بررسی جمع آوری و استفاده از آب حاصل از چگالش کولرهای گازی در شهرستان شوشتر

محمد منصوری فر*[1]

۱- گروه مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون کشاورزی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

mansurifar@gmail.com

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۲/۲۰

چکیده

در شهرهای مناطق گرم مقادیر قابل توجهی از آب از چگالش کولرهای گازی تولید می شود که به فاضل آب های شهری سرازیر می شود. تحقیق حاضر با رویکرد محاسبه و ارزیابی کیفیت این منبع آبی با نظر استفاده مناسب آن در مصارف شهری دارد. پژوهش در شهر شوشتر انجام گردید. آب خروجی تعدادی از کولرهای گازی دوتکه طی یک دوره پنج ماهه اندازه گیری شد و کیفیت آب استحصالی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد از نظر کمیت کولرهای گازی مقداری معادل ۱۹/۹ تا ۲۶/۷ لیتر آب در روز و بطور میانگین مجموع کولرهای نصب شده در مناطق شهری شهرستان بین ۸۹۰ تا ۱۲۰۰مترمعکب در روز تولید می کنند. کیفیت آب استحصالی و جهت استفاده در فضای سبز و شستشو مناسب ارزیابی شد.

کلمات کلیدی: منابع آب، چگالش، کولر گازی، فضای سبز

مقدمه

فقط ۳ درصد از کل آب های روی زمین شیرین از و فقط یک درصد آن در اختیار انسان قرار دارد. بقیه آب بصورت بخار آب در جو، رطوبت موجود در خاک و غیره، خارج از دسترس است (Burkarad, 2003). آب شیرین روز به روز کمیاب تر و آلوده تر می شود. مصرف آب در حال افزایش است و رشد جمعیت، باعث تهی شدن منابع سنتی آب می شود (Richey et al, 2015..)

خشکسالی در مناطق پرآب و تغییر شرایط اقلیمی باعث کمبود آب شیرین شده است، در دهه های اخیر، منابع غیر سنتی آب مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. شیرین کردن آب دریا و استخراج آب از رطوبت موجود در هوا در مناطق کویری در حال تبدیل شدن به یک زمینه جالب تحقیقی شده است. شیوه های متعددی در برداشت آب از بخار آب موجود در هوا[1] (AWVP) وجود دارد و یک فناوری در حال توسعه است (Wahlgren, 2001). از مهمترین روش های

1 - Atmospheric Water Vapor Processing

استحصال آب از بخار آب موجود در جو، برداشت آب از مه[۲](Klemm, 2012) برداشت آب از شبنم[۳] (Beysens, 2012)، (Khalil& et al. 2016) و برداشت آب از سیستم های خنک کننده فعال[۴] است(Dalai, et al. 2017). در ابعاد گسترده استحصال آب از هوا، فناوری های مبتنی بر استفاده ثانویه از آب خروجی سیستم های تهویه مطبوع ممکن است راهکار خوبی در استفاده از این آب در شرایط تابستان باشد. در سیستم های تهویه ساختمان ها مقدار قابل توجهی آب تولید می شود؛ ولی طور معمول، این آب هدر می رود. این آب می تواند به طور مفید برای مصرف انسان یا آب مورد نیاز همان ساختمان، استفاده شود. یک سیستم یکپارچه، ترکیبی از استخراج آب از هوا، مجهز به تصفیه آب و تهویه مطبوع در شرایط آب و هوایی ۴۷ شهر ایالات متحده مورد مطالعه قرار گرفته است؛ کل مقدار میعانات جمع آوری شده سالانه، همبستگی با شاخص های داده های آب و هوای محلی نشان داد. ارزیابی اقتصادی مرتبط با یک سیستم جمع آوری میعانات معمولی نشان از وجود صرفه در ایت سیستم دارد (Lawrence, 2012). به عنوان یک گام در راه پایداری منابع آب، جمع آوری آب حاصل از چگالش کولرهای تهویه هوا ظرفیت بزرگی است. (Bryant & Ahmed, 2008) آب شیرین و آب آشامیدنی را می توان از واحدهای تهویه مطبوع تجاری با اندازه ها و ظرفیت های مختلف و حتی از ساختمان های قدیمی بدست آورد(Lawrence, 2010). در تحقیقی داوطلب و همکاران ۲۰۱۳ توانستند با استفاده صفحات جاذب مه، حجم آبی معادل ۶/۷۱ لیتر در روز از هر مترمربع از صفحات جاذب در آبادان و ۱۵۶ لیتر در روز در چابهار استخراج کنند .Davtalab et al) (2013. در تحقیقی بروی ۲۵ دستگاه خنک کننده در دوحه قطر، در یک دوره ۱۴۰ روزه ۶۶۰ هزار گالن آب را از تهویه هوای ساختمان های عمومی استحصال نمودند، آنها یک رابطه همبستگی مثبت بین افزایش دمای نقطه شبنم و حجم آب چگالش شده بدست آمد(Bryant & Ahmed, 2008). محوی و همکاران، (۱۳۹۳)، آب خروجی حاصل راز چگالش بخار آب بوسیله کولر های گازی دوتکه در شهر بندرعباس را بطور میانگین حدود ۲۶ لیتر در روز اندازه گیری کردند، کیفیت آب استحصالی برای اکثر موارد شهری و صنعتی قابل استفاده ارزیابی گردید. استفاده از آب خروجی کولرهای تهویه اماکن عمومی می تواند مفید باشد، ماگرینی و همکاران، ۲۰۱۵، در تحقیقی دریافتند تا ۵۶درصد از آب مورد نیاز یک هتل در مناطق نیمه حاره ای می تواند از این طریق تامین گردد(Magrini, et al. 2015) در تحقیقی دیگر توسط دالای و همکاران در مورد آب خروجی از کولرهای گازی پنجره ای مشخص گردید که کیفیت آب خروجی از این دستگاه ها حتی برای مصرف آشامیدن انسان نیز مناسب است .Dalai et al) (2015. با قدرتی حدود ۱۶۰ وات و جریان هوایی حدود ۶/۲۳ لیتر در ثانیه، بیش از ۱/۰۲۵ لیتر آب حاصل می شود. شرکت امریکایی اکولو بلو، یک دستگاه چگالش آب ساخته که بر اساس فناوری فلز سرد کار

2- Fog Water Harvesting(FWH)
3 - Dew water harvesting(DWH)
4 - Water harvesting active cooling condensation technology

می کند. این دستگاه قادر است در ۲۴ ساعت حدود ۳۰ لیتر آب آشامیدنی از هوا استخراج کند. شکل ۱(EcoloBlue. 2017).

شکل ۱: دستگاه تقطیر آب از هوا

سیسکو و همکاران در تحقیقی پیرامون استفاده از آب چگالش شده کولر گازی در بیروت دریافتند که یک کولر ۱۲۰۰۰ در ماه های مختلف بهار و تابستان بین ۰/۸۲ تا ۱/۰۷ لیتر آب در ساعت تقطیر می کند. این آب برای پروش تربچه بر بام سبز خانه مسکونی با موفقیت استفاده شد(Sisco et al. 2015). اکرم و همکاران در تحقیقی بر بازیافت آب حاصل از تقطیر دستگاه های تهویه هوا در دانشگاه راج شاهی بنگلادش دریافتند که کیفیت آب حاصل از نظر شاخص های شیمیایی همانند وجود عناصری مانند آن، مس منگنز، سرب، کلر و شاخص های فیزیکی مانند هدایت الکتریکی، سختی کل، کدری، PH و اکسیژن موجود در دامنه طبیعی قرار دارد. آنها استحصال ۲۵ لیتر آب از دو تن هوای تهویه شده در روز را اندازه گیری کردند شد(Akram et al. 2018).

روش تحقیق

۵۰۸۰۰ خانوار در ۴۴۶۰۰ واحد مسکونی زندگی می کنند.(مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). استفاده از کولرهای گازی در مناطق گرم ایران از جمله خوزستان در منازل مسکونی و ادارات مرسوم است. انواع کولرهای گازی دوتکه در سال های اخیر جایگزین کولرهای پنجره ای شده است. با تخمین می توان در نظر گرفت که تقریبا هر خانوار در شهرهای گرمسیری خوزستان از جمله

هدف از این مطالعه بررسی کمی و کیفی آب حاصل از چگالش کولرهای گازی در شهرستان شوشتر به منظور استفاده از آب حاصله جهت شرب، مصرف غیر آشامیدن یا تولید محدود محصولات سبزی و صیفی در باغچه های منازل شهرستان است. طبق آمار نفوس و مسکن ۱۳۹۵ جمعیت شهرستان شوشتر در نقاط شهری ۱۲۱ هزار نفر سرشماری شده است. این جمعیت در قالب

آزمایش از مدل های مختلف موجود و سن بهره برداری مختلف انتخاب شدند. آب تقطرشده از کولرها بوسیله لوله پی وی سی از یونیت های داخلی خانه به بشکه های ۱۰۰ لیتری از جنس پی وی سی منتقل، جمع آوری و روزانه تخلیه گردید. نمونه آزمایش پارامترهای فیزیکی و بیولوزیک آب از نمونه های جمع آوری شده برداشت و در آزمایش کنترل کیفی آب مورد آزمایش قرار گرفت. اندازه گیری ها از خردادماه تا مهرماه ۱۳۹۶ بصورت روزانه انجام گردید. نتایج اندازه گیری متغیرهای تحقیق بصورت میانگین های ماهیانه تبدیل و پس از تحلیل آماری در جدول و نمودارهای گزارش مورد استفاده قرار گرفت.

شوشتر حداقل یک دستگاه کولر دو تکه در اختیار داشته باشند. جمع آوری آب تقطیری در ۶ نقطه از شهرستان شوشتر از شش کولر دو تکه BTU ۲۴۰۰۰ و ۳۰۰۰۰که فراوانی بیشتری از سایر اندازه های کولرهای مذکور در شهرستان بودند انتخاب شدند. دستگاه های انتخاب شده از نمونه های نصب شده در خانه های مسکونی آپارتمانی و ویلایی شهر شوشتر بودند. آب حاصل از تقطیر در یونیت اواپراتور کولرها بصورت روزانه جمع آوری و اندازه گیری شد. اندازه گیری پارامترهای محیطی شامل درجه حرارت کمینه، درجه حرارت پیشینه، رطوبت نسبی محیط و حجم آب جمع آوری شده در ۲۴ ساعت صورت گرفت. کولرهای مورد

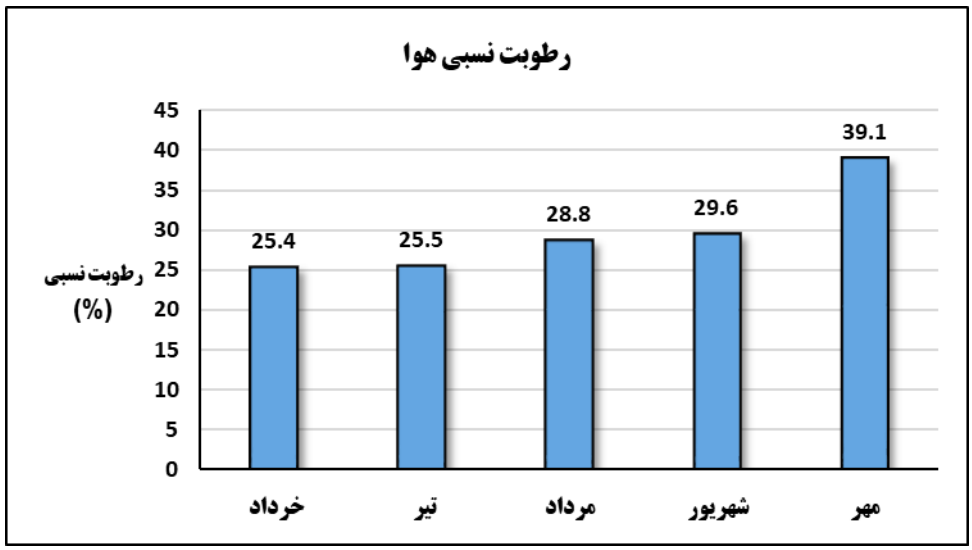
نتایج و بحث

نتایج در جدول ۱ نشان می دهد بطور میانگین هر کولر ۲۴ در ۱۹/۹ و کولر۳۰ ۲۶/۸ لیتر در روز خروجی آب دارد. بیشترین مقدار خروجی در مهرماه و کمترین آن در خرداد در مورد هر دو نوع کولر اندازه گیری شده است. نتایج بدست آمده با توجه به اینکه رطوبت نسبی هوا در مهرماه بیشتر اندازه گیری شده است منطقی به نظر می رسد.

جدول۱: داده های اندازه گیری شده دما، رطوبت و مقدار آب تقطر شده در کولرها

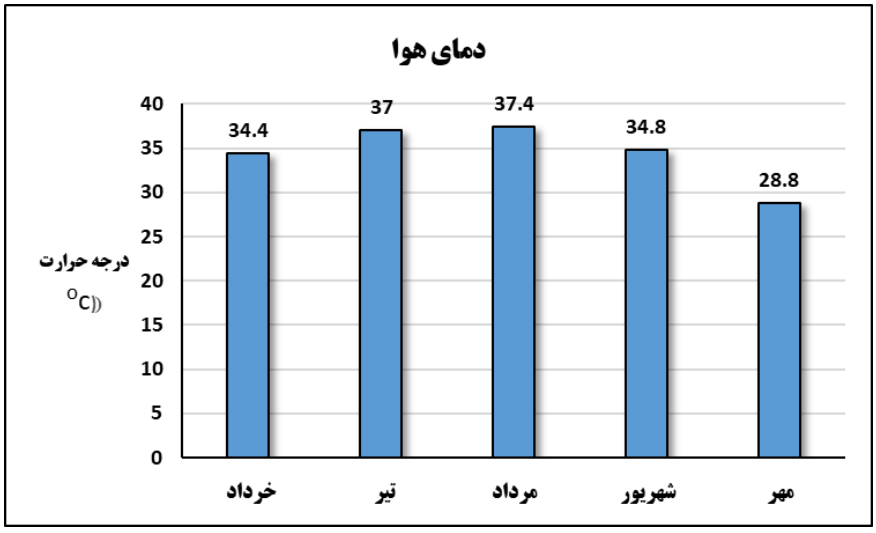
		خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	میانگین
درجه حرارت میانگین(^oC)		۳۴/۴	۳۷/۰	۳۷/۴	۳۴/۸	۲۸/۸	۳۴/۵
رطوبت نسبی(٪)		۲۵/۴	۲۵/۵	۲۸/۸	۲۹/۶	۳۹/۱	۲۹/۷
حجم تقطیر(L/Day)	کولر ۲۴	۱۷/۶	۱۸/۳	۱۹/۱	۲۱/۳	۲۳/۳	۱۹/۹
حجم تقطیر(L/Day)	کولر ۳۰	۲۴/۵	۲۵/۸	۲۷/۹	۲۶/۳	۲۹/۳	۲۶/۸

شکل۲، رطوبت نسبی اندازه گیری شده در مدت تحقیق در شهرستان شوشتر را نشان می دهد. بیشترین رطوب هوا در مهرماه و کمترین در خردادماه اندازه گیری شده است. متناسب با افزایش رطوبت نسبی مقدار چگالش آب در کولرها افزایش یافته است.



شکل ۲: رطوبت نسبی هوا در ماه های انجام پژوهش(منبع: یافته های تحقیق)

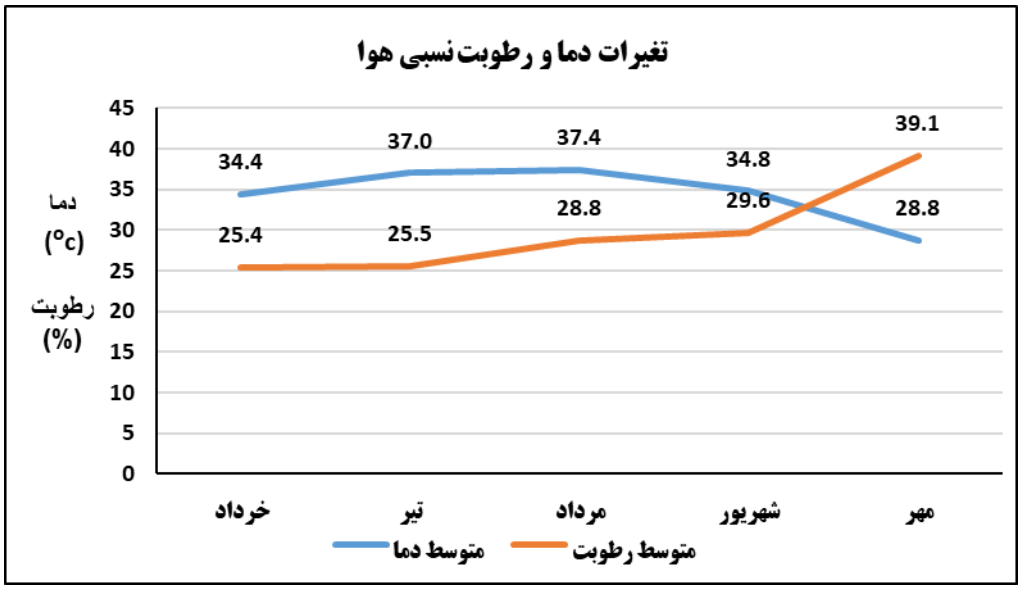
شکل۲، روند تغییرات دمای هوا در دوره انجام پژوهش نشان می دهد. افزایش دمای هوا تاثیر قابل توجه ای بر مقدار آب استحصالی نداشته است. انتظار می رود در خرداد و مهرماه با کاهش درجه حرارت ساعات استفاده از کولر کاهش یابد و در نتیجه مقدار آب استحصالی نیز کمتر شود. در این تحقیق اندازه گیری ها مقدار آب خروجی در شرایط کارکرد پیوسته کولرها صورت گرفته است.



شکل۳: دمای هوا در ماه های انجام پژوهش(منبع: یافته های تحقیق)

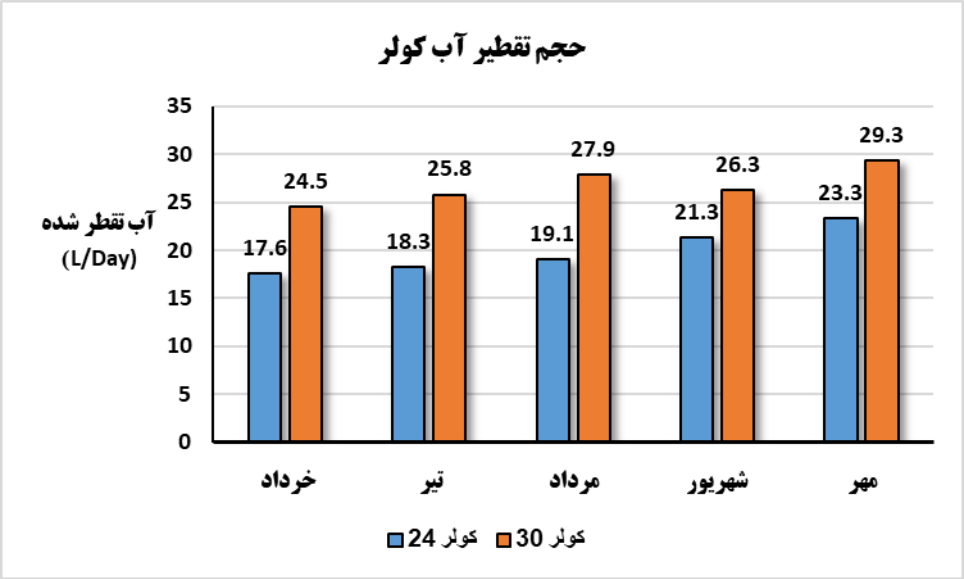
شکل۴، مقادیر اندازه گیری همزمان دما و رطوبت نسبی در مدت انجام پژوهش را نشان می دهد. منحنی تغییرات دما و رطوبت و مقایسه این مقادیر با حجم آب چگالش در دو نوع کولر نشان می دهد که تغییرات مقدار

آب خروجی کولرها همبستگی مثبتی با مقدار رطوبت نسبی هوا دارد و تاثیر دما اثر چندانی بر مقدار خروجی ندارد. مقادیر آب خروجی از هر دو نوع کولر در مهرماه علیرغم کاهش محسوس دما افزایش یافته و بیشترین مقدار به اندازه ۱۹/۹و ۲۶/۸ لیتر در روز در طی ماه های قبلی اندازه گیری شده است.



شکل ۴: دما و رطوبت نسبی هوا در ماه های انجام پژوهش(منبع: یافته های تحقیق)

نمودار شکل ۵، تغیرات حجم آب چگالش شده از کولرها را در دوره اندازه گیری پنج ماه نشان می دهد. اندازه گیری ها نشان می دهد در کارکرد پیوسته کولرها در شبانه روز حجم آبی بین ۱۷.۶ تا ۲۳/۳ لیتر از کولرهای گازی ۲۴ در شرایط آب و هوایی شوشتر ذخیره می شود. این خروجی در مورد کولرهای ۳۰ بین ۲۴/۵ تا ۲۹/۳ است. در دوره گرمای خوزستان بین ماه های خرداد تا اواخر مهرماه که این دستگاه ها بطور تقریباً پیوسته در منازل مسکونی استفاده می شوند انتظار می رود بطور میانگین ۱۹/۹ لیتر از کولرهای ۲۴ و ۲۶/۸ از کولرهای ۳۰ خروجی آب چگالش شده حاصل شود. نتایج حاصل از مدل های مختلف کولرها انتخاب شده و بطور میانگین داده های اندازه گیری شده روزانه در طی یک ماه بدست آمده است. بر این اساس این داده ها را می توان به کل دستگاه های شهر شوشتر تعمیم داد.



شکل ۵: حجم آب چگالش شده از کولرها در ماه های انجام پژوهش(منبع: یافته های تحقیق)

طبق نتایج سرشماری نفوس و مسکن کشور در سال ۱۳۹۵، در مناطق شهری شهرستان شوشتر حدود ۵۰۸۰۰ خانوار در ۴۴۶۰۰ واحد مسکونی ویلایی یا آپارتمانی زندگی می کنند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) . در حال حاضر تقریبا کلیه منازل مسکونی این شهرستان دارای حداقل یک دستگاه کولر گازی دوتکه در ظرفیت های تبرید همانند نمونه دستگاه های مورد مطالعه این پژوهش هستند. بر این اساس می توان انتظار داشت بطور متوسط حجم آبی معادل ۸۹۰ هزار تا ۱.۲ میلیون لیتر در روز تولید نمایند. سرانه آب مصرفی شهری ۲۰۰ تا ۲۵۰ لیتر در روز است(منزوی، ۱۳۸۸) بر این اساس می تون انتظار داشت حدود ۱۰ درصد آب مصرفی شهرستان شوشتر از این طریق تامین گردد. در یک دوره پنج ماهه کار پیوسته این دستگاه ها ۱۷۸ میلیون لیتر آب چگالش شده بدست می آید. این نتایج نشان می دهد که حجم آب استحصالی از کولرهای گازی می تواند جایگزین بخش قابل توجهی از مصرف آب شبکه توزیع آب شهری این شهرستان شود. به منظور بررسی کیفیت آب استحصال شده، نمونه آب از نظر مقادیر پارامتر های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش نمونه آب تقطیر شده در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در مجموع کیفیت آب استحصالی از تقطیر از نظر سختی و املاح موجود در آب در حد مناسبی است. با توجه به امکان وجود عوامل بیماری زا مانند اسپور قارچ ها در هوای محیط خانه از اواپراتور کولرها عبور کرده و در آب چگالش شده وارد می شود، استفاده از این آب برای آشامیدن بدون انجام تسویه بیوشیمایی توصیه نمی شود.

جدول۲: نتایج آزمایش نمونه آب استحصالی از کولر های دوتکه

شاخص	PH	TDS mg/L	EC µs/cm	Ca mg/L	Mg mg/L	Na mg/L	HCo3 ppm	So4 mg/L	CL mg/L
مقدار مطلوب*	۷-۸/۵	۱۰۰۰	-	۳۰۰	۳۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۲۵۰
مقدار مجاز*	۶/۵-۹	۱۵۰۰	-	-	-	۲۰۰	۵۰۰	۴۰	۴۰۰
اندازگیری نمونه	۶/۷۸	۴۳/۴	۹۲	۸/۵۳	۹/۵۸	۷	۱۱	۲	۲۲/۱۵

* مقدار مطلوب و مجاز از استاندارد ۱۰۵۳ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران استخراج شده است.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحقیق آب حاصل از چگالش کولرهای گازی حجم قابل توجهی است. در کارکرد پیوسته کولرها در شبانه روز بطور میانگین ۱۹/۹ لیتر از کولرهای ۲۴ و ۲۶/۸ از کولرهای ۳۰ خروجی آب چگالش شده حاصل شود. از کولرهای نصب شده در منازل مسکونی شهرستان شوشتر بطور متوسط حجم آبی معادل ۸۹۰ هزار تا ۱/۲ میلیون لیتر در روز تولید نمایند. در یک دوره پنج ماهه کار پیوسته کولر ها در شهرستان ۱۷۸ میلیون لیتر آب چگالش شده بدست می آید.آب استحصالی قابلیت استفاده در مصارف خانگی دارد. استفاده از این آب برای آبیاری فضای سبز شهری در صورت جمع آوری و ذخیره و ترکیب با آب معمولی می تواند مقدار مصرف شبکه آب شهری را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. کیفیت فیزیک و شیمیایی آب استحصالی مناسب است و مصرف آن برای آشامیدن نیاز به تصویه ثانویه و گندزدایی دارد.

منابع:

۱. محوی ا. ح.، علیپور و.، رضایی ل.، نوحه گر ا.، حسین زاده م. م. ۱۳۹۳. مدیریت استفاده و بهره برداری آب حاصل از چگالش رطوبت هوا در کولرهای گازی شهر بندرعباس. مجله پزشکی هرمزگان. ۱۸(۱) ۷۳- ۸۰

۲. مرکز آمار ایران، نتایج سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۵ .https://www.amar.org.ir/

۳. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ۱۳۸۹. آب آشامیدنی- استاندارد ملی شماره ۱۰۳۵، ویژگی های فیزیکی و شیمیایی، تجدید نظر پنجم.

۴. منزوی، م. ت. ۱۳۸۸. آبرسانی شهری. ۳۸۸.

5. Anonymous. 2010 .Ecolo Blue Water from Air. https://ecoloblue.com/.
6. Beysens D, Clus O, Mileta M. 2007 .Collecting dew as a water source on small islands: the dew equipment for water project in Bisevo (Croatia). Energy. 32:1032–1039.
7. Bryant J. A, and Ahmed T, 2008. Condensate Water Collection for an Institutional Building in Doha, Qatar: An Opportunity for Water Sustainability. Sixteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Plano, TX, December 15-17.

8. Dalai P, Nanda P, Mund C. 2017. An experimental study on water harvesting from a modified window air-conditioner. Energy Procedia. 109:253–60
9. Davtalab R, Salamat A, Oji R. 2013. Water harvesting from fog and air humidity in the warm and coastal regions in the south of iran. Irrig Drain, 62:281–8.
10. Khalil B, Adamowski J, Shabbir A. 2016. A review: dew water collection from radiative passive collectors to recent developments of active collectors. Sustain Water Resour Manag.2:71–86
11. Klemm O, Schemenauer RS, Lummerich A. 2012. Fog as a fresh-water resource: overview and perspectives. Ambio. 41:221–34.
12. Lawrence, T.; Perry, J.; Alsen, T. 2012. AHU Condensate Collection Economics: A Study of 47 U.S. Cities. ASHRAE J, 54, 18.
13. Lawrence, T., Perry, J., Dempsey, P. 2010. Capturing Condensate by Retrofitting AHUs. ASHRAE J, 52, 48.
14. Magrini A, Cattani L, Cartesegna M. 2015. Production of water from theair: the environmental sustainability of air-conditioning systems through a more intelligent use of resources. The advantages of an integrated system .Energy Procedia. 78:1153–8
15. Richey, A.S., Thomas, B.F., Lo, M.-H., Reager, J.T., Famiglietti, J.S., Voss, K., Swenson, S., Rodell, M. 2015. Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. Water Resour. Res., 51:5217–5238.
16. Sisco L Monzer S, Farajalla N, Bashour L, Saoud P. 2017. Roof top gardens as a means to use recycled waste and A/C condensate and reduce temperature variation in buildings Building and Environment, 117: 127-134.
17. Wahlgren RV. 2001. Atmospheric water vapor processor designs for potable water production: A review. *Water Res*, 35:1-22.

Investigation of collection and use of water from condensation of air conditioner in Shushtar city

Mohammad, Mansourifar*

1- Assistant Professor, Agricultural Mechanization Engineering Department, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran

Abstract

In hot regions cities, significant amounts of water are produced from the condensation of air conditioners, which flows into the waste water. The present study has an approach to calculating and evaluating the quality of this water source in terms of its proper use in urban areas. The research was conducted in Shushtar. The output water of a number of two type gas coolers was measured over a period of five months and the quality of the extracted water was evaluated. in terms of quantity of water product results showed that, they produce 19.9 to 26.7 liters of water per day and on average, the total number of coolers installed in urban areas in Shoushtar city produces between 890 to 1200 cubic meters per day. The quality of the extracted water was evaluated for use in green areas and suitable for washing.

Keywords: water resources, condensation, air conditioner, green areas