلیارد ریال و ارزش سرمایه گذاری ۵۴۶ میلیارد ریال است.

جدول (۶) - هزینه و منافع افزایش کارایی در کولر با ظرفیت نامی ۳۵۰۰ CFM در چهار محصول عمده تولیدی کشور

ردیف	مدل محصول	EER کنونی محصول	EER قابل تحقق	افزایش EER	کاهش توان به ازاء هر دستگاه (وات)	کاهش مصرف انرژی به ازاء هر دستگاه (KWh)	صرفه جویی ریالی به ازاء هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری ثابت به ازای هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری جاری به ازای هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری جاری به ازای هر دستگاه (ریال)
۱	A	۳۰	۴۹	۱۹	۱۹۰	۲۷۳.۶	۲۲۷۶۰۰	۱۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۱۰۰۰۰
۴	B	۲۷	۳۷	۱۰	۱۵۰	۲۱۶	۱۷۹۷۰۰	۱۲۵۰۰	۱۲۰۰۰۰	۱۳۲۵۰۰
۲	C	۲۷	۳۴	۷	۱۱۰	۱۵۸.۴	۱۳۱۸۰۰	۶۶۶۷	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶۶۶۶.۷
۳	D	۲۸	۳۲	۴	۴۰	۵۷.۶	۴۷۹۰۰	۱۰۰۰۰	۷۰۰۰۰	۸۰۰۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (۷) - هزینه و منافع افزایش کارایی در کولر با ظرفیت نامی ۵۵۰۰ CFM در دو محصول عمده تولیدی کشور

ردیف	مدل محصول	EER کنونی محصول	EER قابل تحقق	افزایش EER	کاهش توان به ازاء هر دستگاه (وات)	کاهش مصرف انرژی به ازاء هر دستگاه (KWh)	صرفه جویی ریالی به ازاء هر دستگاه (هزار ریال)	ارزش سرمایه گذاری ثابت به ازای هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری جاری به ازای هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری جاری به ازای هر دستگاه (ریال)
۱	E	۲۸	۳۶	۸	۱۷۰	۲۴۴.۸	۲۰۳۷۰۰	۱۱۰۰۰	۱۰۵۰۰۰	۱۱۶۰۰۰
۲	F	۳۰	۳۵	۵	۱۶۵	۲۳۷.۶	۱۹۷۷۰۰	۱۲۵۰۰	۸۰۰۰۰	۹۲۵۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (۸) - هزینه و منافع افزایش کارایی در کولر با ظرفیت نامی ۷۰۰۰ CFM در دو محصول عمده تولیدی کشور

ردیف	مدل محصول	EER کنونی محصول	EER قابل تحقق	افزایش EER	کاهش توان به ازاء هر دستگاه (وات)	کاهش مصرف انرژی به ازاء هر دستگاه (KWh)	صرفه جویی ریالی به ازاء هر دستگاه (هزار ریال)	ارزش سرمایه گذاری ثابت به ازای هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری جاری به ازای هر دستگاه (ریال)	ارزش سرمایه گذاری جاری به ازای هر دستگاه (ریال)
۱	G	۳۱	۳۸	۷	۱۹۰	۲۷۳.۶	۲۲۷۶۰۰	۱۲۵۰۰۰	۱۲۴۰۰۰	۱۳۷۴۰۰
۲	H	۳۲	۳۹	۷	۹۵	۱۳۶.۸	۱۱۳۸۰۰	۱۷۰۰۰	۹۰۰۰۰	۱۰۷۰۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

۸. جمع بندی و نتیجه گیری:

- با تحلیل نتایج تست های انجام شده بر روی کولرهای مختلف جهت بررسی اثر تغییرات پارامترهای عملکردی بر شاخص EER کولر، می توان راهکارهای کلی زیر را در خصوص افزایش EER کولرها پیشنهاد نمود:
- مهمترین عامل افزایش شاخص EER در کولرها استفاده از موتورهای با راندمان بالا (هم الکتروموتور فن و هم الکتروموتور پمپ آب) می باشد.
- استفاده از مواد اولیه مناسب و با کیفیت بالا در ساخت قطعات و تجهیزات کولر ضروری است زیرا این امر به ویژه با گذشت زمان مانع از کاهش شاخص EER کولرها خواهد شد.
- دقت کافی هنگام مونتاژ و نصب کولر و انجام صحیح تنظیمات.
- استفاده از پولی با قطر متغیر و تنظیم پذیر.
- تدوین استاندارد و الزام آن جهت نصب کانالهای مناسب و صحیح برای کولرها.
- سایر موارد ذکر شده در گزارش می تواند به عنوان یک راه حل خاص برای یک نوع کولر جهت افزایش شاخص EER آن مورد استفاده قرار گیرد و جنبه عمومی ندارد.
- به عبارت دیگر هر کولر ساز با در نظر گرفتن شرایط و محدودیتهای خاص خود اقدام به طراحی و ساخت کولری با

مشخصات خاص می‌نماید، ولی اعمال راهکارهای فوق در تمامی کولرها باعث افزایش شاخص EER آنها خواهد شد. به‌طور متوسط هر کولر آبی ۱۰ سال عمر مفید خواهد داشت. به این ترتیب زمان بازگشت سرمایه در این پروژه کمتر از یک سال و خالص ارزش حال NPV سرمایه‌گذاری برای ارتقای کارایی کولرهای آبی در طول چرخه عمر برابر ۱۳۹۶۲ میلیارد ریال خواهد بود. لذا توجه به ارتقای کارایی چه از سوی مصرف‌کنندگان و چه از سوی تولیدکنندگان و یا دولت ضرورتی انکارناپذیر است که با سرمایه‌گذاری اندک باعث تامین منافع ملی خواهد شد.

جدول (۹) - ارزش صرفه جویی متوسط و سرمایه‌گذاری برای هر دستگاه

رده نامی ظرفیت کولر	متوسط کاهش مصرف انرژی به ازاء هر دستگاه	متوسط صرفه جویی ریالی به ازاء هر دستگاه	ارزش سرمایه‌گذاری ثابت به ازای هر دستگاه	ارزش سرمایه‌گذاری جاری به ازای هر دستگاه	ارزش سرمایه‌گذاری
CFM	(KWh)	(ریال)	(ریال)	(ریال)	(ریال)
۳۵۰۰	۱۷۶.۴	۱۴۶۷۵۰	۹۷۹۱	۱۴۷۵۰۰	۱۵۷۲۹۱
۵۵۰۰	۲۴۱.۲	۲۰۰۷۰۰	۱۱۷۵۰	۹۲۵۰۰	۱۰۴۲۵۰
۷۵۰۰	۲۰۵.۲	۱۷۰۷۰۰	۷۱۰۰۰	۱۰۷۰۰۰	۱۲۲۲۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

جدول (۱۰) - ارزش کل صرفه جویی متوسط و سرمایه‌گذاری

رده ظرفیت کولر	تولید سال درینج (دستگاه)	ریالی ارزش صرفه جویی (میلیارد ریال)	سرمایه ارزش گذاری (میلیارد ریال)
ظرفیت نامی ۳۵۰۰	۱,۸۵۳,۱۵۸	۲۷۲	۲۹۱
ظرفیت نامی ۵۵۰۰	۱,۲۳۵,۴۳۸	۲۴۸	۱۲۹
ظرفیت نامی ۷۵۰۰	۱,۰۲۹,۵۳۲	۱۷۶	۱۲۶
جمع	۴,۱۱۸,۱۲۸	۶۹۶	۵۴۶

منبع: محاسبات تحقیق

فهرست منابع:

۱. استاندارد ملی به شماره ۲-۴۹۱۰؛ «کولر آبی - روش اندازه‌گیری مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی»
۲. استاندارد ملی به شماره ۲۴۳۶؛ «ویژگیها و روشهای آزمون کولر آبی»
۳. استاندارد ملی به شماره‌های ۴۹۱۰ و ۴۹۱۱؛ «کولر آبی: ویژگیها و روشهای آزمون»
۴. دودابی‌نژاد، امیر (۱۳۸۸)، «بهینه‌سازی مصرف انرژی کولر آبی»، سازمان بهره‌وری انرژی ایران (ساب).
۵. سازمان بهره‌وری انرژی ایران (۱۳۸۹)، بررسی روش‌های افزایش کارایی مصرف انرژی در کولرهای آبی
۶. سازمان صنایع کوچک و شهرکهای صنعتی ایران، مرکز گسترش فناوری اطلاعات (مگفا) تابع سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، امکانسنجی مقدماتی کولرهای آبی، تابستان ۱۳۸۶.
۷. شرکت الکتروژن (۱۳۸۸)، «بکارگیری الکتروموتورهای القایی خازن دائم بجای الکتروموتورهای سوئیچ گاورنر».
۸. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران؛ «معیارها و مشخصات فنی مصرف انرژی و برچسب انرژی موتورهای الکتریکی القایی تک‌فاز».