کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

لزوم وجود برچسب بازده اقتصادی آب مصرفی در وسایل خانگی از جمله کولرهای آبی و راهکارهای عملی برای بالا بردن این بازده

بهزاد امیدی کاشانی [۱]

۱- استادیار گروه مهندسی مکانیک – دانشکده مهندسی – دانشگاه بیرجند
B.KASHANI@BIRJAND.AC.IR

خلاصه

با توجه به خشکسالی های اخیر و افزایش همزمان مصرف منابع آب و انرژی در کشور، وجود برنامه ریزی های منظم و هدفمند برای کنترل مصرف منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر لازم به نظر می رسد. در دهه های گذشته توجه بیشتری بر کنترل مصرف انرژی خصوصا حامل های انرژی چون سوخت های مایع و گازی بوده که در صنایع حمل و نقل و تولید انرژی الکتریسیته کاربرد دارند ولی توجه کمتری بر روی منابع آبی تجدید ناپذیر صورت گرفته است. مقدار ۱۰ الی ۲۰ درصد آب مصرفی دارای کاربری خانگی هستند. در مصارف خانگی می توان به کاربری های مهم از جمله کولرهای آبی و دوش و شیرآلات و سرویس های دستشویی و توالت ها و ظرفشویی و لباس شویی ها اشاره کرد که عمده ی مصرف آب در کولر آبی می باشد. کولرهای آبی تولیدی ایران از سال ۱۳۷۸ دارای برچسب انرژی شده اند ولی مصرف آب در این وسایل خصوصا کولرهای آبی فاقد برچسب بازده اقتصادی آب می باشند. در این مقاله تعریف برچسب آب برای اولین بار برای این کولرها معرفی و مقادیر بازده اقتصادی آب مصرفی در این کولرها پیدا شده و راه کارهایی عملی برای افزایش این بازده نیز پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: برچسب بازده اقتصادی آب، کولرهای آبی، تولیدی ایران، برچسب انرژی

۱. مقدمه

در کولرهای تبخیری از نوع مستقیم ، مطابق شکل ۱، برای محاسبه برچسب انرژی از تعریف نسبت بارزده اشباع [۲] (ε) به شرح زیر استفاده شده است:

$$\varepsilon = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t'_1} \qquad (۱)$$

که در آن t_1 , t_2 دماهای خشک ورودی و خروجی از کولر و t'_1 دمای تر ورودی می باشد. معمولا مقادیر این بازده حدود ۷۰ الی ۸۵ درصد می باشد. طبق تعریف فوق، این بازده رابطه ای با برق مصرفی ندارد [۱ الی ۳].

همچنین آهنگ دبی آب مصرفی در کولرهای آبی از رابطه زیر در منحنی سایکومتریک پیدا می شود:

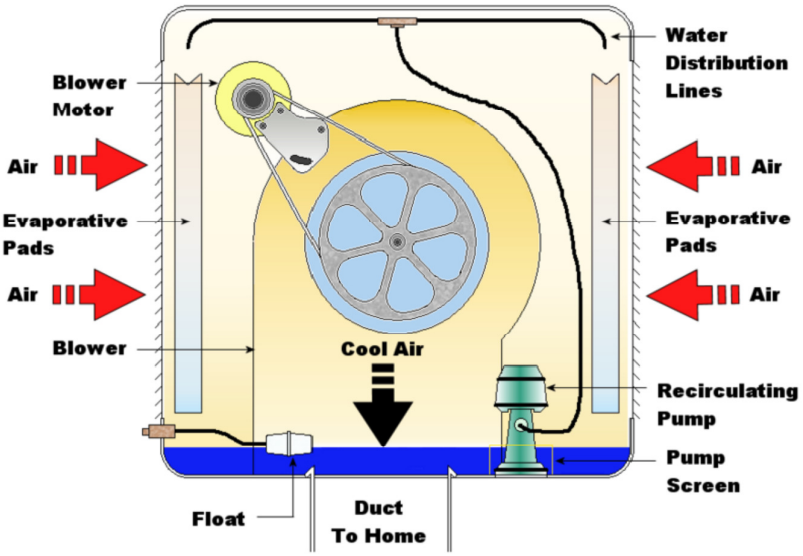
$$\dot{m}_w = \frac{\rho . \dot{V} . (w_2 - w_1)}{1000} \qquad (۲)$$

که ρ دانسیته هوا، $\dot{V}$ دبی هوای عبوری از دستگاه (m^3/hr) ، w_2 و w_1 مقادیر مطلق رطوبت هستند و $\dot{m}_w$ دبی جرمی آب تبخیری شده (دبی آب مصرفی) کیلوگرم بر ساعت می باشد.

---

[۱] استادیار گروه مهندسی مکانیک – دانشکده مهندسی – دانشگاه بیرجند

[۲] - Evaporation Effectiveness Ratio



شکل ۱- نمای یک کولر تبخیر مستقیم

این راهنما به منظور استفاده مولفین مقالات کامل برای نوشتن مقالات فارسی مطابق الگوی استاندارد و واحد این گردهمایی تهیه شده است. رعایت این ضوابط برای همه مولفین محترم اجباری است. توجه نمایید که متن حاضر نیز با رعایت همین ضوابط تهیه شده است و می‌تواند جهت نمونه عملی مورد استفاده قرار گیرد (البته پس از حذف علائم و توضیحات راهنمای اضافی).

برای نگارش مقالات فارسی ضروری است از نرم افزار Word 2007 در محیط Windows استفاده شود. از فونت (B Zar 10pt) و فاصله خطوط single در تهیه متن اصلی مقاله استفاده گردد. متن مقاله بصورت تک ستونی و با حاشیه ۳۰ میلیمتر از راست و ۲۵ میلیمتر از چپ و ۳۰ میلیمتر از بالا و پایین تهیه گردد. عنوان هر بخش با فونت (B Titr 10pt)، با شماره بخش و با فاصله دو خط خالی از بخش قبلی و یک خط خالی از متن نوشته شود. اولین خط همه پاراگراف‌ها، بجز اولین پاراگراف بعد از متن، بصورت هماهنگ ۱۰ میلیمتر فرورفتگی داشته باشد.

۲. مروری بر قوانین و استانداردها

۲-۱- قانون استرالیا – استاندارد شماره :AS/NZS 2913-2000 که در آن مقادیر دبی جرم هوای عبوری و بازده اشباع (ε)، اندازه گیری صدا و قدرت برق مصرفی اندازه گیری می شود[۴].

در این استاندارد بازده اشباع درجه بندی شده و برای این درجه بندی دمای خشک و مرطوب بیرون به ترتیب ۳۸ و ۲۱ درجه سانتیگراد تعیین شده و دمای اتاق نیز در ۲۷,۴ ثابت نگه داشته می شوند. قدرت توان الکتریکی دستگاه کولر نیز در طی محاسبه بازده اشباع یادداشت می شود. ولی هیچ درجه بندی انرژی صورت نمی گیرد و در ضمن طبق این استاندارد هیچ نیازی به اندازه گیری مصرف آب در آن نمی باشد.

۲-۲- قانون امریکا- استاندارد شماره ANSI/ASHRAE Standard 133-2008 که طبق این استاندارد کولرهای تبخیر مستقیم مورد ارزیابی قرار می گیرند. در این آزمایش طبق شرایط خاص برای ورودی کولر، دبی جرم هوا و کل قدرت برق مصرفی و اجزای الکتریکی بررسی می شود. همچنین اختلاف فشار در بین ورودی و خروجی کولر، دانسیته هوا، سرعت دوران فن هوا در این استاندارد اندازه گیری می شوند. در این آزمایش دبی آب مصرفی و میزان هدایت اکتریکی آب به عنوان یک عامل مهم انازه گیری کیفیت اب اندازه گیری می شوند. در این آزمایش دمای ورودی حداکثر ۴۵ درجه سانتیگراد و دمای تر حداقل می تواند ۵ درجه سانتیگراد باشد. حداقل بین این دو دما برابر ۱۱ درجه سانتیگراد مجاز می باشد. میزان هدایت الکتریسیته آب می بایست بین ۳۵۰ الی ۳۵۰۰ µS باشد.

۲-۳- استاندارد امریکایی به شماره United States ANSI/ASHRAE Standard 143-2000: برای کولرهای تبخیری غیر مستقیم به کار می رود و در این استاندارد آهنگ جریان هوای اولیه و ثانویه و دماهای خشک و تر هر دوی هوای اولیه و ثانویه در ورود و خروج مبدل حرارتی و نهایتا توان برق مصرفی نیز اندازه گیری می شود ولی دبی آهنگ آب مصرفی نیز اندازه گیری نمی شود.

۲-۴- قوانین بازده وسایل خانگی کالیفرنیا

در این قوانین نسبت بازده کولرهای تبخیری (ECER)[۱] مطابق معادله زیر پیدا می شود:

در این معادله دمای خشک و تر ورودی به کولر به ترتیب برابر ۳۲,۸ و ۲۰,۶ درجه سانتیگراد ثابت نگه داشته شده و دمای اتاق که خروجی دستگاه به آن وارد می شود برابر ۲۶,۷ درجه سانتیگراد می باشد.

$$ECER = 1.08 \times (t_{room} - (t_{db} - \varepsilon \times (t_{db} - t_{wb}))) \times Q/W \quad (۳)$$

که در این معادله t_{room} دمای خشک اتاق (°C)، t_{db} دمای خشک ورودی به کولر (°C)، t_{wb} دمای تر ورودی به کولر (°C)، ε بازده اثرپذیری اشباع، Q دبی جریان هوا (cfm) و W کل برق مصرفی توسط دستگاه کولر(W) می باشد. همچنین آهنگ مصرف آب نیز در اینجا لازم نمی باشد.

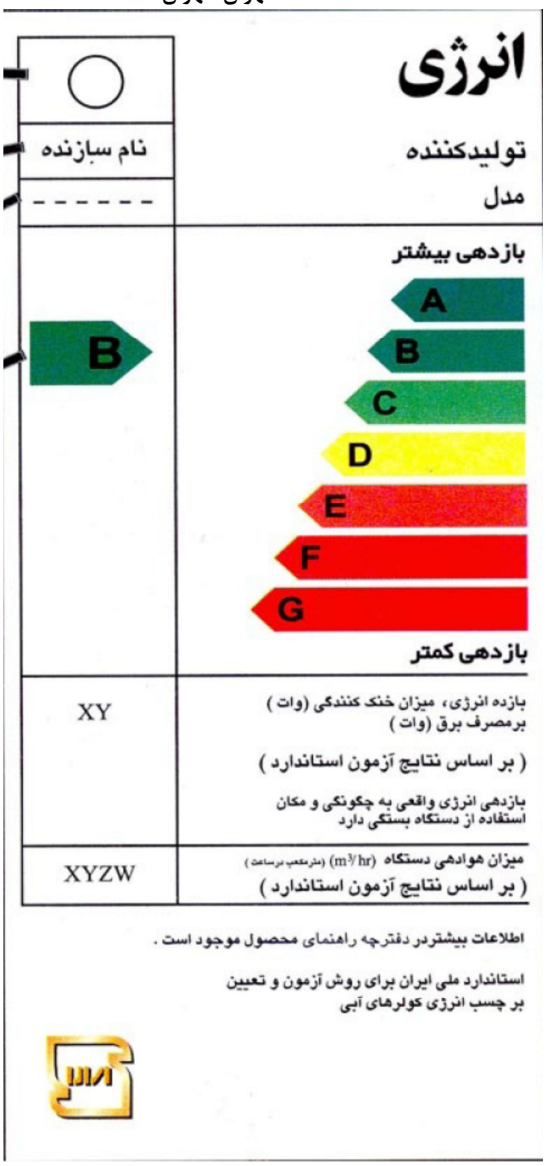
۲-۵- برچسب انرژی ایران

تنها کشور ایران است که برای کولرهای تبخیری آبی برچسب انرژی تعیین کرده است (ویسیم و همکاران[۲]). درجه انرژی با حروف تعیین شده اند. مطابق شکل ۲. در اینجا پارامتر نسبت بازده انرژی (یا EER)[۳] تعریف شده است. شماره های استاندارد ایران نیز ۴۹۱۰ و ۴۹۱۱ [۲و۳] می باشند که در آنها نیز اندازه گیری آب مصرفی لحاظ نشده است. مرزهای این درجه بندی های انرژی به صورت زیر جدول۱ در زیر تعیین شده است (استانداردهای ۴۹۱۰ و ۴۹۱۱):

جدول ۱- مرزبندی بازده انرژی

درجه بندی انرژی	مقادیر EER
۱	۶۵ ≤ EER
۲	۵۸ ≤ EER < ۶۵
۳	۵۰ ≤ EER < ۵۸
٤	۴۲ ≤ EER < ۵۰
۵	۳۴ ≤ EER < ۴۲
٦	۲۶ ≤ EER < ۳۴
۷	EER < ۲۶

[۱] Evaporative Cooler Efficiency Ratio -
[۲] Wasin, Saman -
[۳] Energy Efficiency Ratio -



شکل ۲- برچسب انرژی وسایل برقی

.

در تعریف EER داریم:

$$EER = \frac{\dot{m}_a \cdot C_p \cdot dT1}{W} \quad (۴)$$

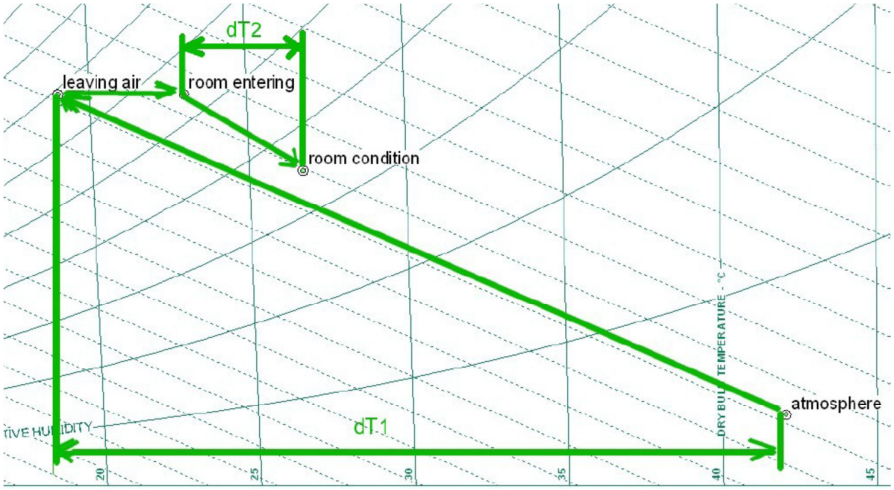
که dT1 یا همان اختلاف دمای ورود و خروج به دستگاه کولر می باشد و درادامه در شکل ۳ نشان داده شده است ولی در تعریف ECER از اختلاف دمای در اتاق یعنی dT2 استفاده شده است و مخرج هر دوی این کسرها یکسان و برابر توان برق مصرفی می باشند.

در تعریف EER داریم:

$$EER = \frac{q_s}{P_t} \quad (۵)$$

$$q_s = Q.\rho.C_p.(t_{di} - t_{do}) \quad (۶)$$

که در این تعریف q_s ظرفیت سرمایش محسوس کولر بر حسب کیلو وات، Q هوادهی بر حسب متر مکعب بر ثانیه، ρ چگالی هوا بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، C_p ظرفیت حرارتی هوا (kJ/kg.K)، t_{di} دمای خشک ورودی (°C) و t_{do} دمای خشک خروجی (°C) از کولر می باشند. P_t نیز توان الکتریکی اکتیو مصرفی (kW) کل کولر می باشد.



شکل ۳- منحنی سایکومتریک شرایط هوا در حین عبور از کولر تا ورود به اتاق

۳. تعریف بازده اقتصادی آب مصرفی

در کنار تعریف های متفاوت بارهای محسوس بکار رفته در صورتهای دو کسر ECER و یا EER، همواره دیده می شوند که مخرج این دو کسر توان الکتریکی مصرفی می باشد، حال آنکه می توان به روشهای مختلفی میزان آب مصرفی را در تعاریف جدیدی به نام بازده اقتصادی آب مصرفی (EWCE)[۱] نیز به شرح زیر تعریف کرد:

$$\text{EWCE}=\frac{\dot{m}_a \,.\, C_p \,.\, dT1}{\dot{m}_w \,.\, h_{fg}} \quad (۷)$$

که در این معادله، $\dot{m}_w$ دبی آب مصرفی در حین کار کولر و h_{fg} انتالپی نهان آب در دمای مرجع (۲۰ °C متوسط دمای تر هوای خروجی از کولر) حدود ۲۴۵۳ kJ/kg می باشد. در یک شرایط نمونه اندازه گیری شده برای یک کولر ۷۵۰۰ m^3/hr:

. در کارخانه سپهر الکتریک واقع در شهرک صنعتی البرز – قزوین، دانسیته هوا برابر با ۱ kg/m^3، دبی هوای عبوری از کولر 1.67 m^3/s، ظرفیت حرارتی هوا ۱،۰۰۳۵ kJ/kg K، دبی آب مصرفی $\frac{34}{3600}$ kg/sec و dT1 برابر ۱۴،۷ °C باشد، در نهایت می توان داشت:

[۱] Economical Water Consumption Efficiency

$$EWCE = \frac{1\times1.67\times1.0035\times14.7}{\frac{34}{3600}\times2453} = 1.0633$$

مخرج کسر انرژی نهان یا همان انرژی تبخیر آب می باشد که برابر ۲۳,۱۷ kW می باشد. حال برق مصرفی کل کولر در همان شرایط چیزی حدود ۰,۵۴ kW می باشد. مخرج کسر در این نسبت بیانگر انرژی نهان شده در آب است که تاکنون به چشم نمی آمده است. با استفاده از دستگاه بهینه ساز مصرف آب کولر (روش ارائه شده در ۴-۱)، مصرف آب کولر آبی از ۳۴ لیتر به ۲۹,۵ لیتر در ساعت کاهش و پیروی این بهینه سازی این بازده اقتصادی آب مصرفی ۱,۲۲۵ افزایش می یابد. نکته مهم دیگر این است که مصرف آب تنها به در زمان کار کرد کولر محدود نمی شود. زمانی که کولر خاموش بوده و آب در تشتک کولر در معرض هوای خشک اتمسفر قرار دارد باز هم آب از سطح تشتک تبخیر شده و این مقدار آب به دلیل کوچک بودنش از کنتورهای موجود قرائت آب خانگی فرار کرده و قابل خواندن نمی باشد. حداقل دبی آب قابل خواندن در کنتورهای آب lit/hr ۱۵ می باشد. با محاسبات ساده انتقال جرم در هوایی با رطوبت نسبی ۵۰ درصد که دما حدود ۳۵ °C می باشد از هر متر مربع سطح آزاد آب در هر ساعت مقداری برابر ۰,۱۷۵ kg/hr آب تبخیر می شود. که برای یک کولر آبی با ظرفیت هوادهی ۷۵۰۰ m^3/hr در هر ساعت این مقدار kg/hr ۰,۱۴۲ و برای ۸ ساعت شب که کولر خاموش است مقداری حدود ۱,۱۳۴ kg آب مصرفی تبخیر و به اتمسفرفرار می کند.

۴. راه های پیشنهادی عملی کاهش مصرف آب و قرائت صحیح آب مصرفی کولرهای آبی در طول فصل کارکردشان

۴-۱- اولین قدم در کاهش مصرف آب کولر استفاده از علم انتقال جرم و حرارت و تنظیم نسبت دبی آب سیرکولاسیون به دبی آب تبخیر در این کولرها با تغییر سرعت فن می باشد. این امر توسط چندین وسیله کنترل دبی آب پمپ و سنسورهای فشار هوا و دبی آب در حال سیرکولاسیون انجام می شود، که در کولرهای تولیدی ایران این وسایل سنجش آب و هوا حذف شده است. قطعه ساخته شده توسط مولف که به صورت الکترونیکی کار کرده و بدون هیچ سنسوری قادر است مصرف اب کولرهای تولیدی ایران را بین ۱۶ الی ۴۴ درصد به طور متوسط کاهش دهد. این قطعه به ثبت اختراع رسیده و آزمایشات اداره کل استاندارد و کارخانجات مهم کولرسازی و پمپ سازی را با موفقیت گذرانده است [۱] (طرح پژوهشی – امیدی کاشانی، بهزاد). استفاده و بکارگیری این قطعه توسط کمیته آب مستقر در معاونت منابع انسانی مدیریت آب و فاضلاب کشور در سال ۱۳۹۴در ۴ شهر کشور به صورت پایلوت تصویب شده است. نمایی از قطعه ساخته شده در شکل ۴ آمده است.

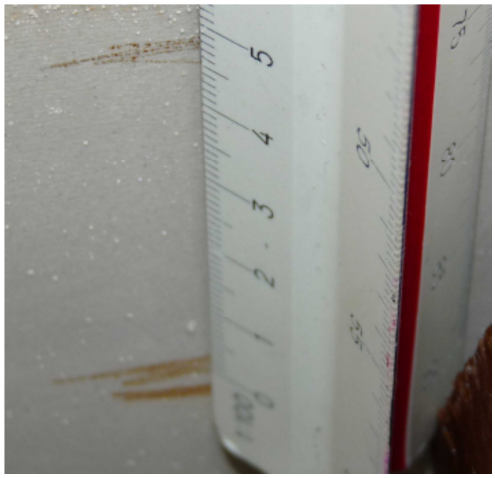
۴-۲- جلوگیری از تبخیر سطح آب در تشتک، برای اینکار می توان از پلی فم با ضخامت ۱۰ mm استفاده کرد و بر روی این تشتک با سطح آزاد نصب کرد. این لایه محافظ علاوه بر پوشاندن حدود ۸۰ درصد از سطح آزاد آب تشتک، مانع از نشست گرد و غبار بر روی تشتک در حین طوفان ها می شود. شکل پلی فم پیشنهادی محافظ سطح آزاد آب تشتک در شکل ۵ آورده شده است.

۴-۳- جلوگیری از عدم خواندن مصارف کم از کنتورهای خانگی قرائت آب،

در حال حاضر از فلوترهای افقی برای نگه داشتن سطح آب تشتک در یک سطح معینی استفاده می شود. از آنجائیکه تبخیر به میزان کم و آهسته انجام می شود، این دبی تبخیر شده از سطح تشتک به هیچ عنوان توسط کنتور آب خانگی قابل قرائت نمی باشد. حداقل دبی آب گذری از کنتورهای خانگی به میزان lit/hr ۱۵ می باشد. لذا استفاده از فلوترهای قائم پیشنهاد می شود که در صورت تبخیر یا مصرف جزئی آب تشتک این فلوتر به کار نمی افتد و طبق اندازه گیری های بعمل آمده مطابق شکل ۶،

شکل ٤- نمایی از قطعه ساخته شده برای کاهش مصرف آب کولرهای آبی تولیدی ایران توسط شرکت دانش بنیان بهسازان آب و انرژی بیرجند

شکل ٥- نمایی از نصب پلی فم بر روی سطح آب تشتک کولر



شکل ٦- تغییر سطح آب مخزن فلاش تانک با فلوتر قائم بدون کارکرد فلوتر

تا کاهش ۵ سانتیمتر از سطح آب، فلوتر کار نمی کند و اجازه عبور آب را نمی دهد ولی بعد از کاهش بیشتر سطح آب، آب با فشار با دبی زیاد که قابل روئت و ثبت است از فلوتر می گذرد و تا زمان بالا آمدن آب تا سطح معین این دبی ورودی آب یکسان ادامه دارد. مقایسه فلوتر های قائم و افقی در شکل ۷ انجام شده است.

۵. تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است از حمایت های مالی و معنوی دانشگاه بیرجند از طرح پژوهشی تعریف شده که قطعه ساخته شده نیز حاصل این طرح می باشد تشکر و قدردانی به عمل آید (طرح پژوهشی در حال اجرا در دانشگاه بیرجند).

۶. نتیجه گیری

طبق محاسبات به عمل آمده با بکارگیری این چند پیشنهاد آمده در صرفه جویی عملی در مصرف آب کولرهای آبی، با توجه به تعداد ۱۵ میلیون کولر آبی در حال استفاده در کشور و اگر تنها ۳ ماه این کولرها به کار گرفته شوند و برای روزی ۹ ساعت به طور کلی می توان در سال مقدار ۷۰ میلیون مترمکعب صرفه جویی مصرف آب داشت. و تنها در عرض سه سال دریاچه ارومیه را با مقدار این صرفه جویی سیرآب کرد. موارد دیگر ذیل را می توان به عنوان نتیجه گیری اضافه کرد:

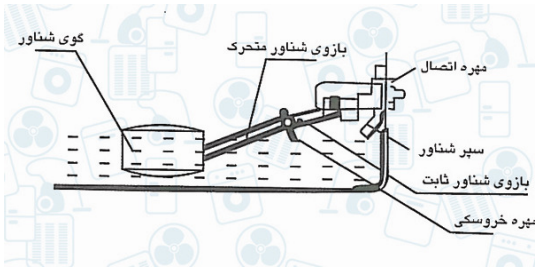
۱- صرفه جویی آب مصرفی در کولرهای آبی

۲- لزوم تجدید نظر در استاندارد کولرها و اضافه نمودن برچسب اب در کنار بر چسب انرژی

۳- قرائت درست و حلال آب مصرفی قرائت شده توسط کنتورهای خانگی

۴- طبق گزارش دولت استرالیا تنها کشوری که در دنیا که کولرهای آبی تولیدی خود را در دنیا بر اساس برچسب انرژی رتبه بندی کرده است و اصلا مصرف آب این کولرها بررسی نشده است، کشور ایران است.

۵- انجام تصحیحات استاندارد کولرهای آبی در زمینه استاندارد شناور و برچسب آب به وضوح مشاهده می شود و توجه وزارت نیرو و اداره کل استاندارد به این امر را می طلبد



ب)

الف)

شکل ۷- شناورها: الف- قائم ب- افقی

۷. مراجع

۱. **امیدی کاشانی، بهزاد (۱۳۹٤)، طرح پژوهشی،کاهش مصرف آب کولرهای آبی تولیدی ایران، دانشگاه بیرجند (در دست اجرا).**

۲. **استاندارد ایران به شماره ٤٩١١، (۱۳۷۷)، استاندارد کولرآبی-روشهای آزمون ۱- هدف و دامنه کاربرد**

۳. **استاندارد ایران به شماره ٤٩١٠، (۱۳۸۸)، کولر آبی خانگی- مشخصات فنی و روش آزمون تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی.**

4. **Wasim, S., Bruno, F. and Ming, L., (2009); "TECHNICAL BACKGROUND RESEARCH ON EVAPORATIVE AIR CONDITIONERS AND FEASIBILITY OF RATING THEIR WATER CONSUMPTION", prepared for: the Water Efficiency Labelling and Standards (WELS) Scheme Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts**