



کلیف اسمن بین المللی

www.etec.ir

**ETEC**  
Emerging Trends in Energy Conservation

جناب آقای اسرگر خانم

میدرما

ببین کتورانس مین الکی ایستک "نوکردهی نوین ده کهداشت انرژی" و نایگاه تخصصی کهداشت انرژی با حضور جمیع شمیری از شخصیت های برجسته کشور و دانشمیان، کارشناسان، بخش های

دولت، صنعت، تخصصان و دانشمیان باهدف هم افزایی و نوکی بیشتر دانشگاه، دوست و بخش خصوصی با موفقیت در عمل کتیا بنامه مرکزی دانشگاه تهران برگزار کردید.

مقاله با عنوان "استفاده و مطالعه از آتیه های زیربنی جهت کدایش و سرمایش سالهای مستقی و کهداشت (اصلاح موردی شمیران برودت)" توسط کیت علمی کتورانس به صورت ارائه "مقالی" پذیرفته شده است، به منظور تقداری از خدمات شامحتی از جمله "توضیحه دوم" مقاله، مستدیان کدایش نامه به شما ارائه میگردد.

بخت داداران توفیق روز افزون شما را در پیش بر کتور عزیزان از خداوند متعال خواستامند.

دکتر شهریار هادی

دیر کتورانس و مسئول کیت علمی

اسفندماه ۹۳

پسین شهر، برجسته فاقد اعتبار است.

۱۳۶۸

*Shahrooz*



## استفاده دو منظوره از آبهای زیرزمینی جهت گرمایش و سرمایش سالنهای صنعتی و گلخانه‌ای (مطالعه‌ی موردی شهرستان بروجرد)

بهروز گودرزی<sup>۱</sup>، مجید رهنما<sup>۲</sup>، نواب کاظمی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیزاسیون ماشین‌های کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیزاسیون ماشین‌های کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

### چکیده

انرژی زمین گرمایی یکی از منابع انرژی در کشور می‌باشد که می‌توان با سرمایه‌گذاری بلند مدت از آن بهره برد. در این تحقیق ایده‌ای نو برای استفاده از این انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها ارائه شد. با توجه به اینکه آبهای زیرزمینی موجود در ۱۲ متری زمین تقریباً در طول سال دمای ثابتی برابر دمای سالیانه محیط دارند، از دو چاه آب برای گرمایش و سرمایش استفاده شد. با استفاده از پمپی به ارتفاع هیدرولیکی ۱۲ متر و قطر لوله ۲ اینچ، آب در شش دبی ۱۰، ۱۱/۵، ۱۳، ۱۶، ۲۹ و ۳۴ lit/min از یکی از چاه‌ها پمپ شده و بعد از عبور از رادیاتور به چاه دیگر تخلیه گردید. رادیاتور در بیرون ساختمان برای گرمایش و داخل ساختمان برای سرمایش قرار داده شد. دمای محیط ۹ درجه سلسیوس برای گرمایش، ۴۰ درجه سلسیوس برای سرمایش و دمای آب چاه ۱۵/۵ تا ۱۶ درجه سلسیوس بود. و از یک فن برای به جریان انداختن هوا در شش سرعت ۰/۵، ۱/۱، ۲/۲، ۳/۳، ۴/۴ و ۴/۷ m/s از میان رادیاتور استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده از آب چاه برای گرمایش و رساندن دمای هوا از ۹ به ۲۵ درجه سلسیوس می‌تواند باعث کاهش ۲۷/۴ تا ۳۴/۴ درصدی توان مورد نیاز و همچنین برای سرمایش و کاهش دمای هوا از ۴۰ به ۲۵ درجه سلسیوس باعث کاهش ۳۸ تا ۶۰ درصدی توان مورد نیاز بسته به سرعت جریان هوا و دبی آب می‌شود.

کلمات کلیدی: چاه، زمین گرمایی، نسبت انرژی، توان، دبی آب، سرعت هوا



## Dual usage of groundwater for heating and cooling in industrial halls and greenhouses (case study in Borojerd city)

### Abstract

Geothermal energy is one of the energy resources in Iran that can be used with long-term investment. In this study provided a new idea to use of this energy for heating and cooling of buildings. Two wells were used for heating and cooling due to the constant temperature of the ground water in depth of 12 m below ground (approximately is equal to the annual temperature environment during the year). Water flowed in six of 10, 11.5, 13, 16, 29 and 34 lit/min using a hydraulic pump (12 meters hydraulic height and 2 diameter) from first well, and discharge to other well after passing through radiator. The ambient temperature for heating, cooling and wall water temperature was 9°C, 40°C and 15.5-16°C respectively. And an axial fan is used to passing the air in the six-speed, 0.5, 1.1, 2.2, 3.3, 4.4 and 7.4 m/s through the radiator. The results showed that the use of well water can reduce the power requirement between 4.27 to 4.34 percent for heating and Increasing the air temperature from 9 to 25°C and can reduce the power requirement between 38 to 60 percent for cooling and decreasing the air temperature from 40 to 25°C.

**Key words:** wells, geothermal, energy ratio, power, water flow rate, air speed.



## مقدمه

با توجه به اهمیت انرژی در توسعه و پیشرفت هر کشور، وجود بحران انرژی و اتمام منابع تجدید ناپذیر، تحقیقات و پیشرفت‌های زیادی در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته برای جایگزینی منابع تجدید پذیر انجام شده است. در ایران نیز تحقیقات زیادی در این خصوص صورت گرفته که بیشتر معطوف به استفاده از انرژی آب، خورشید و باد می‌باشد. بهینه سازی مصرف انرژی‌های فسیلی و استفاده از انرژی‌های نو یا تجدید پذیر راه حلی برای حفظ محیط زیست و خارج شدن از بحران انرژی است. یکی از مهمترین منابع تجدید پذیر در جهان و ایران انرژی زمین گرمایی می‌باشد. در جهان تحقیقات زیادی در این خصوص انجام گرفته و حتی نیروگاه‌های چند هزار مگاواتی نیز نصب و راه‌اندازی شده است و در این میان به کشور ایسلند می‌توان اشاره نمود که حدود ۵۳٪ انرژی مورد نیاز خود را از زمین گرمایی تولید می‌کند (Ragnarsson, 2010). در ایران نیز ۵ پمپ حرارتی زمین گرمایی در مشکین‌شهر، طالقان، رشت، اهواز و بندر عباس نصب شده است و نتایج نشان داده است که می‌تواند در بخش سرمایش ۵۰ تا ۷۰٪ کاهش مصرف برق داشته باشد (رزاقی، ۱۳۹۰).

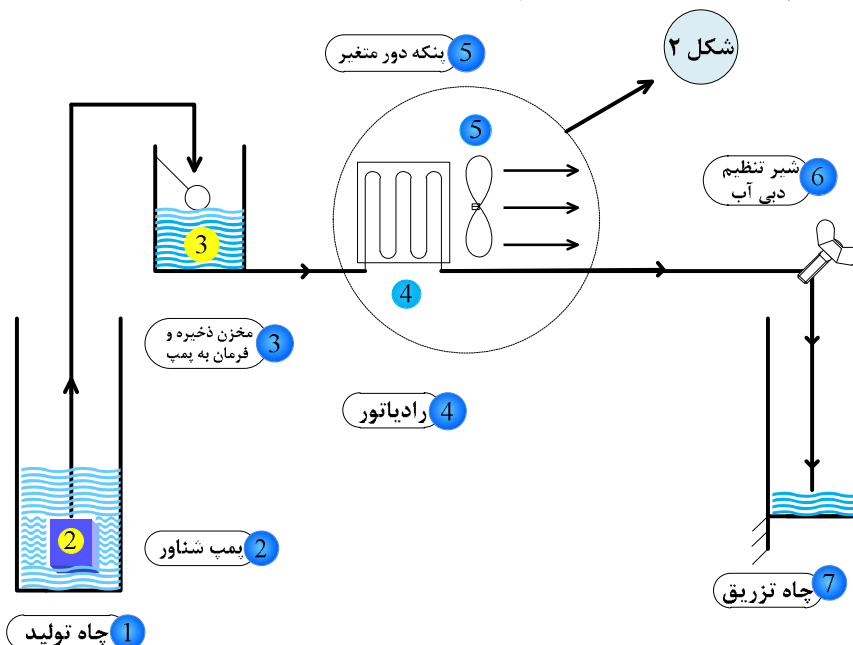
از جمله مزایای استفاده از زمین گرمایی کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی الکتریکی، آلوده نشدن آب، عدم نیاز به تأسیسات و تجهیزات گران قیمت و پیچیده، تعمیر و نگهداری فوق العاده آسان را می‌توان نام برد. استفاده از انرژی زمین گرمایی در مناطق روستایی با توجه به اینکه دمای آب چاه‌های آبیاری موجود در مناطق روستایی، مراکز صنعتی نظیر مرغداری‌ها در طول سال تقریباً ثابت می‌باشد، ایده‌ای جدید و نو می‌باشد و تا کنون در کشور و جهان انجام نگرفته است. استفاده از دمای ثابت آب موجود در چاه در فصل زمستان برای گرمایش و در فصل تابستان برای سرمایش می‌تواند علاوه بر داشتن مزایای ذکر شده در بالا، مزایای دیگری همچون، عدم نیاز به حفر چاه تولید در اکثر مراکز صنعتی و گلخانه ای و دامداری و مرغداری (زیرا چاه آب دارند)، عدم نیاز به لوله کشی سیستم های بسته، استفاده دو منظوره از گرمایشی و سرمایشی با یک سیستم، آلودگی صوتی پایین و قابل کنترل، استفاده در مناطق دور از خطوط گاز، امکان استفاده از آب گرم و یا سرد خروجی از سیستم، امکان استفاده مستقیم از هوای خروجی سیستم جهت گرمایش و سرمایش مکانهای صنعتی و گلخانه ای و دامداری و ... خواهد بود. بنابراین تحقیقی با هدف بررسی و برآورد، دبی آب چاه و سرعت جریان هوا برای سرمایش و گرمایش، تعیین درصد کاهش توان مورد نیاز برای سرمایش و گرمایش تا دمای مطلوب (۲۵ درجه سلسیوس) با استفاده از دو چاه (یکی برای تولید آب و دیگری برای تخلیه) انجام گرفت. با توجه به اینکه هیچ گونه تحقیقی در این مورد صورت نگرفته است، بسیاری از فاکتورها از جمله دبی آب چاه با توجه به نیاز و امکانات موجود انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

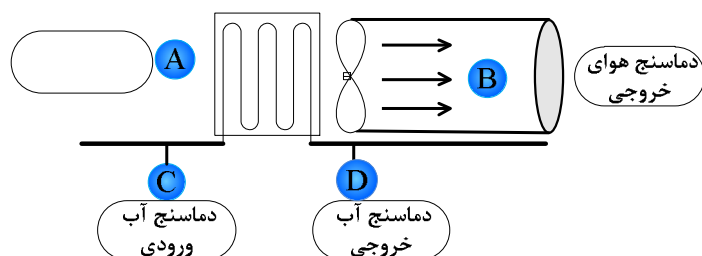
در این تحقیق به منظور مطالعه‌ی قابلیت استفاده از دمای آب زیر سطحی، چاه آب (با EC در حد شرب) یک کارگاه تولیدی واقع در شهرستان بروجرد با ارتفاع ۱۶۷۰ متر از سطح دریا و میانگین دمای سالیانه ۱۴٫۵ درجه سانتی گراد، مورد استفاده قرار گرفت. آب چاه توسط پمپ به داخل مخزنی ۱۰۰ لیتری ریخته شده و سپس با دبی‌های مختلف از رادیاتور عبور داده شده و به چاه دوم (چاه تزریق یا تخلیه) تخلیه می‌شد. برای سیستم گرمایش دمای محیط به وسیله یک فن با سرعت‌های مختلف به رادیاتور دمیده شده و با دریافت حرارت از رادیاتور از آن خارج می‌گردید. برای سرمایش با توجه به اینکه دمای هوا در شهرستان بروجرد به حدود ۴۰ درجه در تابستان می‌رسید، تا چهل درجه گرم و سپس به رادیاتور دمیده شد و هوای خنک از رادیاتور خارج گردید. شکل (۱) شماتیک قسمت‌های مختلف سیستم طراحی شده و نحوه قرار گرفتن قطعات نسبت به یکدیگر نشان داده شده است.

در طول سال طبق اندازه گیری‌های مستمر دمای آب زیر سطحی در عمق ۱۰ الی ۱۲ متری تقریباً ثابت و برابر  $16^{\circ}\text{C}$  به دست آمد و حتی پس از بارندگی‌ها نیز دستخوش تغییراتی در حدود ۱ درجه هم نشد. لذا با توجه به نزدیکی دمای این آب به میانگین دمای سالیانه تصمیم به بررسی استفاده سرمایشی و گرمایشی از این منبع عظیم انرژی در دشت سیلاخور (به ابعاد

۵۰×۱۰ کیلومتر) گرفته شد. از چاه قدیمی و متروک کارگاه با فاصله‌ی ۱۰ m از چاه اول (تولید) به عنوان چاه تزریق استفاده شد و پس از آزمایش ثبات دمای آب چاه تولید پس از دو ساعت (ریختن آب از چاه تولید به چاه تزریق) و مشاهده دمای ثابت ۱۶ درجه سانتی گراد اقدام به نصب تجهیزات بر روی چاه شد.



شکل ۱- شماتیک سیستم طراحی شده برای سرمایش و گرمایش



شکل ۲- محل قرار گرفتن دماسنج‌ها در ورودی و خروجی‌ها

به منظور پمپاژ آب مورد نیاز از یک الکتروپمپ شناور با قدرت  $2200\text{ W}$  با ورودی  $220\text{ V}$ ، فرکانس  $50\text{ Hz}$ ، دور  $\text{rpm}$   $1500$  و دبی  $200\text{ lit/min}$  در شرایط مورد نظر با نام تجاری توان تک استفاده شد. سپس با استفاده از یک شیلنگ پلی اتیلنی  $2$  اینچی، آب به یک مخزن  $100$  لیتری منتقل شد. مخزن  $100$  لیتری حاوی یک شناور و کلید فرمان برای ثابت نگه داشتن سطح آب تا حد لازم بود و جهت نظر عایق بندی از پشم شیشه استفاده شد. آب ذخیره شده در منبع به فراخور دبی مورد نیاز به یک رادیاتور که با یک فن به صورت افقی کوپل شده بود، انتقال داده شد. رادیاتور مورد نظر دارای سطح بادخور به ابعاد  $38 \times 35 \times 60$  لوله‌ی افقی آلومنیومی با سطح مقطع  $25 \times 1\text{ mm}$  و ساخت شرکت کوشش رادیاتور مربوط به خودروی پژو روآ می‌باشد. پنکه مورد استفاده با قطر  $40\text{ cm}$  با الکتروموتور  $75\text{ W}$ ، ولتاژ  $220\text{ V}$ ،  $50\text{ Hz}$  و دور  $1500\text{ rpm}$  ساخت شرکت دمنده بود. توسط یک دیمر الکترونیکی با کنترل ولتاژ ورودی و به صورت سری، جهت کنترل دور بر دقیقه و به تبع آن دبی هوا استفاده گردید.

مطابق شکل (۲) دمای آب قبل از ورود به رادیاتور و پس از خروج از رادیاتور و دمای هوا قبل از ورود به پره های رادیاتور و پس از خروج از پنکه توسط چهار دماسنج یکسان، پس از هر تکرار و تیمار توسط یک نفر قرائت و ثبت شد. آب خروجی از رادیاتور قبل از ریزش به چاه تزریق توسط یک شیر قابل تنظیم، جهت اعمال دبی مورد نظر کنترل شد.

### داده برداری

برای گرمایش پس از نصب سیستم در یک محیط بسته با شرایط دمایی ۹ درجه سلسیوس (دمای محیط) و رطوبت ۸۰ درصد و فشار ۶۲۰/۸۷ میلی‌متر جیوه و تقریباً بدون باد موثر، با فاصله‌ی زمانی ۲ دقیقه بین هر تیمار و ۲ دقیقه بین هر تکرار داده برداری انجام شد. به علت استفاده حتی المقدور از شرایط یکسان دمایی آزمایش از ساعت ۶ صبح ۲ شروع و در ساعت ۹ صبح خاتمه یافت.

همچنین در داده برداری قسمت سرمایش آزمون، از یک گرمخانه با مشعل گازوئیلی استفاده شد که پس از رساندن دمای محیط گرمخانه به حدود  $40^{\circ}\text{C}$  (شرایط متوسط دمای مردادماه شهرستان بروجرد در ساعات بین ۱۰ الی ۱۶ بعد از ظهر) داده برداری از تیمارهای مختلف با شرایط قبلی انجام شد. استفاده از اینورتر و الکتروپمپ سه فاز دارای مزایایی چون استارت ایمن الکتروپمپ و کنترل دبی با دقت بسیار بالا و به طور پیوسته، بود. به همین منظور پیش از مونی جهت صرفه جویی و مصرف کمترین میزان توان الکتریکی با استفاده از نیروی مکش آب ریخته شده در چاه تزریق به وسیله‌ی پایین بردن ارتفاع ریزش آب در عمق ۷ متری انجام شده که نتیجه حاکی از صرفه جویی ۱۲ درصدی در توان مورد نیاز و رسیدن آمپر مصرفی از ۱۱/۱ به ۹/۸ آمپر بود. لازم به ذکر است با توجه به اینکه هیچ گونه تحقیقی در این باره صورت نگرفته بود دبی‌ها و سرعت‌های مورد آزمایش به صورت تجربی و با توجه به دبی آب و سرعت هوا در سیستم‌های خنک‌کننده منازل و امکانات موجود در منطقه انتخاب گردید (۱). همچنین برای سیستم سرمایش لازم بود که دمای محیط به  $40^{\circ}\text{C}$  برسد، بنابراین آب به ساختمانی در فاصله ۱۵ متری از موقعیت قبلی (گرمایش) هدایت شد که باعث کاهش دبی آب برای سرمایش گردید. در جدول (۱) سطوح مورد آزمایش تیمارهای دبی آب و سرعت جریان هوا، دما و رطوبت محیط، دمای آب چاه برای سرمایش و گرمایش، مقدار توان مصرفی فن و الکتروپمپ در سرعت‌ها و دبی‌های مورد نظر آورده شده است.

جدول ۱- سطوح مورد آزمایش تیمارها و پارامترهای مربوط به تیمارهای مذکور

نوع سیستم	سرعت جریان هوا (m/s)	توان مصرفی فن (W)	دبی آب (lit/min)	توان مصرفی الکتروپمپ (W)	دمای محیط (°C)	دمای آب چاه (°C)	رطوبت محیط (%)
گرمایش	۰/۵	۱۹					
	۱/۱	۴۱	۱۶	۱۷۵			
	۲/۲	۵۲	۲۹	۳۳۰	۹	۱۶	۸۰
	۳/۳	۶۵	۳۴	۳۷۰			
	۴/۴	۷۸					
	۴/۷	۹۰					
سرمایش	۳/۳	۶۵	۱۰	۱۱۰			
	۴/۴	۷۸	۱۱/۵	۱۳۰	۴۰	۱۵/۵	۸۰
	۴/۷	۹۰	۱۳	۱۴۰			

### ارزیابی سیستم‌ها

جهت ارزیابی سیستم، توان داده شده به (سیستم گرمایشی) یا گرفته شده از (سرمایشی) هوا  $P_{air}$ ، توان از دست داده شده (سیستم گرمایشی) یا دریافت شده (سرمایشی) توسط آب  $P_w$ ، توان فن در سرعت‌های مختلف  $P_f$ ، توان الکتروپمپ  $P_e$ ،

راندمان حرارتی سیستم  $\eta_{SYS}$ ، توان گرمایشی یا سرمایشی لازم برای رسیدن به دمای مطلوب  $25^\circ\text{C}$  ( $P_{de}$ )، در صد کاهش توان مورد نیاز (DP) که به صورت نسبت توان خالص تولیدی به توان مصرفی بر حسب در صد برای رسیدن به دمای مطلوب، تعریف می‌شود و نسبت انرژی ( $\mu$ ) که برابر انرژی یا توان دریافت شده توسط هوا (توان مفید) به توان مصرفی یا داده شده به سیستم (توان فن و الکتروپمپ) از روابط زیر محاسبه گردید.

توان دریافتی یا داده شده توسط هوا در اثر تغییر دما از  $T_1$  به  $T_2$  بر حسب kW برابر است با (Ayensu, 1997; Duffie and Beekman, 1991):

$$P_{air} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \quad (1)$$

که در این رابطه  $\dot{m}_a$  دبی جرمی هوا بر حسب kg/s و  $h_1$ ، آنتالپی هوا در دمای  $T_1$  و  $h_2$  آنتالپی هوا در دمای  $T_2$  بر حسب kJ/kg می‌باشد که مقادیر آنتالپی هوا از نمودارهای سایکرومتریک استخراج گردید (رهنما، ۱۳۸۹).  
توان دریافتی یا داده شده توسط آب در اثر تغییر دما از  $T_1$  به  $T_2$  بر حسب kW برابر است با (Condori and Saravia, 2003):

$$P_w = \dot{m}_w(h_2 - h_1) \quad (2)$$

که  $\dot{m}_w$  دبی جرمی آب بر حسب kg/s و  $h_1$ ، آنتالپی آب در دمای  $T_1$  و  $h_2$  آنتالپی آب در دمای  $T_2$  بر حسب kJ/kg می‌باشد که مقادیر آنتالپی آب از جداول ترمودینامیک استخراج گردید (Sonntag et al., 1998).  
راندمان حرارتی سیستم از تقسیم توان حرارتی مفید دریافتی از سیستم به توان حرارتی ورودی به سیستم بر حسب درصد به دست می‌آید که برابر است با:

$$\eta_{sys} = \frac{P_{air}}{P_w} \times 100 \quad (3)$$

توان لازم برای رسیدن به دمای مطلوب  $25^\circ\text{C}$  ( $P_{de}$ ) برابر است با:

$$P_{de} = \dot{m}_a(h_2 - 42.91) \quad (4)$$

که مقدار  $42.91$  kJ/kg، آنتالپی هوا در دمای  $25^\circ\text{C}$  و رطوبت  $80\%$  می‌باشد که از نمودار سایکرومتریک به دست می‌آید. لازم به ذکر است که رطوبت هوا در این دما از  $80\%$  به  $28/98\%$  کاهش خواهد یافت (رهنما، ۱۳۸۹).  
در صد کاهش توان مورد نیاز (DP) برابر است با:

$$DP = \frac{P_{air} - P_f - P_e}{P_{de}} \times 100 \quad (5)$$

نسبت انرژی برابر است با:

$$\mu = \frac{P_{air}}{P_f + P_e} \times 100 \quad (6)$$

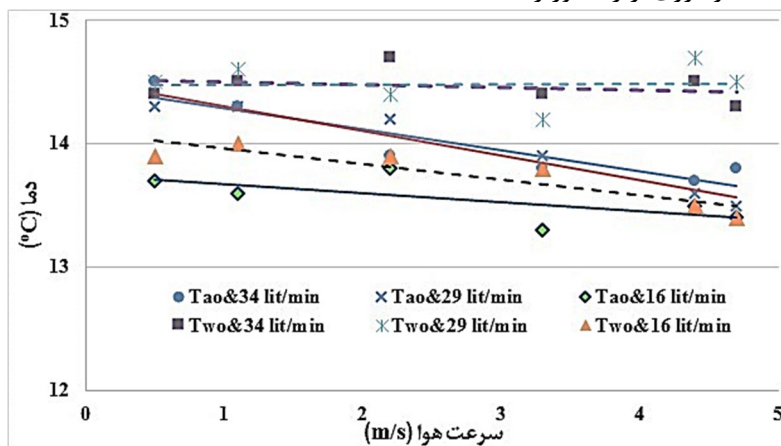
نسبت انرژی بیانگر انرژی کسب شده به انرژی مصرف شده می‌باشد و ملاک بسیار مناسبی برای کارآمدی سیستم می‌باشد که در برخی منابع این نسبت را کارایی و برخی بهره‌وری انرژی نام نهاده اند. داده‌ها با استفاده از نرم افزار Excel پردازش و گراف‌های مربوطه ترسیم گردید و بهترین سرعت هوا و دبی آب برای هر دو سیستم سرمایش و گرمایش مشخص گردید که در زیر به تفصیل شرح داده شده است.

## نتایج و بحث

### سیستم گرمایشی

شکل (۳) نمودار دمای آب ورودی ( $T_{wi}$ )، آب خروجی از سیستم ( $T_{wo}$ )، هوای ورودی ( $T_{ai}$ ) و هوای خروجی ( $T_{ao}$ ) را در دبی‌های مختلف آب و سرعت‌های مختلف هوا نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در دو دبی آب  $34$  و  $lit/min$  تغییر دمایی نسبت به افزایش سرعت مشاهده نمی‌شود و این مطلب بیانگر آن است که دبی‌های فوق برای افزایش دمای هوا زیاد بودند و حجم زیاد آب باعث عدم تغییر محسوس دما در اثر تغییر دبی هوا شود. همچنین با توجه به نمودار مشاهده می‌شود هر چه سرعت جریان هوا کمتر شود، دمای هوا افزایش می‌یابد. علت احتمالا به خاطر این است که با کاهش سرعت

جریان هوا، مولکول‌های هوا فرصت کافی برای جذب دما از رادیاتور را نداشته‌اند. ولی در سرعت‌های بالای هوا، مولکولها فرصت و زمان کافی برای جذب بیشتر انرژی از رادیاتور را نداشته‌اند.

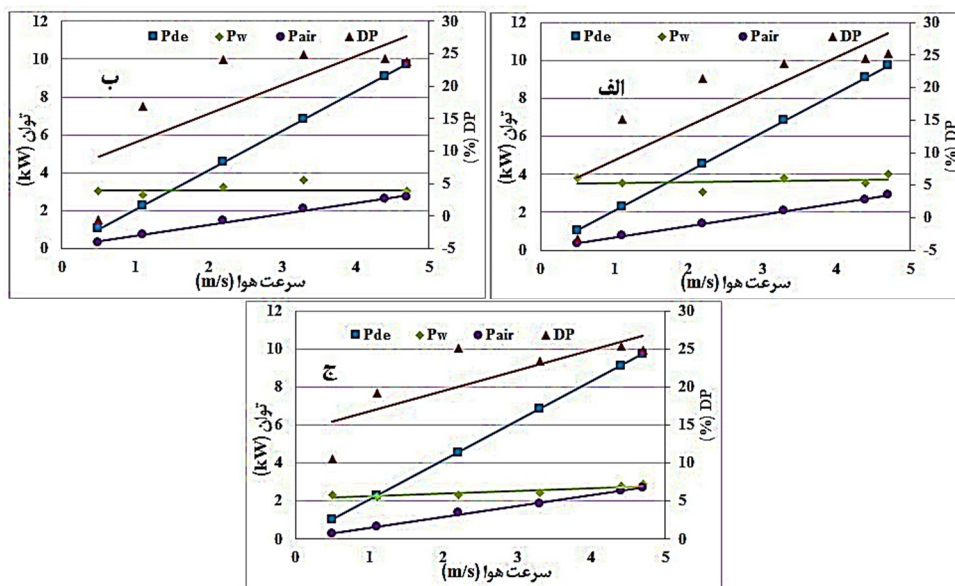


شکل ۳- نمودار روند تغییرات دمایی آب و هوا در دبی‌های مختلف آب و سرعت‌های مختلف هوا

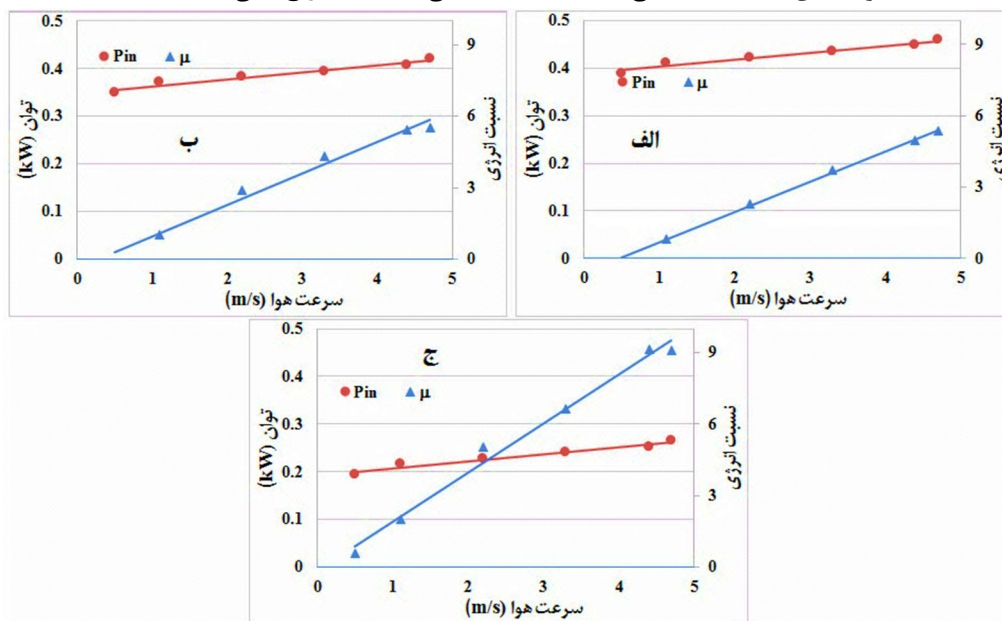
شکل (۴) تغییرات توان مورد نیاز برای رسیدن به دمای مطلوب  $25^{\circ}\text{C}$  ( $P_{de}$ )، درصد کاهش توان مورد نیاز ( $DP$ )، توان دریافتی هوا ( $P_{air}$ ) و توان از دست داده شده توسط آب ( $P_w$ ) در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد. مقدار درصد کاهش توان مصرفی، درصدی از توان که توسط آب تامین شده است را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در هر سه دبی آب با افزایش سرعت هوا، مقدار  $DP$  (از  $3/22\%$  در سرعت  $0/5\text{ m/s}$  تا  $25/29\%$  در سرعت  $4/7\text{ m/s}$  برای دبی  $34\text{ lit/min}$ ، از  $0/59\%$  در سرعت  $0/5\text{ m/s}$  تا  $24/24\%$  در سرعت  $4/7\text{ m/s}$  برای دبی  $29\text{ lit/min}$  و از  $10/00\%$  در سرعت  $0/5\text{ m/s}$  تا  $24/77\%$  در سرعت  $4/7\text{ m/s}$  برای دبی  $16\text{ lit/min}$ ) و توان مورد نیاز افزایش می‌یابد (از  $10/35\text{ kW}$  در سرعت  $0/5\text{ m/s}$  تا  $9/725\text{ kW}$  در سرعت  $4/7\text{ m/s}$ ). علت این است که با افزایش سرعت مقدار جرم هوا نیز افزایش یافته و باعث می‌شود توان دریافتی از آب کسر کوچکی از توان مورد نیاز باشد. هر چند با توجه به شکل‌های مذکور با افزایش توان، توان دریافتی هوا افزایش می‌یابد ولی این افزایش در مقایسه با افزایش توان مورد نیاز کم می‌باشد. با افزایش سرعت با توجه به شکل (۴) اختلاف بین توان دریافتی هوا و توان از دست داده شده توسط آب کاهش می‌یابد. همچنین درصد کاهش توان مورد نیاز در دبی  $34\text{ lit/min}$  بیشتر از دو دبی دیگر در تمام سرعت‌ها می‌باشد.

در شکل (۵) تغییرات کل توان ورودی،  $P_{in}$  (توان مورد نیاز برای پمپ آب و توان فن) و نسبت انرژی  $\mu$ ، (انرژی یا توان دریافتی توسط هوا به کل انرژی یا توان ورودی) نسبت به تغییرات سرعت هوا برای هر سه دبی مورد آزمایش آورده شده است. در هر سه دبی با افزایش سرعت مقدار توان ورودی یا هزینه شده تقریباً ثابت می‌باشد. زیرا توان ناشی از تغییر سرعت فن درصد کوچکی از کل توان که شامل توان پمپ است، را شامل می‌شد (مطابق جدول (۱))،  $19\text{ W}$  برای سرعت  $0/5\text{ m/s}$  تا  $90\text{ W}$  برای سرعت  $4/7\text{ m/s}$ . با توجه به شکل (۵) نسبت انرژی که بیانگر انرژی یا توان مفید کسب شده به توان مصرفی است، نیز با افزایش سرعت افزایش داشته است و بیشترین مقدار آن در دبی  $16\text{ lit/min}$  و سرعت  $4/4\text{ m/s}$  با مقدار  $9/12$  حاصل شده است. علت، کم بودن توان مصرفی در دبی مذکور در مقایسه با سایر دبی‌ها است که در مخرج کسر قرار می‌گیرد (مطابق جدول ۱ که برابر  $0/265\text{ kW}$  در دبی  $16\text{ lit/min}$  و سرعت  $4/7\text{ m/s}$ ،  $0/42\text{ kW}$  در دبی  $29\text{ lit/min}$  و سرعت  $4/7\text{ m/s}$  و  $0/46\text{ kW}$  در دبی  $34\text{ lit/min}$  و سرعت  $4/7\text{ m/s}$ ) و افزایش انرژی دریافتی هوا در اثر افزایش سرعت (شکل ۵) است که در صورت کسر قرار می‌گیرد. همچنین این نسبت برای سرعت  $4/7\text{ m/s}$  خیلی نزدیک به سرعت  $4/4\text{ m/s}$  می‌باشد ( $9/09$  در برابر  $9/12$ ) که نشان می‌دهد سرعت خیلی زیاد هوا باعث کاهش بهره‌وری سیستم شده است.



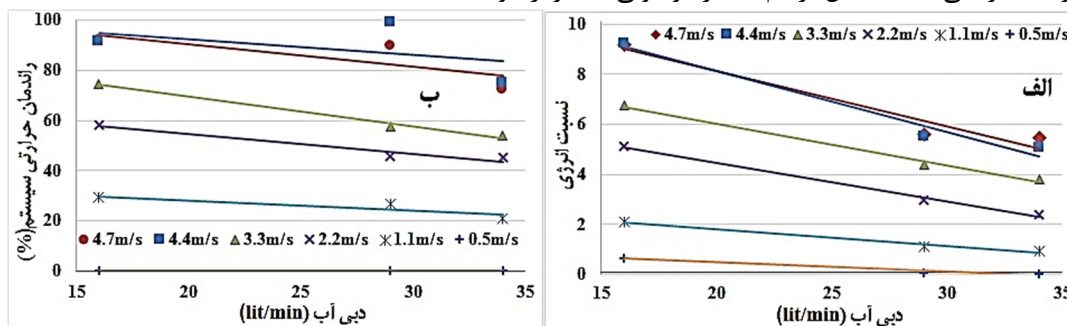


شکل ۴- تغییرات توان مورد نیاز ( $P_{de}$ ), درصد کاهش توان مورد نیاز ( $DP$ ), توان دریافتی هوا ( $P_{air}$ ) و توان از دست داده شده آب ( $P_w$ ) در سرعت‌های مختلف (الف) دبی ۲۴ lit/min - (ب) دبی ۲۹ lit/min و (ج) دبی ۱۶ lit/min



شکل ۵- تغییرات  $P_{in}$  و نسبت انرژی ( $\mu$ ) نسبت به تغییرات سرعت هوا. (الف) دبی ۲۴ lit/min - (ب) دبی ۲۹ lit/min و (ج) دبی ۱۶ lit/min  
 شکل (۶) تغییرات نسبت انرژی (الف) و راندمان حرارتی (ب) نسبت به دبی‌های مختلف آب ورودی را نشان می‌دهد با توجه به شکل (۶-الف) در تمام سرعت‌ها با افزایش دبی آب ورودی به سیستم نسبت انرژی کاهش یافته است و همچنین در هر دبی با افزایش سرعت نسبت انرژی افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار در دبی ۱۶ lit/min و سرعت‌های ۴/۴ و ۴/۷ m/s به دست آمده است. این مطلب بیانگر آن است که در دبی‌های پایین افزایش بیش از حد سرعت هوا تاثیر در مقدار نسبت انرژی ندارد. همچنین با توجه به شکل (۶-ب) راندمان حرارتی سیستم با افزایش دبی در تمام سرعت‌ها کاهش یافته است. علت این است که با افزایش دبی مقدار انرژی ورودی بیشتر شده و باعث کاهش راندمان حرارتی می‌شود و همچنین با افزایش سرعت تا ۴/۴ متر بر ثانیه راندمان حرارتی افزایش می‌یابد و این افزایش در سرعت‌های بالاتر کاهش می‌یابد به طوری که تفاوت خاصی در سرعت ۴/۴ و ۴/۷ m/s با ۱۶ lit/min مشاهده نمی‌شود. این مطلب بیانگر آن است که سرعت خیلی زیاد هوا تاثیر

زیادتی روی راندمان حرارتی نخواهد داشت و تاثیر دبی آب بیشتر از سرعت می‌باشد. علت باید تفاوت در ظرفیت گرمایی آنها باشد (ظرفیت گرمایی آب به دلیل تراکم بیشتر مولکولی بیشتر از هوا است).

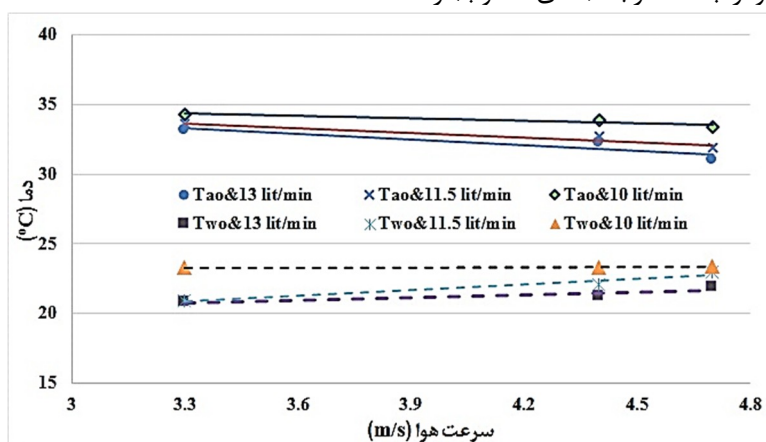


شکل ۶- تغییرات نسبت انرژی (الف) و راندمان حرارتی (ب) نسبت به دبی‌های مختلف آب ورودی

با توجه به نمودارهای شکل (۳ الی ۶) می‌توان نتیجه گرفت که بهترین سرعت برای استفاده از انرژی آب چاه برای گرمایش سرعت حدود ۴ الی ۵ m/s و بهترین دبی ۱۶ lit/min یا کمتر از آن می‌باشد که باعث افزایش راندمان حرارتی سیستم، نسبت انرژی، و نسبت توان خالص به مصرفی و توان دریافتی هوا می‌شود. هر چند مطابق شکل (۴) افزایش سرعت باعث افزایش توان مورد نیاز می‌شود. ولی با توجه به اینکه مطابق همان نمودار افزایش سرعت باعث می‌شود از ماکزیمم انرژی موجود در آب استفاده گردد (نزدیک شدن نمودارهای  $P_w$  و  $P_{air}$ ) و همچنین کاهش سرعت باعث کاهش دبی هوا و در نتیجه مدت زمان تغییر دما در یک حجم مشخص (اتاق یا هر محلی که از این سیستم استفاده شود) افزایش خواهد یافت، استفاده از سرعت‌های پایین هوا مطلوب نیست.

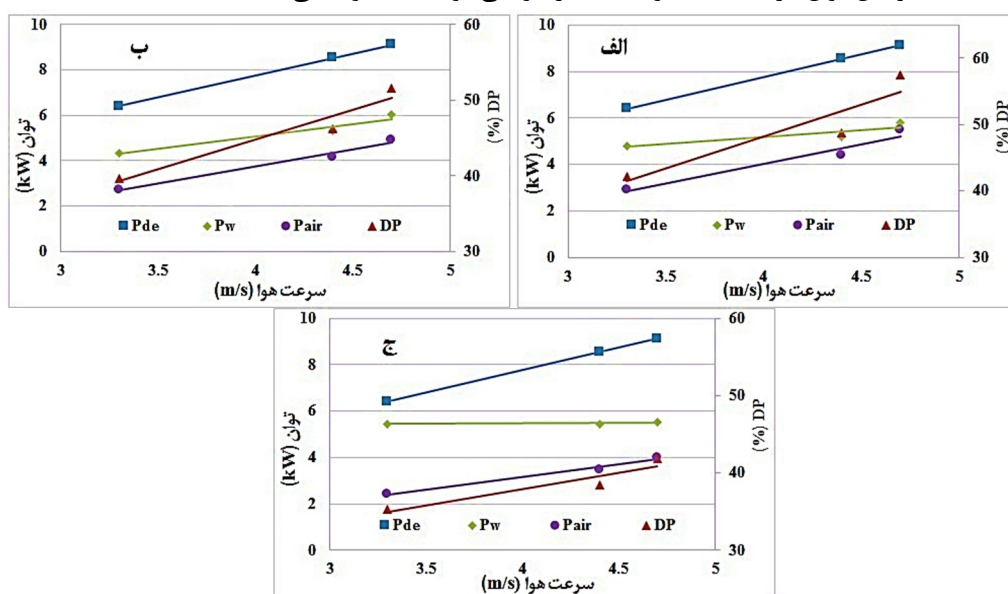
### سیستم سرمایش

شکل (۷) تغییرات دمای هوا ( $T_{ao}$ ) و آب ( $T_{wo}$ ) خروجی از رادیاتور را در دبی‌های ۱۳، ۱۱/۵، ۱۰ lit/min را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش سرعت در تمام دبی‌ها هوا خنک‌تر می‌شود و به دمای مطلوب ۲۵ درجه سلسیوس نزدیک‌تر می‌شود. همزمان دمای آب نیز افزایش می‌یابد. این مطلب بیانگر آن است که اگر این روند ادامه داشته باشد برای سرمایش و خنک کردن محیط لازم است از سرعت‌های بالاتر از ۵ m/s نیز استفاده شود. ولی دمای آب در سرعت بالاتر به ۲۰ °C نزدیک می‌شود و لازم است از دبی‌های بالاتر از دبی‌های مورد آزمایش استفاده شود در غیر این صورت دمای سرمایش بیشتر از ۲۵ °C خواهد بود. به طور کلی این مطلب بیانگر آن است که دبی آب و سرعت هوا برای سرمایش باید زیاده‌تر از این مقادیر باشد تا بتوان دمای هوا را به ۲۵ درجه (دمای مطلوب) رساند.



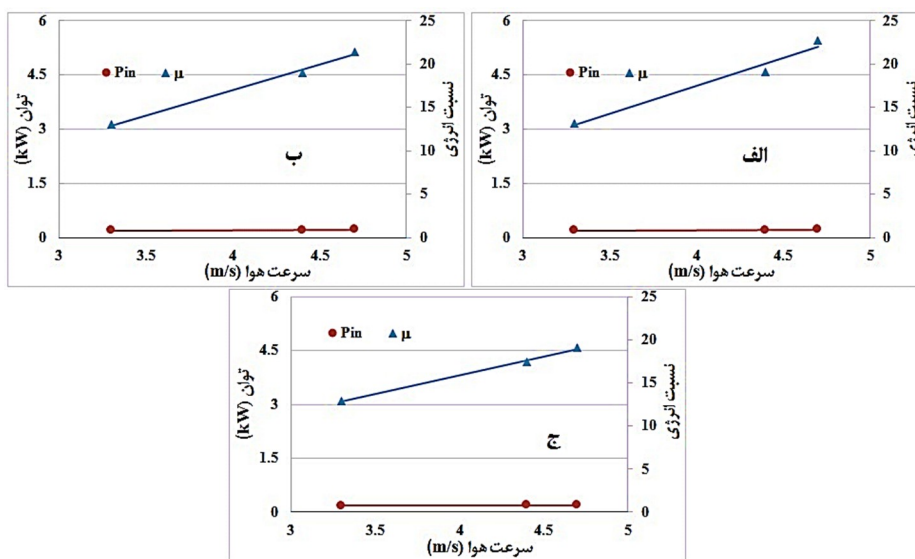
شکل ۷- تغییرات دمای هوا و آب در طول فرایند سرمایش

در شکل (۸) تغییرات توان سرمایشی مورد نیاز ( $P_{de}$ )، توان از دست داده شده توسط هوا  $P_{air}$ ، توان جذب شده با آب  $P_a$  و درصد کاهش توان مورد نیاز (DP) در سرعت‌های و دبی‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر سه دبی با افزایش سرعت جریان هوا توان مورد نیاز برای سرمایش افزایش یافته است که ناشی از افزایش جرم هوا در اثر افزایش سرعت می‌باشد. همچنین با افزایش سرعت و دبی در صد DP و  $P_{de}$  افزایش می‌یابد (مقدار DP از ۴۲/۱۴٪ در سرعت ۳/۳ m/s تا ۵۷/۴۹٪ در سرعت ۴/۷ m/s برای دبی ۱۳ lit/min، از ۳۹/۶۳٪ در سرعت ۳/۳ m/s تا ۵۱/۶۰٪ در سرعت ۴/۷ m/s برای دبی ۱۱/۵ lit/min و از ۳۵/۲۶٪ در سرعت ۳/۳ m/s تا ۴۱/۸۳٪ در سرعت ۴/۷ m/s برای دبی ۱۰ lit/min و مقدار  $P_{de}$  از ۶/۴ kW در سرعت ۳/۳ m/s تا ۹/۱ kW در سرعت ۴/۷ m/s) که نشان می‌دهد افزایش جریان هوا باعث می‌شود سهم بیشتری از توان مورد نیاز برای سرمایش توسط آب تامین گردد. همچنین با توجه به شکل (۸) کاملاً مشخص است که افزایش سرعت باعث افزایش توان دریافت شده توسط آب از هوا می‌شود که مطلوب می‌باشد.



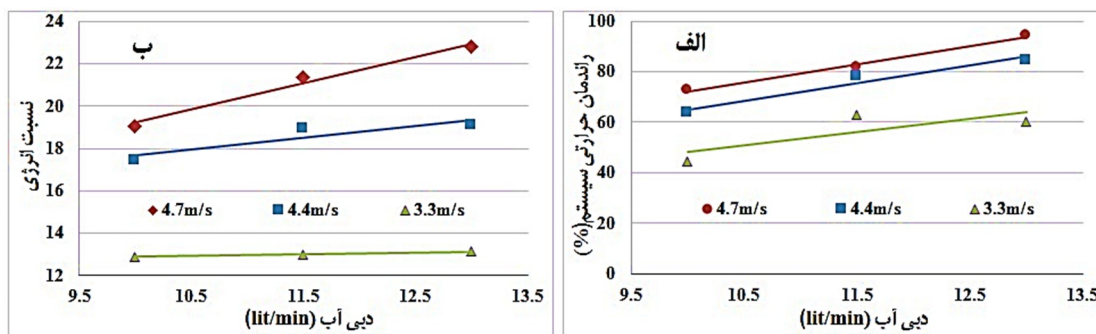
شکل ۸- تغییرات توان سرمایشی مورد نیاز  $P_{de}$ ، توان از دست داده شده توسط هوا  $P_{air}$ ، توان جذب شده با آب  $P_a$  و درصد کاهش توان مورد نیاز (DP) در سرعت‌های مختلف و دبی‌های، الف) ۱۳ lit/min، ب) ۱۱/۵ lit/min و ج) ۱۰ lit/min

در شکل (۹) تغییرات توان مصرفی  $P_{in}$  و نسبت انرژی  $\mu$  در سرعت‌ها و دبی‌های مختلف رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در هر سه دبی نسبت انرژی ( $\mu$ ) با افزایش سرعت جریان هوا افزایش یافته است که نشان می‌دهد افزایش سرعت هوا باعث کسر بیشتری از انرژی مورد نیاز برای سرمایش بوسیله آب تامین می‌شود (۲۲/۸) برای سرعت ۴/۷ m/s در مقایسه با ۱۳/۰۰ برای سرعت ۳/۳ m/s در دبی ۱۳ lit/min، برای سرعت ۴/۷ m/s در مقایسه با ۱۲/۸۹ برای سرعت ۳/۳ m/s در دبی ۱۱/۵ lit/min و ۱۹/۰۷ برای سرعت ۴/۷ m/s در مقایسه با ۱۳/۰۰ برای سرعت ۳/۳ m/s در دبی ۱۰ lit/min). با توجه به شکل مذکور و شکل (۸) ملاحظه می‌شود که تغییرات  $P_{air}$  نسبت به  $P_{in}$  نسبت به سرعت هوا روند صعودی دارد که می‌تواند دلیل افزایش نسبت انرژی در سرعت‌های بالا باشد. این مطلب بیانگر آن است که برای سرمایش بهتر است سرعت جریان هوا زیاد باشد تا توان بیشتری از هوا توسط آب جذب گردد.



شکل ۹- تغییرات توان مصرفی  $P_{in}$  و نسبت انرژی  $\mu$  در سرعت‌ها و دبی‌های مختلف

در شکل (۱۰) تغییرات راندمان حرارتی و نسبت انرژی کل برای هر سه سرعت نسبت به دبی آب آورده شده است. مطابق شکل (۱۰-الف) با افزایش دبی و سرعت راندمان حرارتی سیستم افزایش می‌یابد به طوری که بیشترین راندمان در در سرعت  $4/7 \text{ m/s}$  و دبی  $13 \text{ lit/min}$  با مقدار  $94/2\%$  حاصل گردید. به نظر می‌رسد با افزایش دبی مطابق شکل (۸) هوا می‌تواند بیشتر را با آب مبادله نماید و در نتیجه راندمان سیستم افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش سرعت جریان هوا مطابق شکل (۷) اختلاف دمایی بین هوا و آب کم شده و در نتیجه انتقال حرارت خوبی بین هوای گرم و آب داخل رادیاتور صورت نگرفته و راندمان حرارتی سیستم کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰- تغییرات راندمان حرارتی سیستم (الف) و تغییرات نسبت انرژی در دبی‌های مختلف

همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دبی آب و سرعت هوا مقدار نسبت انرژی یا نسبت توان سیستم افزایش می‌یابد (شکل ۱۰-ب) به طوری که کمترین مقدار آن برابر  $12/9$  در دبی  $10 \text{ lit/min}$  و سرعت هوای  $3/3 \text{ m/s}$  و بیشترین مقدار آن برابر  $22/78$  در دبی  $13 \text{ lit/min}$  و سرعت هوای  $4/7 \text{ m/s}$  است. این نتیجه با توجه به این که افزایش انرژی مصرفی در اثر افزایش دبی‌ها و سرعت‌های (مطابق جدول ۱) در مقایسه با انرژی دریافتی از هوا توسط آب در سرعت‌ها و دبی‌های مذکور ناچیز است قابل پیش‌بینی است. لازم به ذکر است که اگر فرض شود که آب چاه قبل از آبیاری ابتدا برای سرمایش استفاده شود (انرژی مصرفی مربوط به پمپ آب که بیشترین مصرف را دارد حساب نشود) این نسبت بسیار افزایش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری



- 1- نتایج نشان داد که استفاده از آب چاه برای گرمایش و رساندن دمای هوا از 9 درجه به 25 درجه سلسیوس می‌تواند باعث کاهش توان مورد نیاز (DP) از 3/22- % (در سرعت 0/5 m/s و دبی 34 lit/min) تا 25/29 % (در سرعت 4/7 m/s و دبی 34 lit/min) شود (شکل 4). همچنین مطابق شکل‌های (5) و (6)، بیشترین مقدار نسبت انرژی که بیانگر انرژی یا توان مفید کسب شده به توان مصرفی است، در دبی 16 lit/min و سرعت 4/7 m/s و 4/4 m/s با مقادیر 9/09 و 9/12 به دست آمده است و نشان می‌دهد استفاده از توان بالقوه آب چاه در سیستم گرمایش می‌تواند در حدود 9 برابر توان الکتریکی مصرفی توان مفید تولید نماید. در نهایت بیشترین مقدار راندمان حرارتی سیستم در دبی 16 lit/min و سرعت 4/7 m/s با مقدار 92/09 % حاصل شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت برای استفاده از آب چاه جهت گرمایش سرعت مناسب جریان هوا حدود 4/5 m/s و دبی مناسب آب چاه کمتر یا برابر 16 lit/min به دست آمد.
- 2- نتایج نشان داد که استفاده از آب چاه برای سرمایش (کاهش دمای هوا از 40 درجه به 25 درجه) باعث کاهش 35/26 تا 57/49 درصدی توان مورد نیاز بسته به سرعت جریان هوا و دبی آب می‌شود (مطابق شکل 8 کمترین در صد کاهش توان مورد نیاز (DP) در سرعت هوای 3/3 m/s و دبی آب 10 lit/min با مقدار 35/26 % و بیشترین درصد کاهش توان مورد نیاز در سرعت 4/7 m/s و دبی آب 13 lit/min با مقدار 57/49 %). همچنین مطابق شکل‌های (9) و (10) افزایش دبی از 10 lit/min به 13 lit/min و سرعت هوا از 3/3 m/s به 4/7 m/s باعث افزایش نسبت انرژی از 12/89 به 22/8 شده است که نشان می‌دهد سرعت و دبی مناسب برای سرمایش به ترتیب باید برابر یا بیشتر از 4/7 m/s و 13 lit/min باشد. افزایش راندمان حرارتی سیستم با افزایش سرعت جریان هوا و دبی آب نیز دلالت بر این امر دارد.
- 3- چون در این سیستم، هدف استفاده از آب آبیاری استخراجی از چاه برای سرمایش و گرمایش می‌باشد، توان مصرف شده توسط پمپ جزء توان مصرفی جهت سرمایش نخواهد بود. بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که برای گرمایش و سرمایش منزل می‌توان از آب چاه استفاده نمود حتی اگر از آب چاه فقط برای گرمایش و سرمایش استفاده شود و بازده حرارتی و توانی سیستم سرمایش بهتر از سیستم گرمایش خواهد بود.

#### منابع

1. رزاقی، ا. 1390. انرژی زمین‌گرمایی و کاربردهای آن. نشریه نشاء علم شماره 1 سال دوم. 30 - 36.
2. رهنما، م: 1389، « طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن خورشیدی با چرخ جاذب رطوبت برای حفظ خواص کیفی خرماي رقم استعمران». رساله دکتری مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، 194 ص.
3. Ayensu, A. (1997). Dyhydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. Solar Energy. V: 59. P: 121-126.
4. Condori, M. and Saravia, L. (2003). Analytical model for the performance of the tunnel-type greenhouse drier. Renewable Energy. V: 28. P: 467-485.
5. Duffie, J. A. and Beekman, W. A. (1991). Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, New York.
6. Ragnarsson, A. 2010. Geothermal Development in Iceland 2000-2004. Proceedings World Geother-mal Congress, Antalya, Turkey. pp. 01-17.
7. Sonntag, R. E., BorGnakki, C. and Van Wylen, G. J (1998). Fundamentals of Thermodynamics. 5th ed. Michigan. Wiley, U.S.A.