بررسی مدل فیزیکی ترکیبی استحصال آب از اتمسفر در شرایط جوی مختلف

امید محمدی، موسی حسام* و خلیل قربانی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۹)

چکیده

باوجود مشکلات زیاد در زمینه تأمین آب تاکنون مطالعه‌ای بر روی دستگاه‌های استحصال آب از جو انجام نشده است. در این پژوهش با هدف بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی، به بررسی مقادیر آب تولیدشده از یک مدل فیزیکی طراحی و ساخته‌شده توسط تیم، شامل دوفاز (جمع‌کننده تبریدی و جمع‌کننده اسفنجی)، در شرایط مختلف جوی پرداخته شد. ابتدا تأثیر فیلتر اسفنجی بر میزان آب به‌دست آمده سپس جهت بدست آوردن شرایط بهینه، پایلوت در شرایط جوی مختلف مورد مطالعه قرارگرفت. در هر کدام از رطوبت و دماهای متفاوت، مکش‌های بین ۴۵۰ تا ۱۴۰۰ دور در دقیقه اعمال شد. در تمام حالات دمای دستگاه در حالت‌های ۲، ۴ و ۶ درجه زیر نقطه شبنم مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد فیلتر اسفنجی تا ۱۵ درصد (نسبت به حالت بدون اسفنج) باعث افزایش تولید آب می‌شود. اواپراتور اول بیش از اواپراتور دوم آب تولید می‌کند. مکش بهینه هوا به داخل دستگاه به مقادیر رطوبت‌نسبی و دما بستگی‌دارد. برای اواپراتور اول و دوم به‌ترتیب دماهای ۴ و ۶ درجه زیرنقطه شبنم بهینه هستند. با افزایش رطوبت مطلق هوا، سرعت مکش بهینه افزایش یافت. سرعت جریان هوا، تعداد جمع‌کننده، اختلاف دما با نقطه‌شبنم و سطوح جذب‌کننده، در مقدار آب به‌دست آمده تأثیرگذار بودند. باتوجه به بررسی کیفی، آب به‌دست آمده دارای کیفیت مطلوب جهت کاربرد در اغلب مصارف حساس است.

واژه‌های کلیدی: اواپراتور، مکش، نقطه شبنم، رطوبت هوا، فیلتر اسفنجی

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Mhesam@yahoo.com

مقدمه

جو زمین حاوی ۱۲۹۰۰ کیلومتر مکعب آب شیرین است که از این مقدار ۹۸ درصد به صورت بخار و تنها ۲ درصد آن به صورت ابر است. از این رو نحوه استحصال آن از دغدغه‌های کنونی است (۴ و ۵). در سال‌های اخیر مشکل آب آشامیدنی، سبب ایجاد نگرانی در مناطق مختلف شده است. بنابراین، بیش از ۵۰ سال روش‌های مختلفی برای تأمین آب از قبیل نمک‌زدایی به روش تقطیر، اسمز معکوس و الکترودیالیز استفاده شده است. گرانی این روش‌ها و از آن مهم‌تر پیامدهای محیط زیستی حاصل از ریختن شورابه‌ها از معایب این روش‌ها است (۳ و ۷). در نوار ساحلی کشور به‌طورمعمول استفاده از آب دریا توسط آب‌شیرین‌کن‌ها صورت می‌گیرد که با هزینه‌های گزافی روبرو خواهد بود. علاوه بر بحث اقتصادی، شورابه‌های تخلیه‌شده از آب‌شیرین‌کن‌ها در بسیاری از موارد منجر به معضلات محیط زیستی شده‌اند. این درحالی است که حجم عظیمی از آب در قالب رطوبت در جو وجود دارد و استحصال آن نه تنها پیامد زیست محیطی نخواهد داشت بلکه در یک خرد اقلیم منجر به کاهش رطوبت نسبی شده و هوای مطبوع برای تنفس و کاهش شرجی‌بودن را در پی خواهد داشت.

در بسیاری از نواحی کشور دسترسی به آب با وجود رطوبت نسبی بیش‌از ۸۰ درصد کارآسانی نیست. با یک محاسبه سرانگشتی در یک روز تابستان که دمای هوا به‌نسبت زیاد است در ارتفاع ۱۰ متری از مساحتی یک هکتاری حدود ۴۰۰۰ متر مکعب آب وجود دارد که اگر از این میزان ۵۰ درصد آن نیز قابل استحصال باشد با داشتن حدود ۲ میلیون لیتر آب می‌توان به منبع آبی قابل اطمینان دست یافت. داوطلب و سلامت (۸) در پژوهشی به بررسی میزان آب بدست‌آمده از مه در شرایط مختلف پرداختند. حجم و فراوانی آب استحصال شده از مه در سه سایت مورد مطالعه متفاوت و درحدود ۱۰-۴۰ لیتر بر روز بر متر مربع بود. مطالعه روابط بین بازده آب مه روزانه و متوسط متغیرهای هواشناسی، روند واضحی را نشان نداده است و به نظر می‌رسد که دسترسی به آب مه بیشتر در ارتباط با سرعت باد بیشتر و تابش خورشیدی کمتر است. به‌طور کلی و با توجه به تعداد وقایع ثبت شده در پژوهش، ثابت شده است که جمع آوری آب مه بیشتر از بارش در سه سایت مشاهده شده است. از ویژگی‌های روند استحصال آب از مه به‌عنوان منبع آب وابسته به شرایط آب و هوای محلی است (۸). محوی و همکاران (۱۱) در پژوهشی اقدام به اندازه‌گیری آب حاصل از برخورد مولکول‌های هوای شرجی بندرعباس به کولرهای گازی کردند که میزان آب به‌دست آمده از این کولرها بین ۴۶۸۰ تا ۹۳۶۰ متر مکعب در روز بود. آب به‌دست آمده دارای کیفیت به‌نسبت مطلوب با سختی، قلیاییت و املاح کم بود و برای استفاده در بخش‌های مختلف قابل کاربرد بود. برسکی (۶) در مطالعه‌ای ازجمله راه‌های استحصال آب از جو، جمع‌کننده‌هایی که در مسیر مه قرار می‌گیرند را معرفی کرد. از انواع آنها جمع‌کننده‌های مخروطی تک‌جداره و چندجداره و جمع‌کننده‌های پره‌ای هستند. برخی از عوامل مهم جغرافیایی شامل الگوهای جامع باد، محدوده کوه‌ها، ارتفاع، جهت وزش باد، فاصله از ساحل دریا، فضای بین جمع کننده‌ها، پستی و بلندی در نواحی مجاور و نقش توپوگرافی و شیب در دوام و پایداری یک طرح استحصال آب از مه مؤثر هستند. کردوانی (۹) یکی از محققینی که در زمینه بیابان زدایی کار می‌کند، پروژه ای را در مورد برداشت آب از رطوبت هوا برای آبیاری باغ‌ها و مزارع در این منطقه در سال ۲۰۰۱ پیشنهاد داد. او باور داشت که به وسیله دفن صفحات فلزی در زمین‌ها، گیاهان بدون نیاز به بارش باران و تنها توسط شبنم ایجاد شده از رطوبت زیاد هوا، می‌توانند زندگی کنند به این صورت که شبنم تشکیل شده به جای اینکه فقط بر روی سطح گیاه ایجاد شود سطح مقطع بزرگتر فلزی باعث جذب و جمع‌آوری قطرات شبنم شده و این آب به مصرف گیاه می‌رسد. مطالعات انجام شده در زمینه استخراج آب از رطوبت اتمسفر با استفاده از صفحه جمع‌آوری فلزی، در قسمت‌های مختلف جهان انجام شده است: سوئد و

تانزانیا (۱۲)، تونس و فرانسه (۵ و ۱۰) و بحرین (۱) نمونه‌های خوبی از این موضوع هستند. بزرگترین طرح استحصال آب از مه که از سال ۱۹۹۲ تاکنون اجرا شده است، طرحی بوده که در یک روستای ۳۳۰ نفری در بیابان ساحلی خشک شمال شیلی اجرا شده و نتیجه آن به‌طور متوسط استحصال ۱۱ هزار لیتر آب در روز بوده است (۱۴). در سواحل و جزایر جنوب ایران رطوبت هوا در تابستان ۹۸ درصد است درصورتی‌که بارش باران در این مناطق کم است. همچنین، مناطقی مانند جزیره کیش بیش از ۱۵۰ روز مه‌آلود در سال و بندر عباس، جاسک و بندر لنج بیش از ۱۰۰ روز مه‌آلود در سال دارند. از جمله مسائل مهم دیگر در این منطقه، بر خلاف سواحل شمال ایران که مه بیشتر در طول زمستان تشکیل می‌شود، در سواحل جنوب مه بیشتر در تابستان شکل می‌گیرد (۱۶).

تا کنون هیچ مطالعه‌ای بر روی دستگاه‌های استحصال آب از جو صورت نگرفته است و اغلب مطالعات در زمینه جمع کننده‌های مه است که فقط در شرایط مه قادر به تولید آب هستند. بنابراین، بررسی پارامترهای کنترلی دستگاه تولید آب از هوا از دو نقطه‌نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش راندمان و همچنین آگاهی از مقدار آب تولید شده در شرایط مختلف جوی حائز اهمیت است. در این پژوهش با هدف بهینه‌سازی پارامترهای کنترلی، به بررسی مقادیر آب تولیدشده از یک مدل فیزیکی ابداعی طراحی‌شده توسط تیم نویسنده شامل دوفاز (جمع‌کننده تبریدی و جمع‌کننده اسفنجی) در شرایط مختلف جوی پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

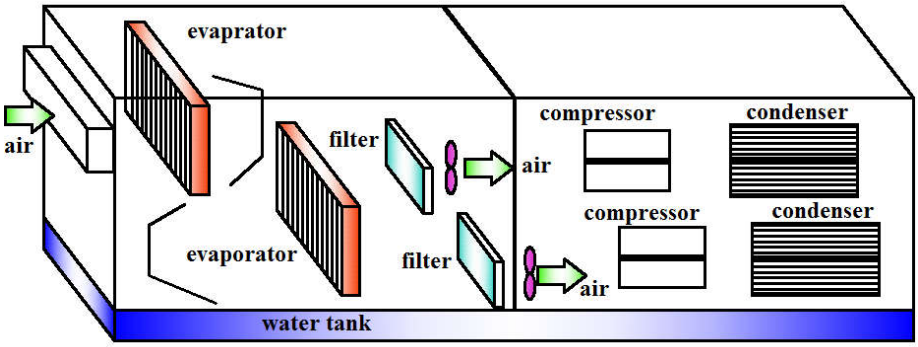
مدل فیزیکی استفاده شده در این قسمت در مقیاس پایلوت یک سیکل کندانس را شامل می‌شود که در ادامه به بخش‌های مهم آن پرداخته می‌شود:

الف) دریچه ورودی هوا و فیلتر هوا، ب) محفظه عایق، ج) بخش مکش هوا با قابلیت تنظیم مکش، د) بخش تولید آب یا میعان: شامل دوفاز (جمع‌کننده تبریدی و جمع‌کننده اسفنجی)، ه) جهت‌دهنده حرکت هوا، و) بخش خروجی آب یا زهکشی، ز) بخش تأمین نیرو و ح) پنل کنترل

طرز کار دستگاه به این صورت است که هوا با استفاده از مکنده‌ها با سرعت از طریق یک دریچه حاوی فیلتر غبارگیر وارد محفظه‌ای شده که در این محفظه ابتدا به اواپراتور با دمای سطح و دارای سنجابی‌های سیمی (برای برخورد قطرات آب موجود در هوا) برخورد کرده و سپس در یک کانال از جنس استیل ضد زنگ به اواپراتور بعدی و سپس به محیط اسفنجی برخورد می‌نماید. در این مسیر فرایندهای تبرید، جذب توسط سطوح اسفنجی و برخورد با سرعت به محیط سنجابی، منجر به استحصال آب از جو می‌شوند (شکل ۱). در قسمت پنل کنترل تمامی موارد از جمله تنظیم دمای هر دو اواپراتور، سرعت مکش هوا، دما و رطوبت نسبی هوای ورودی قابل کنترل و قرائت بود.

روش مطالعه بر روی مدل

باتوجه به اینکه سامانه مورد مطالعه در شهر گرگان بوده و دمای هوای این شهر به‌ندرت از محدوده ۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس تجاوز می‌کند بنابراین، جهت بررسی تأثیر فیلتر اسفنجی (از جنس پلی‌یورتان متخلخل) در میزان آب تولید شده، پایلوت در دماهای ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد دو حالت با فیلتر و بدون فیلتر مورد مقایسه قرار گرفت. سپس در شرایط بهینه (با فیلتر یا بدون فیلتر اسفنجی) جهت بدست‌آوردن شرایط بهینه، پایلوت در ۴ دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه با دامنه تغییرات ۲ درجه سلسیوس و در هر کدام از دماها در رطوبت نسبی‌های مختلف (رطوبت‌های نسبی کم، متوسط و زیاد مربوط به آن دما) مورد مطالعه قرار گرفت. در هر کدام از این حالت‌ها (رطوبت و دماهای متفاوت)، مکش‌های ۴۵۰، ۷۰۰، ۹۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۴۰۰ دور در دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت. در تمام حالات ذکرشده دمای دستگاه در حالت‌های ۲، ۴ و ۶ درجه زیر نقطه شبنم، مورد مطالعه قرار گرفت. لازم به ذکر



شکل ۱. شماتیک کلی سامانه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

است که دمای نقطه‌شبنم برای هر کدام از شرایط با استفاده از نرم افزار HYSYS محاسبه شد. سپس با استفاده از آزمون مقایسه میانگین و آنالیز آماری بهترین شرایط کارکرد (مقدار مکش و دمای اواپراتور) برای شرایط رطوبتی و دمایی مختلف تخمین زده شد.

نتایج و بحث

تأثیر فیلتر اسفنجی بر میزان آب تولید شده

جهت بررسی تأثیر فیلتر اسفنجی بر میزان آب تولید شده، در ۴ دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس با دامنه تغییرات ۲ درجه و در هرکدام از دماها، در سه حالت رطوبت کم، متوسط و زیاد در دوحالت حضور فیلتر اسفنجی و عدم حضور فیلتر اسفنجی در خروجی تبرید، مقدار آب تولید شده دستگاه محاسبه شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است تمام دوره‌های زمانی در کل بررسی‌های پایلوت ۲۰ دقیقه‌ای هستند.

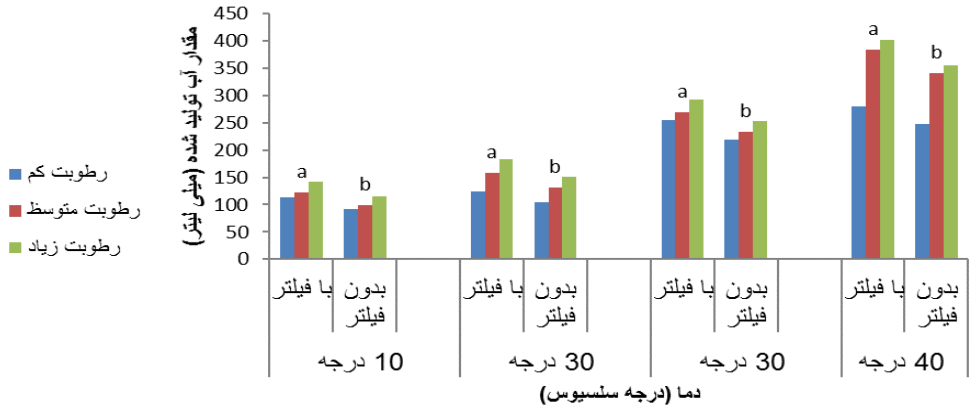
با توجه به آنچه که در این شکل قابل مشاهده است در تمامی شرایط وجود فیلتر اسفنجی باعث افزایش آب تولید شده پایلوت شده است. فیلتر اسفنجی نه‌تنها در شرایط شبنم قادر به جذب قسمتی از رطوبت هوا در بافت اسفنجی خود است بلکه با قرارگرفتن در مسیر خروج هوای مرطوب، مانع از خروج قسمت زیادی از هوای مرطوب، بدون از دست دادن آب می‌شود. بنابراین، در تمامی موارد قادر است تا ۱۵ درصد (معادله-۱) آب تولیدشده دستگاه را افزایش دهد.

$$x = \frac{b - a}{a} \qquad (۱)$$

x = درصد افزایش تولید آب

b = مقدار آب تولیدشده با حضور فیلتر

a = مقدار آب تولیدشده بدون حضور فیلتر



شکل ۲. مقایسه آب بدست‌آمده از پایلوت در شرایط حضور و عدم حضور فیلتر در دماهای مختلف (رنگی در نسخه الکترونیکی)

در این مرحله در شرایط بهینه معرفی‌شده مرحله قبل (حضور فیلتر اسفنجی)، در ۴ دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سلسیوس (با دامنه تغییرات ۲ درجه) پایلوت مورد مطالعه قرار گرفت. برای هر دما در رطوبت‌های مختلف، مکش‌های ۴۵۰، ۷۰۰، ۹۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۴۰۰ دور در دقیقه و برای هر مکش ۳ دمای ۲، ۴، و ۶ درجه زیر نقطه شبنم اعمال شد. در هرکدام از این شرایط مقادیر آب تولیدشده از هر کدام از اواپراتورها محاسبه شد که در ادامه جداگانه به هر کدام از آنها به تفضیل پرداخته شده‌است.

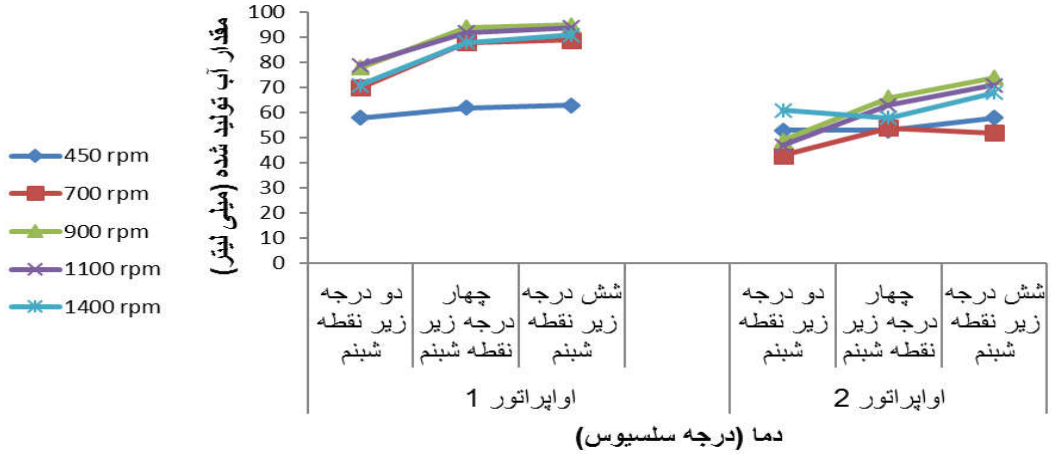
کارکرد دستگاه در دمای ۱۰ °C هوا

در این دما، دستگاه در سه رطوبت نسبی ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد با دامنه تغییرات ± ۲ درصد مورد مطالعه قرار گرفت. از این‌رو در هرکدام از رطوبت‌ها دمای محفظه تبرید در سه حالت ۲ درجه، ۴ درجه و ۶ درجه زیر نقطه شبنم تنظیم و مقادیر آب تولیدشده از هرکدام از اواپراتورها با استفاده از جمع‌کننده‌هایی که زیر هر کدام از اواپراتورها بود محاسبه شد. لازم به ذکر است که دمای نقطه‌شبنم برای هر کدام از شرایط با استفاده از نرم افزار HYSYS محاسبه شد. همچنین، تمام مقادیر اندازه‌گیری شده در زمان کارکرد ۲۰ دقیقه اعمال شد.

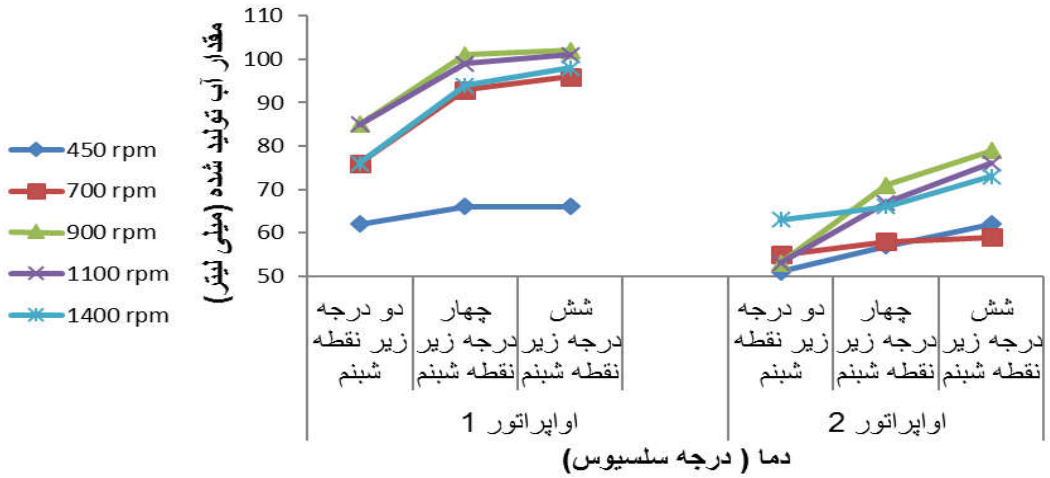
با توجه به شکل۳ در تمامی حالت‌ها مقدار آب تولید شده از اواپراتور ۱ بیشتر از اواپراتور شماره ۲ بود که دلیل عمده آن اولویت قرارگیری اواپراتور شماره یک در بدو ورود هوا به داخل پایلوت است و در نتیجه هوای رسیده به اواپراتور ۲، درصدی از رطوبتش توسط اواپراتور شماره ۱ گرفته شده است. در حالت کلی در تمامی شرایط با کاهش دما از ۲ درجه زیر نقطه شبنم به ۴ درجه زیر نقطه شبنم، میزان آب تولیدی افزایش یافته است این امر را می‌توان به انتقال آنتالپی زیاد جهت انتقال گرما به دلیل اختلاف بیشتر دما و در نتیجه سرعت بخشی به میعان نسبت داد.

لازم به ذکر است در دماهای پایین‌تر اواپراتور سریعتر دمای محفظه را به نقطه شبنم می‌رساند. با توجه به این شکل در مکش ۴۵۰ دوردر دقیقه تفاوت زیادی بین آب تولید شده در دماهای ۴ و ۶ درجه زیر نقطه شبنم وجود ندارد که دلیل آن را می‌توان به داشتن فرصت کافی در تماس مولکول‌های هوا با اواپراتور به دلیل مکش پایین دانست. نکته بعدی که از شکل ۳ قابل استنباط است این است که با افزایش مکش و سرعت جریان هوا از ۴۵۰ به ۷۰۰ دور در دقیقه مقدار آب تولید شده افزایش می‌یابد اما از مکش ۹۰۰ دور در دقیقه به بعد آب تولیدی کاهش می‌یابد چراکه سرعت عبور جریان از محفظه تبرید بیشتر از قدرت تبرید بوده و مقداری از رطوبت هوا بدون تبدیل‌شدن به مایع از دسترس اواپراتورها خارج می‌شود.

شکل ۴ نیز شرایطی مشابه شکل ۳ را نشان می‌دهد. همانطور که قابل مشاهده است اواپراتور شماره یک آب بیشتری تولید کرده،



شکل ۳. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۱۰ درجه و رطوبت ۷۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

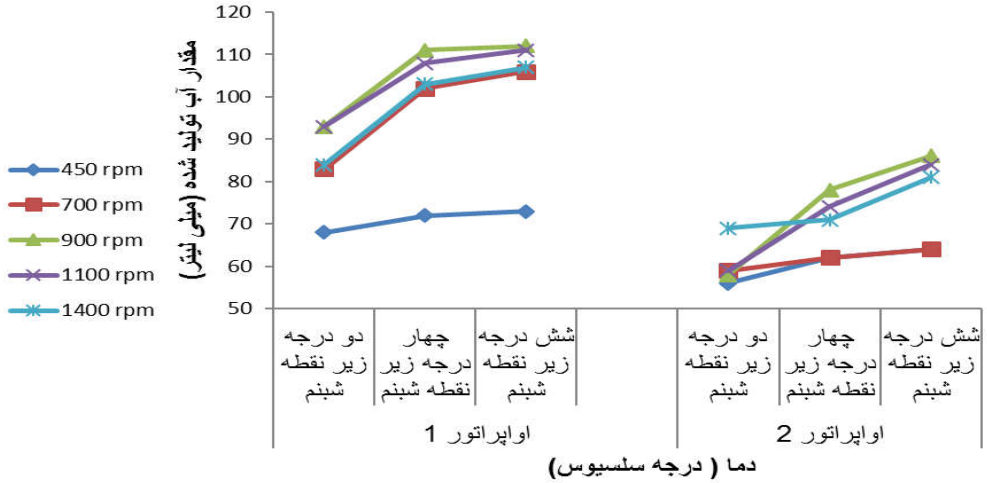


شکل ۴. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۱۰ درجه و رطوبت ۸۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

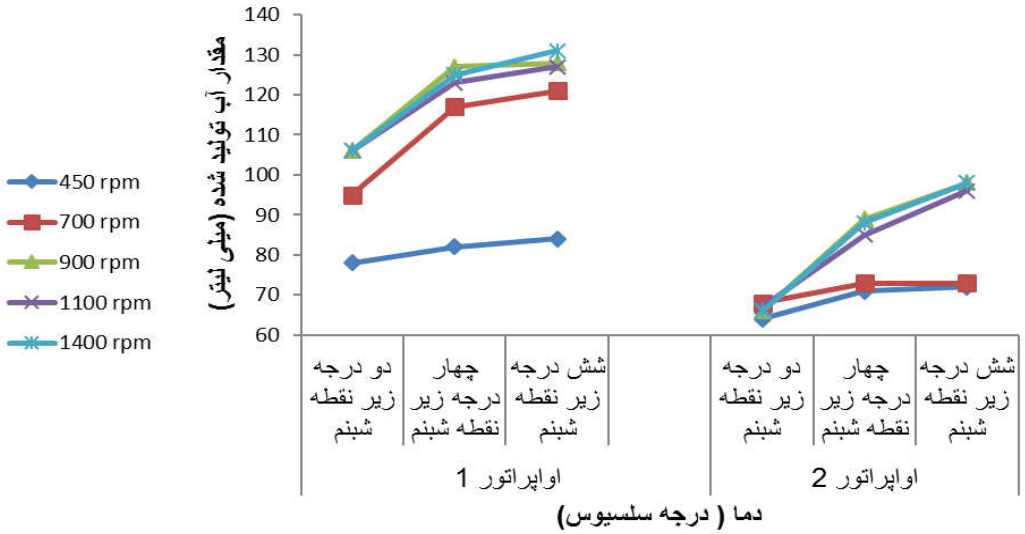
با کاهش دما آب تولید شده افزایش یافته و از مکش ۷۰۰ دور در دقیقه به بعد آب تولید شده کاهش یافته است.

باتوجه به شکل ۵ نیز شرایط تقریباً همان روند کلی نمودارهای قبلی را دنبال می‌کند. یعنی در این شرایط دما و رطوبت، با افزایش مکش و سرعت جریان عبوری هوا تا محدوده ۹۰۰ دور در دقیقه افزایش تولید آب و از این محدوده به بعد توقف و کاهش آب تولید شده را شاهد هستیم.

شرایط شکل ۶ نیز تقریباً روند مشابه شکل‌های دیگر را دنبال می‌کند. با افزایش رطوبت نسبی در دمای ثابت ۱۰ درجه، مقدار آب تولید شده افزایش یافته است. دلیل این امر این است که در دمای ثابت با افزایش رطوبت نسبی رطوبت مطلق موجود در هوا نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، هوای وارد شده به دستگاه حاوی مقادیر بیشتری آب در حجم ثابت است. نقطه قابل توجه که شکل ۶ را متمایز می‌کند این است که با افزایش دور مکش، تولید آب کاهش نیافته است و تقریباً از مکش ۹۰۰ دور در دقیقه تا ۱۴۰۰ دور در دقیقه مقادیر آب تولید شده پایلوت ثابت مانده است. بنابراین، با توجه به آنچه در این شکل‌ها نشان داده شده است می‌توان گفت که سرعت مکش بهینه در رطوبت‌های مختلف با هم متفاوت است و با افزایش رطوبت مطلق، سرعت مکش بهینه نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۵. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۱۰ درجه و رطوبت ۹۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۶. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۱۰ درجه و رطوبت ۱۰۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

در مقایسه این ۴ نمودار می‌توان استنباط کرد که در رطوبت‌های نسبی ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد با کاهش دما از ۴ درجه زیر نقطه شبنم به ۶ درجه زیر نقطه شبنم تغییر چندانی در آب تولید شده دستگاه وجود نداشت اما در رطوبت اشباع (۱۰۰ درصد نسبی) با کاهش دما از ۴ درجه زیر نقطه شبنم به ۶ درجه زیر نقطه شبنم مقدار آب تولید شده دستگاه افزایش یافت. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ۱۰ درجه و شرایط پایلوت مذکور، مکش ۹۰۰ دور در دقیقه بهترین مکش و دمای ۴ درجه نیز در اغلب موارد قادر به تولید مقادیر مقرون به صرفه آب خواهد شد و از آن به بعد با کاهش دما مقدار چندانی به آب تولید شده اضافه نشد. بدین‌ترتیب آب تولیدشده دستگاه در دمای ۲۰ درجه و در شرایط بهینه، برای هر کدام از رطوبت‌های ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد، به‌ترتیب برابر با ۱۲۷، ۱۳۸، ۱۵۱ و ۲۲۶ میلی‌لیتر بود.

کارکرد دستگاه در دمای ۲۰°C هوا

با توجه به شکل ۷ مقدار آب بدست آمده از اواپراتور اول بیشتر از از اواپراتور دوم است و همچنین مکش ۹۰۰ دور در دقیقه بیشترین مقدار تولید آب در هر دو اواپراتور را به همراه داشته‌است و ازین مکش به بعد با افزایش مکش، اواپراتور قدرت سازگاری با این حجم از هوارا جهت تبرید نداشته و آب تولید شده کاهش یافته‌است.

اما نکته قابل توجه این نمودار عدم تفاوت چشمگیر بین آب تولید شده در دو دمای ۴ و ۶ درجه سلسیوس زیر نقطه شبنم در اواپراتور اول است این درحالی‌است که در اواپراتور دوم این مقدار با کاهش دما از ۴ درجه زیر نقطه شبنم به ۶ درجه زیر نقطه شبنم افزایش یافت. این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که سطح مقطع جمع‌کننده می‌تواند در میزان آب تولید شده مؤثر باشد، از این رو با افزایش دما اواپراتور اول تا جایی که می‌تواند قطرات آب را روی خود قرار داده و مقدار خارج از توان نگه‌داری خود را به سمت خروجی هدایت می‌کند. این سطح مقطع محدود بوده و با کاهش دما درحالی‌که سرعت تبدیل بخار آب به مایع بیشتر می‌شود اما این رطوبت مازاد بر گنجایش اواپراتور اول به سمت اواپراتور دوم می‌رود.

شکل ۸ نیز تقریبا روندی مانند شکل ۷ را دنبال می‌کند، با این تفاوت که نسبت به رطوبت نسبی ۴۰ درصد آب بیشتری تولید شده است که این امر به دلیل وجود رطوبت مطلق ببیشتر امری طبیعی است. شکل ۹ نیز که عملکرد پایلوت در دمای ۲۰ درجه و رطوبت نسبی ۶۰ درصد را نشان می‌دهد از روندی مشابه روند دو نمودار قبلی خود تبعیت می‌نماید.

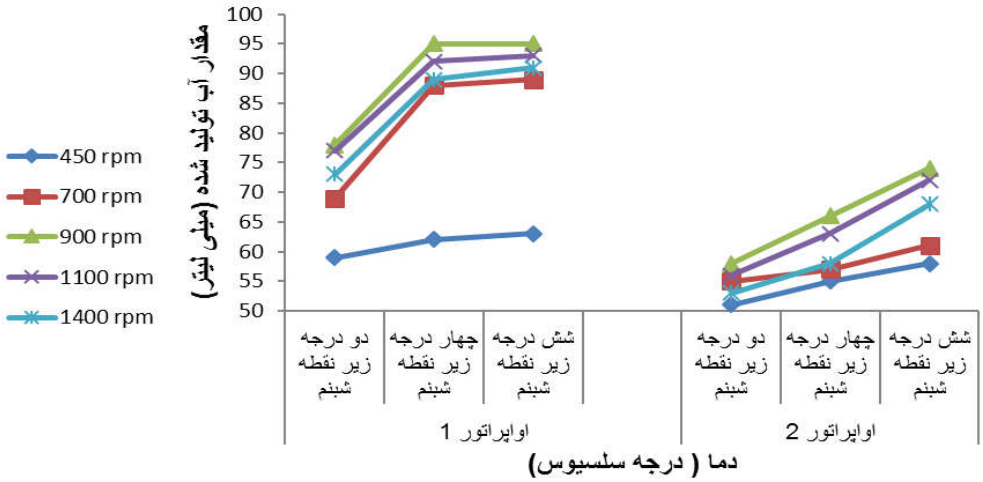
در شکل ۱۰ نیز همان روند نمودارهای قبلی قابل مشاهده‌است. با این تفاوت که در این نمودار به دلیل بالا بودن رطوبت مطلق مقدار آب تولید شده هوا بیشتر از نمودارهای قبل است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و شرایط پایلوت مذکور مکش ۹۰۰ دور در دقیقه بهترین مکش و دمای ۴ درجه نیز در اغلب موارد قادر به تولید مقادیر مقرون به صرفه آب خواهد شد و ازآن به بعد با کاهش دما مقدار چندانی به آب تولیدشده اضافه نشد. بدین‌ترتیب آب تولید شده دستگاه در دمای ۲۰ درجه و در شرایط بهینه، برای هر کدام از رطوبت‌های ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد، به‌ترتیب برابر با ۱۳۶، ۱۷۴، ۲۰۴ و ۲۸۲ میلی‌لیتر بود.

کارکرد دستگاه در دمای°C ۳۰ هوا

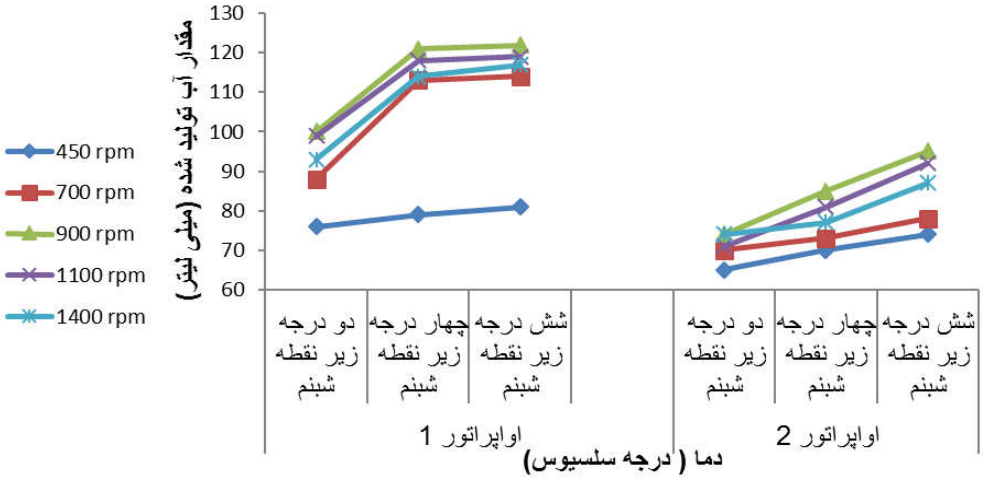
با توجه به شکل ۱۱ مقادیر آب تولید شده در اواپراتور اول بیشتر از اواپراتور دوم است، و به‌جز مکش ۴۵۰ دور در دقیقه در تمامی مکش‌ها مقدار آب تولید شده با کاهش دما از ۴ درجه زیر نقطه شبنم به ۶ درجه زیر نقطه شبنم تغییری پیدا نکرده است. اما در اواپراتور دوم مقدار آب تولیدشده با کاهش دما از ۴ درجه زیر نقطه شبنم به ۶ درجه زیر نقطه شبنم افزایش پیدا کرد. همچنین، از مکش ۹۰۰ دور در دقیقه به بعد با افزایش مکش مقدار آب تولیدشده در اواپراتور اول تغییر نکرد اما در اواپراتور دوم ۱۱۰۰ دور در دقیقه بهترین عملکرد را داشت.

شکل ۱۲ نیز روندی مشابه رطوبت ۵۰ درصد را نشان می‌دهد با این تفاوت که در حالت کلی آب تولیدشده در این رطوبت، بیشتر از رطوبت ۵۰ درصد بود. شکل ۱۳ نیز همان روند دو نمودار قبلی با کمی افزایش مقدار آب تولید شده نسبت به رطوبت‌های پایین‌تر را طی کرده است.

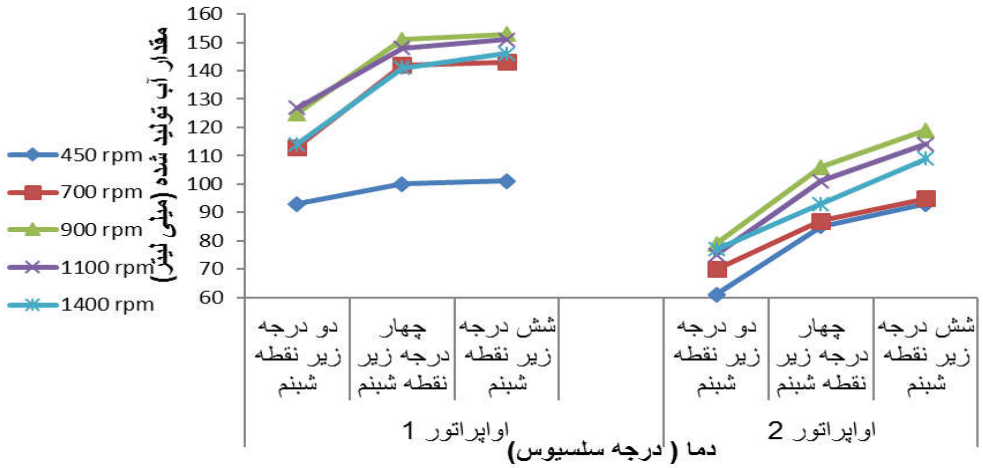
با توجه به شکل ۱۴ همان روند کلی دیگر نمودارها طی شده است با این تفاوت که علاوه بر تولید آب بیشتر در این شرایط (دمایی و رطوبتی) نسبت به شرایط قبل، با افزایش هرچه بیشتر مکش مقدار تولید آب افزایش یافته‌است. برخلاف نمودارهای قبلی که از مکش‌های ۹۰۰ دور در دقیقه به بعد مقادیر آب تولید شده ثابت بوده یا کاهش می‌یافتند، در شرایط دمای ۳۰



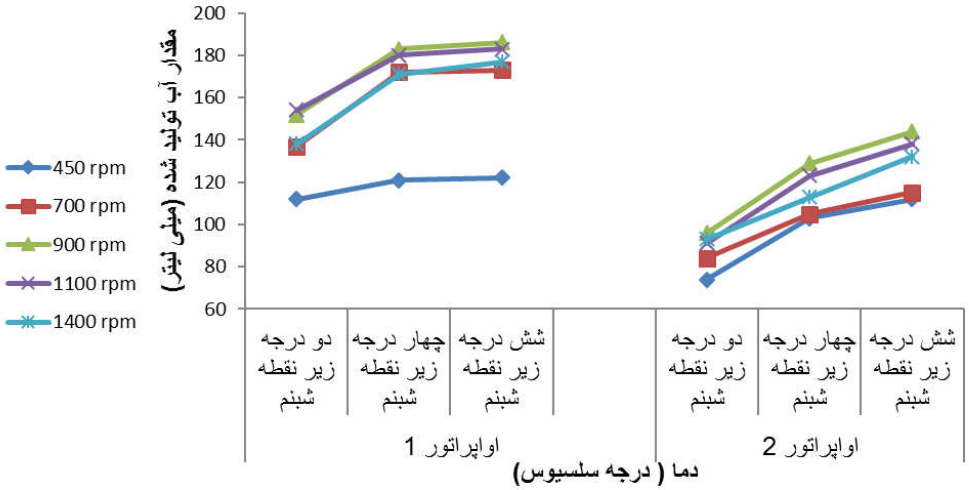
شکل ۷. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۴۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



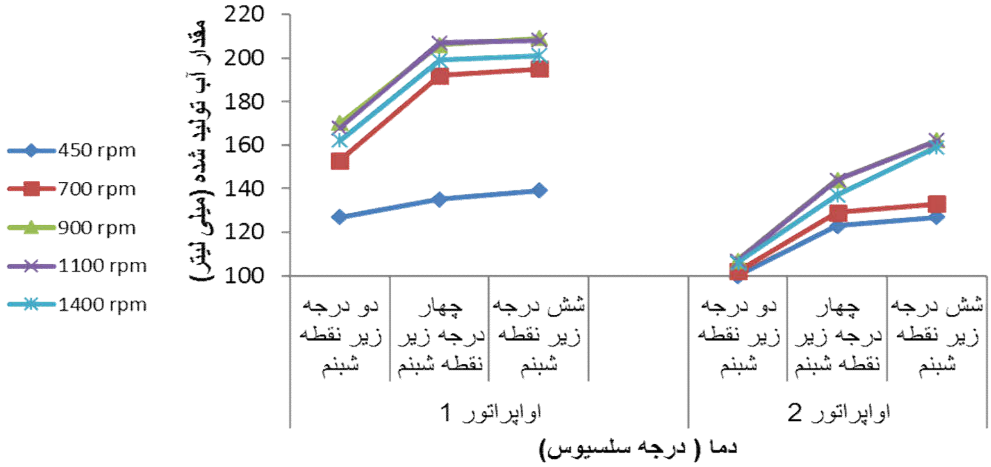
شکل ۸ مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۶۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



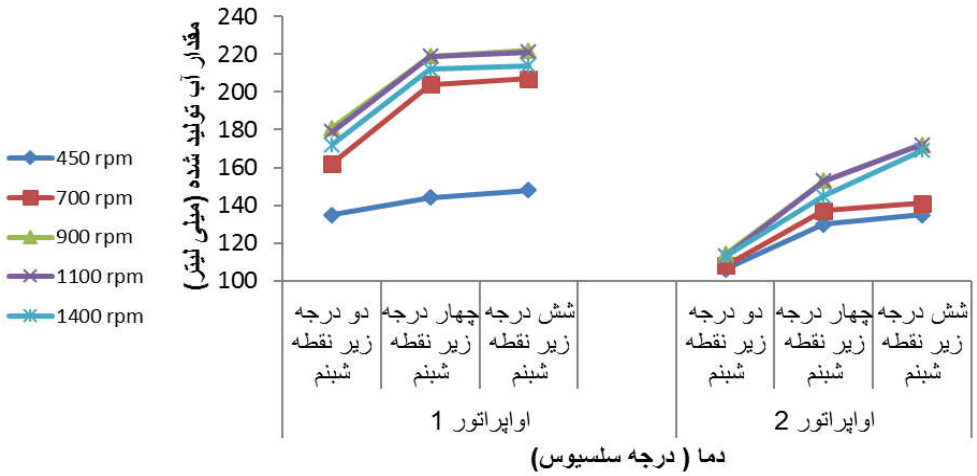
شکل ۹. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۷۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



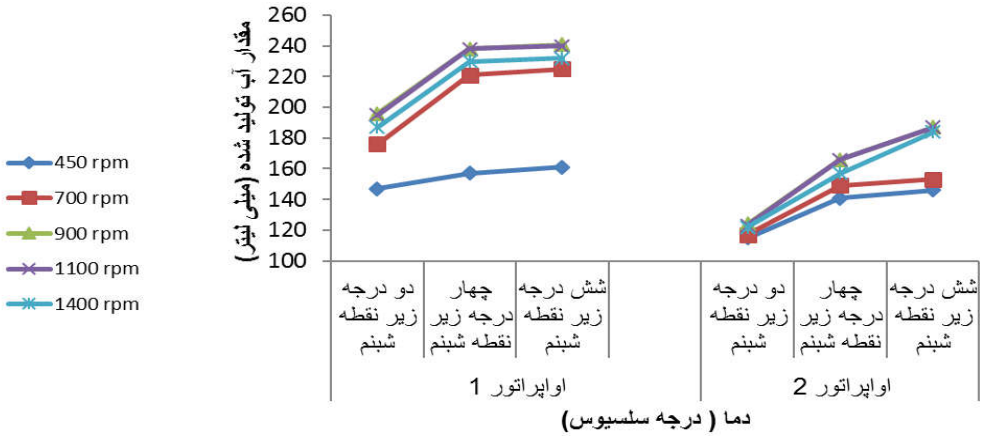
شکل ۱۰. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۸۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



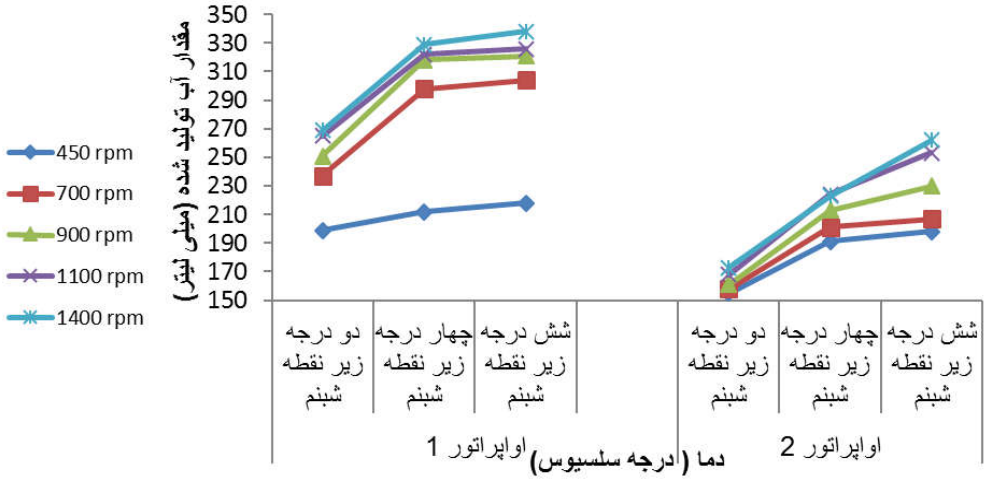
شکل ۱۱. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۳۰ درجه و رطوبت ۵۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۲. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۳۰ درجه و رطوبت ۶۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۳. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۳۰ درجه و رطوبت ۷۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۴. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۳۰ درجه و رطوبت ۸۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

درجه و رطوبت نسبی ۸۰ درصد، رابطه مستقیمی بین مقدار مکش و مقدار آب تولیدشده وجود دارد. باید اذعان داشت با توجه به نمودارهای سایکرومتری مقدار آب موجود در یک حجم معین از هوا در رطوبت نسبی ۸۰ درصد و دمای ۳۰ درجه، چیزی حدود ۴ برابر در همان رطوبت نسبی در دمای ۱۰ درجه است. پس می‌توان گفت با توجه به رطوبت مطلق بالا در این حالت، با افزایش مکش مقدار رطوبت برخورد کرده به اواپراتورها افزایش یافته و درنتیجه مقدار آب تولیدی نیز بالا رفته است و جابجایی نقطه پیک (در نمودار مکش- آب تولیدی) دیده می‌شود. لازم به ذکر است اگر مکش‌های زیادتری در این شرایط رطوبتی و دمایی وجود داشت دیگر ممکن بود با افزایش مکش توقف و یا کاهش تولید آب اتفاق بیفتد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در دمای ۳۰ درجه و رطوبت‌های نسبی ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد، مکش ۹۰۰ دور در دقیقه بهترین مکش و دمای ۴ درجه زیر نقطه شبنم برای اواپراتور اول و ۶ درجه زیر نقطه شبنم برای اواپراتور دوم بهترین نتیجه را داشت. اما در رطوبت نسبی ۸۰ درصد بافزایش مکش تا ۱۴۰۰ دور در دقیقه نیز مقدار آب تولید شده کماکان افزایش یافت. بدین ترتیب آب تولید شده دستگاه در دمای ۳۰ درجه و در شرایط بهینه، برای هر کدام از رطوبت‌های ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد، به‌ترتیب برابر با ۲۲۷،

۲۹۵،۳۲۰ و ۵۵۱ میلی‌لیتر در ۲۰ دقیقه بود.

کارکرد دستگاه در دمای°C ۴۰ هوا

با توجه به شکل ۱۵ اواپراتور اول بیشتر از اواپراتور دوم آب تولید نمود. همچنین در تمامی دماهای ۲، ۴ و ۶ درجه سلسیوس زیر نقطه شبنم مقدار آب تولید شده برای اواپراتور اول در مکش ۹۰۰ دور در دقیقه بیشتر از مکش‌های دیگر است اما در اواپراتور دوم مکش ۱۱۰۰ دور در دقیقه بهترین عملکرد را دارد. نکته قابل توجه در اغلب نمودارها، افزایش اختلاف بین آب تولید شده در اواپراتور دوم (در مکش‌های ۱۱۰۰ و ۱۴۰۰) با کاهش دما از ۴ درجه زیر نقطه شبنم به ۶ درجه زیر نقطه شبنم است. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که در مکش‌های بالا (۱۱۰۰ و ۱۴۰۰ دور در دقیقه) جریان هوا به سرعت از اواپراتور اول عبور می‌کند لذا اواپراتور اول تا حد امکان و قدرتی که دارد عمل آبگیری را انجام می‌دهد اما از آن‌جایی که این توان محدود است، مقادیر زیادی هوا بدون از دست دادن رطوبت از این اواپراتور عبور کرده و به اواپراتور دوم می‌رسد. در این حالت اواپراتور دوم، هوایی با رطوبت نسبی بیشتر نسبت به مکش‌های پایین‌تر در اختیار دارد لذا با داشتن توان بیشتر تبرید (دمای ۶ درجه زیر نقطه شبنم) سریعتر و بیشتر می‌تواند آب بدست بیاورد.

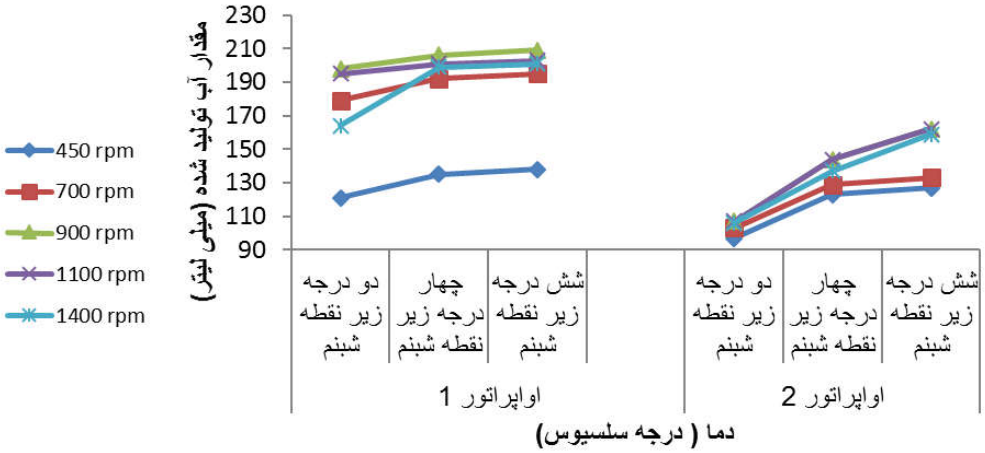
با توجه به شکل ۱۶ با کاهش دمای محفظه تبرید مقدار آب تولیدشده افزایش یافته است. اما در اغلب مکش‌ها اختلاف چندانی بین آب تولید شده در دمای ۴ درجه سلسیوس زیر نقطه شبنم با آب تولیدشده در دمای ۶ درجه زیر نقطه شبنم وجود ندارد. اما در اواپراتور دوم به‌خصوص در مکش‌های زیاد، با کاهش بیشتر دما مقدار آب به‌دست‌آمده بیشتر شد. نکته قابل توجه و متفاوت نسبت به رطوبت نسبی ۳۰ درصد این است که در رطوبت ۳۰ درصد، از مکش‌های ۹۰۰ دور در دقیقه به بعد مقادیر آب تولیدشده ثابت بوده یا کاهش می‌یافتند، اما در شرایط دمای ۴۰ درجه و رطوبت نسبی ۴۰ درصد رابطه مستقیمی بین مقدار مکش و مقدار آب تولید شده وجود دارد. همان‌طور که قبلا هم گفته‌شد با توجه به نمودارهای سایکرومتری مقدار آب موجود در یک حجم معین از هوا در دمای ثابت ، ممکن است با افزایش ۱۰ درصد رطوبت نسبی افزایش دوبرابری رطوبت مطلق را به همراه داشته باشد، لذا می‌توان گفت با توجه به زیاد بودن رطوبت مطلق در این حالت، با افزایش مکش مقدار رطوبت برخوردکرده به اواپراتورها افزایش یافته و نتیجتا مقدار آب تولیدی نیز بیشتر شده و جابجایی نقطه پیک (در نمودار مکش- آب تولیدی) داشته ایم. لازم به ذکر است شاید اگر مکش‌های بیشتری در این شرایط رطوبتی و دمایی داشتیم ممکن بود با افزایش مکش، توقف و یا کاهش تولید آب اتفاق بیفتد.

نمودار ۱۷ نیز نتایجی مشابه با نمودار ۱۶- را نشان می‌دهد با این تفاوت که مقدار آب تولیدشده بیشتر از آب به‌دست‌آمده در رطوبت نسبی ۴۰ درصد است. بدین ترتیب آب تولیدشده دستگاه در دمای ۴۰ درجه و در شرایط بهینه، برای هر کدام از رطوبت‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد، به‌ترتیب برابر با ۳۰۵، ۳۸۴ و ۶۲۱ میلی‌لیتر در ۲۰ دقیقه بود.

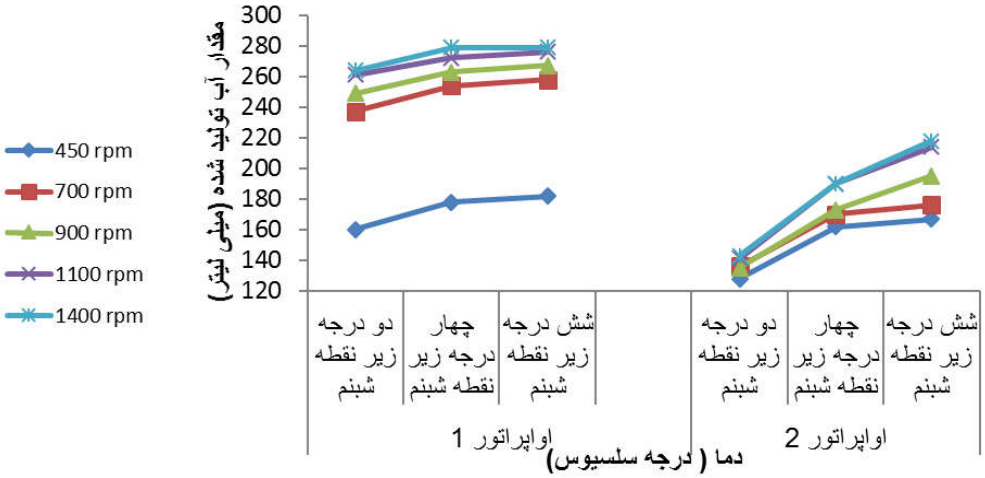
با توجه به جدول ۱ آب حاصل از کندانس دارای کیفیت نسبتا بهتر قابل استفاده در مصارف حساس نیز می‌باشد. از این رو این آب دارای کیفیت برای استفاده در تمامی مصارف با حساسیت‌های زیاد(مثلا شستشوی صورت وتماس با دهان و بینی) نیز است (۲).

نتیجه‌گیری

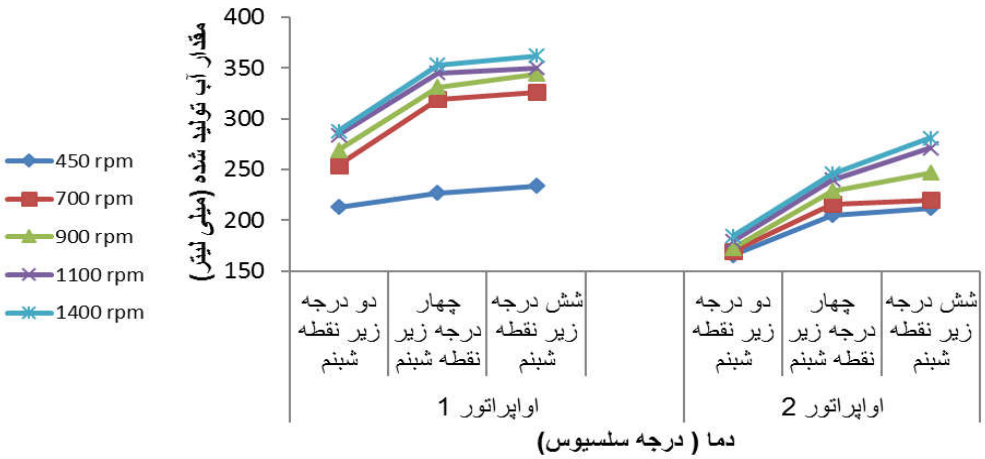
آنچه می‌توان از نمودارهای فوق برداشت کرد این است که بسته به شرایط دما و رطوبت هوا مقدار آب حاصل از کندانس تغییر می‌یابد و این مقدار بیشتر متاثر ازمقدار رطوبت نسبی و دمای هوا می‌باشد که ترکیب این دو عامل در نمودار سایکرومتری، یا بهتر بگوییم مقادیر رطوبت مطلق با توجه به شرایط جوی نمود پیدا می‌کند. همچنین، علاوه بر تغییر شرایط محفظه کندانس به شرایط نقطه شبنم، پارامترهایی از قبیل سرعت جریان هوا، تعداد



شکل ۱۵. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۴۰ درجه و رطوبت ۳۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۶. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۴۰ درجه و رطوبت ۴۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۷. مقدار آب تولید شده از پایلوت در دمای ۴۰ درجه و رطوبت ۵۰ درصد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. مقایسه کیفی آب حاصل از کندانس کولرهای گازی با استاندار مصارف مختلف بر اساس میزان حساسیت (۱۷)

پارامتر	آب حاصل از دستگاه	استاندارد مصارف خیلی حساس	استاندارد مصارف حساس	استاندارد مصارف نیمه حساس
اسیدیته	۷/۱۹	۹-۷*	۱۰-۶	۱۰-۶
قلیاییت	۴۹	۵۰-۰*	۱۰۰-۰	۱۵۰-۰
سختی	۷۱/۸۷	۵-۰	۱۰-۰	۲۵۰-۰*
سولفات	۰	۲۰-۰*	۷۵-۰	۲۵۰-۰*
آهن	۰	۰/۰۵-۰*	۰/۱-۰	۰/۳-۰
منگنز	۰	۰/۰۱-۰*	۰/۰۵-۰	۰/۳-۰

جمع‌کننده، اختلاف دما با نقطه شبنم، وجود سطوح جذب‌کننده رطوبت و ... در مقدار آب تولید شده تأثیرگذار هستند. روندهای کلی به این ترتیب بود که اواپراتور اول با توجه به برخورد هوای مرطوب‌تر مقدار بیشتری‌آب تولید می‌نماید. با کاهش دما از نقطه شبنم اواپراتورها، آب بیشتری تولید کردند. با افزایش سرعت جریان تا یک محدوده معین مقدار آب تولیدشده افزایش و از آن به بعد توقف و یا کاهش دارد که نقطه بیشینه متاثر از مقدار رطوبت و دمای هوای وارد شده و همینطور دمای تثبیت‌شده محفظه میعان می‌باشد. همچنین آب مورد استحصال شده از جو دارای کیفیت مطلوب برای استفاده در مصارف حساس است.

منابع مورد استفاده

1. Alnaser, W. E. and A. Barakat. 2000. Use of condensed water vapor from the atmosphere for irrigation in Bahrain. *Applied Energy* 65(1-4): 3-18.
2. Anonymous. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater 21st ed. APHA, AWWA, WEF. Washington.
3. Badr, A. and M. Habeebullah. 2009. Potential use of evaporator coils for water extraction in hot and humid areas. *Desalination* 237(1-3): 330-345.
4. Beysens, D. 2000. The case for alternative fresh water sources. *Sécheresse* 11:3-8.
5. Beysens, D. A., I. Milimouk and V. Nikolayev. 1998. Dew recovery: old dreams and actual results. *In*: First International Conference of Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada.
6. Bresci, E. 2002. Wake characterization downstream of a fog collector. *Atmospheric Research* 64(1-4): 217-225.
7. Burkard, R. 2003. Fog water collection system. *Atmospheric Research* 37: 2979-2990.
8. Davtalab, R., A, Salamat and R, Oji. 2013. Water harvesting from fog and air humidity in the warm and coastal regions in the south of Iran. *In:* International Congress of Irrigation and Drainage 62(3): 281-288 (In Farsi).
9. Blokland, M. W., G. J, Alaerts and J.M. Kaspersma. 2009. Capacity Development for Improved Water Management, UNESCO-IHE, Delft. Amsterdam
10. Kardavani, P. 2001. the drought and contrasting styles with that in Iran. Tehran University Press, Tehran, Iran (In Farsi)
11. Mahvi, A. H. 2012. Qualitative and quantitative study of water obtained from condensate atmosphere humidity in Bandar Abbas air conditioners. *Medical Journal of Hormozgan* 18(1): 73-80 (In Farsi)
12. Muselli, M., D. Beysens, J. Marcillat, I. Milimouk, T. Nilsson and A. Louche. 2002. Dew water collector for potable water in Ajaccio (Corsica Island, France). *Atmospheric Research* 64(1-4):297-312.

13. Nilsson, T. 1996. Initial experiments on dew collection in Sweden and Tanzania. *Solar Energy Materials Solar Cells* 40(1): 23-32.
14. Olivier, J. and C. J. Rautenbach. 2002. the implementation of fog water collection systems in South Africa. *Atmospheric Research* 64(1-4): 227-238.
15. Ou, Y. and C. Singh. 2002. Assessment of available transfer capability and margins. Power Systems, IEEE *Transactions on Power System* 17 (1-4): 463 -468.
16. Rahimi, M. and R. Baradaran. 2002. Fog collection as a new method of water supply. Iran Meteorological Organization.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 26, No. 1, Spring 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigation of a Combined Physical Model of Water Extraction from Atmosphere in Different Atmospheric Conditions

O. Mohammadi, M. Hesam* and K. Ghorbani[1]

(Received: December 18-2020; Accepted: May 30-2021)

Abstract

Due to many problems in the field of water supply, no study has been done on atmospheric water extraction devices. The objective of this research was to optimize the control parameters and the amounts of water produced from a physical model designed and built by the team including two-phase (refrigeration collector and sponge collector) in different atmospheric conditions were investigated. First, the effect of the sponge filter on the amount of water obtained, then the pilot in different weather conditions were studied to obtain optimal conditions. The suctions of 450 to 1400 rpm were applied at each humidity and temperature. In all the mentioned cases, the temperature of the device was studied at 2, 4, and 6 degrees below the dew point. Results showed that the sponge filter can increase the water produced by up to 15%. The first evaporator produced more water than the second evaporator. The optimal air suction speed inside the device depends on the relative humidity and temperature values. For the first and second evaporators, temperatures below 4 °C and 6 °C are optimal, respectively, and with increasing absolute humidity, the optimum suction speed increases. Parameters such as airflow velocity, number of collectors, temperature difference with dew point, and moisture absorption levels were influential in the amount of water produced. According to the qualitative study, the obtained water has a desirable quality for use in sensitive applications.

Keywords: Evaporator, Suction, Dew point, Air humidity, Sponge filter

1. Department of Water Science and Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
*: Corresponding author, Email: Mhesam@yahoo.com