Archive of SID

اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸، ص ۲۶۵-۲۵۷

ارزیابی سیستم‌های مختلف سرمایش گلخانه در اقلیم‌های متنوع ایران با توجه به کاهش منابع آب

توحید جعفری‌نژاد[۱]، امیرحسین فتحی[۲]، حسین یوسفی[۳*]، کیانوش چوبینه[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ انرژی، دانشگاه صنعتی شریف تهران

۲. استادیار، دانشکدهٔ مکانیک، دانشگاه شیراز

۳. دانشیار، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

۴. دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۵/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۱۱/۱۳)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، ارائهٔ چارچوبی است که فنی-اقتصادی‌ترین سیستم سرمایش را با توجه به اقلیم‌های مختلف آب و هوایی ایران، قیمت حامل‌های آب و انرژی، و شرایط کشت مناسب محصول برگزیند. همچنین، سیاست‌گذار را قادر سازد تا به‌گونه‌ای قیمت آب را تعیین کند تا کشاورز کم‌مصرف‌ترین سیستم سرمایش را از نظر مصرف آب برای گلخانه برگزیند. سه نوع مختلف سیستم سرمایش شامل سیستم‌های فن و پد تبخیری، انبساط مستقیم و چیلر جذبی برای پنج اقلیم آب و هوایی متنوع ایران ارزیابی شده است. ارزیابی در سه سناریو صورت می‌گیرد که در آن سناریوهای نخست و دوم تمام سیستم‌های سرمایش را تحت قیمت‌های فعلی و واقعی آب بررسی می‌کند، در حالی که سناریوی سوم قیمت بهینهٔ آب را به‌گونه‌ای اختیار می‌کند که سیستم سرمایش با کمینهٔ مصرف آب انتخاب شود. نتایج نشان می‌دهد سیستم سرمایش فن و پد که قبلاً باور بر این بود که فنی-اقتصادی‌ترین سیستم سرمایش برای گلخانه‌های ایران است، در حقیقت فنی-اقتصادی‌ترین سیستم سرمایش برای تمام اقلیم‌های آب و هوایی ایران نیست و سیستم سرمایش انبساط مستقیم (تراکمی) با میانگین هزینهٔ معادل سرمایش ۰/۰۴۲۷ و ۰/۲۷۳۳ دلار بر کیلووات ساعت سرمایش در مقابل ۰/۰۵۱۰ و ۰/۸۲۶۴ دلار بر کیلووات ساعت سرمایش میانگین هزینه معادل سرمایش سیستم سرمایش فن و پد، به‌ترتیب در سناریوهای اول و دوم برتری یافته است. درنهایت، سناریوی سوم این‌گونه پیشنهاد می‌کند که با افزایش ۱۷/۴ درصدی قیمت آب، کشاورز متقاعد خواهد شد تا در سراسر اقلیم‌های آب و هوایی ایران، سیستم سرمایشی‌ای انتخاب کند که کمترین میزان مصرف آب را دارد.

کلیدواژگان: پیوند آب-انرژی-غذا، سیستم سرمایش، سیاست آب، صرفه‌جویی در آب، گلخانه.

* نویسندهٔ مسئول

Email: hosseinyousefi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آب عنصری حیاتی است که زندگی تمامی جانداران بـه آن وابسته است. هـر جـا کـه آب بـه‌وفـور یافـت شـده اسـت، تمدن‌ها و جوامـع درحـال‌توسـعه و پیشـرفته در کنـار آن شکل گرفته‌اند. دلیـل اینکـه آب تـأثیر زیـادی در توسـعهٔ بشریت دارد، کارکرد حیاتی آن در تهیهٔ غذای سالم و غنی است. ولی تمام نقاط زمین از موهبت آب بهره‌مند نیستند، که این اتفاق موجب می‌شود نیروهای طبیعی و غیرطبیعی که تعیین‌کنندهٔ دردسـترس‌بـودن آب هسـتند، بـه‌منظـور مدیریت متناسب منابع در نظر گرفته شوند [۱]. یـک‌سـوم جمعیت کل جهان در مناطقی همچون خاورمیانـه، شـمال آفریقا و بعضی از منـاطق مدیترانـه‌ای تحـت شـرایط حـاد تنش آبی[1] زندگی می‌کنند [۲ــ ۴]. بـه‌رغـم اینکـه ایـران نواحی آب و هوایی متنوعی، اعم از مرطوب تا خشک دارد، اما در کل به‌عنوان ناحیهٔ خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بنـدی می‌شود [۵ و ۶]. در حالت کلی، این‌گونه برداشت می‌شـود که ایران در حال روبه‌رو شدن با چالش‌های پایـداری آب و ازجمله کشورهای دارای تنش آبی است [۶ و ۷]. انسان‌هـا مقدار آب در دسـترس را توسـط ذخیـره‌کـردن، برداشـت غیرمنطقی، توزیع آب منابع مختلف، و به‌خصوص در ایران با حفاری چاه‌ها به‌منظور کشـاورزی، رو بـه وضـعیت بـدی سوق داده‌اند [۸ و ۹]. در کنار تمامی دلایل یادشـده، گـام طبیعی رو به خشک‌سالی و بحران آبی ایران مزید بر علـت شده تا شرایط بدی را بـرای صـنعت کشـاورزی کشـور بـه ارمغان آورد. طبق گزارش‌ها، ایران با تحلیل ویرانگر منـابع آبی روبه‌رو خواهد شد [۱۰]. بنابراین، مصیبت آبـی ایـران بخش کشاورزی را از رونق‌گرفتن محروم می‌کنـد. صـنعت کشـاورزی مصـرف‌کننـدهٔ شـدید آب در کـل دنیاسـت. کشاورزی مسئول مصرف حـدود ۷۰ درصـد آب در بیشـتر نقاط زمین است. البته، این مقدار برای خاورمیانه تا مقـدار ۹۰ درصد افزایش داشته است که ایـن امـر شـدت بیشـتر مصرف آب در نواحی گرم و خشک ازجمله ایـران را نشـان می‌دهد [۱۱]. همچنین، کشاورزی از نظر استراتژیک برای کشـور ایـران بـیش از سـایر کشـورها اهمیـت دارد [۱۱]. این‌گونه تخمین زده شده است که صرفه‌جـویی بـه مقـدار یک میلی‌متر در سـال سـبب صـرفه‌جـویی ۱۴/۵ میلیـون دلاری در کشور ایران می‌شود [۱۲]. با درنظرگرفتن تمامی این عوامل، برای ایران حیاتی است تـا بـا صـرفه‌جـویی در مصرف آب نه‌تنها با بحران‌های آبی مقابله کند، بلکه سـبب رونق اقتصادی شود.

از یک‌طرف، کشت و تولید گلخانـه‌ای کمتـرین مقـدار مصرف آب را در بخش کشاورزی به خود اختصاص می‌دهد و از طرف دیگر، در خاورمیانه بـه دلیـل آب و هـوای گـرم گلخانه‌ها به خنک‌سـازی بیشـتری نیـاز دارنـد کـه سـبب افزایش مصـرف انـرژی و آب مـی‌شـود [۱۳]. در حقیقـت، تقاضای برودت برای گلخانـه‌هـا در چنـین منـاطق گـرم و خشکی، ۳/۵ برابر آب مورد نیاز برای آبیاری گوجـه‌فرنگـی اسـت [۱۴]. بـه‌طـور کلـی، روش‌هـای مختلفـی بـرای خنک‌سازی گلخانه‌ها در نواحی گرم و خشـک وجـود دارد [۱۵ و ۱۶] که عبارت‌اند از: ۱. تهویهٔ طبیعـی و اجبـاری[2]، که در آن از طریق دریچه‌های جـانبی دیـوار و سـقف و در مواردی از طریـق فـن[3] صـورت مـی‌پـذیرد [۱۷ و ۱۸]؛ ۲. سایه‌بان[4]، که در آن کیفیت نور واردشده از پوشش گلخانـه کنتـرل شـده و تولیـد محصـول مسـتقیم توسـط تـابش خورشیدی متأثر می‌شود [۱۹]؛ ۳. سرمایش تبخیری[5] کـه متداول‌ترین روش برای تهویهٔ هوای داخـل گلخانـه اسـت، به‌خصوص در شرایطی که دمای هوا گـرم باشـد. درضـمن نوع یادشده کارایی این سیستم‌ها در ناحیه‌ای ماننـد ایـران را تأییـد مـی‌کنـد [۲۰]؛ ۴. مـه‌افشـانی[6] کـه اغلـب در تابستان‌ها صورت گرفته و در آن کنترل دما توسط کنتـرل دبی جرمـی و سـایز قطـرات آب صـورت مـی‌گیـرد [۲۱]. همچنین، روش‌های ترکیبی سرمایشی وجـود دارد کـه در آن چند عدد از روش‌های یادشده به‌منظور تطابق با شرایط مد نظر با یکدیگر تلفیق می‌شود [۲۲ـ ۲۴].

در حقیقـت، فراینـد سـرمایش گلخانـه پرمصـرف‌تـرین قسمت یک گلخانه از نظـر مصـرف آب در نـواحی خشـک و نیمه‌خشک است. این‌گونه نتیجه گرفته می‌شـود کـه دلیـل اصلی برای زیادبودن میزان مصرف آب در نـواحی خشـک و نیمه‌خشک، اسـتفادهٔ بیشـتر از سیسـتم‌هـای خنـک‌سـازی تبخیری است که از گرمای نهـان تغییـر فـاز آب بـه‌منظـور

1. Water-stress

2. Natural and forced ventilation
3. Fan
4. Shading
5. Evaporative cooling
6. Fogging

www.SID.ir

Archive of SID

تأمین‌کنندهٔ بار برودتی استفاده می‌کند. به‌رغم اینکه سرمایش تبخیری همراه با مصرف آب زیاد است، ولی انرژی کمتری در مقایسه با سایر فناوری‌های متداول استفاده می‌کند، که سؤال سبک و سنگین کردن را در ناحیه‌ای مانند ایران که غنی از منابع انرژی و خالی از منابع آب است را به وجود می‌آورد. پژوهش‌های زیادی به این مشکل به‌صورت جداگانه و تعداد کمی با درنظرگرفتن هر دو پارامتر آب و انرژی پرداخته‌اند. از پژوهش‌ها این‌گونه برمی‌آید که تقریباً ۶۵ تا ۸۵ درصد مصرف انرژی و ۷۰ تا ۸۵ درصد از هزینه‌ها در یک گلخانه به تهویهٔ هوا مربوط می‌شود [۲۵ و ۲۶]. تلاش‌های زیادی برای کاهش انرژی برودتی توسط جایگزینی فناوری‌های سرمایشی مختلف صورت گرفته است. پاکسوی و بیهان[1] [۲۷] یک نمونهٔ اولیه از سیستم ذخیرهٔ انرژی حرارتی-آبی[2] برای ذخیره‌سازی انرژی فصلی گلخانه‌ها ارائه دادند. سیستم آنها قادر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد برای سرمایش و گرمایش بود. کورتوا[3] و همکارانش [۲۸] پژوهشی را روی سیستم‌های ذخیرهٔ انرژی حرارتی-آبی در فرانسه انجام دادند که در آن جایگزینی این سیستم به‌منظور کاهش هزینه‌های سرمایش در گلخانه‌ها استفاده می‌شد. ونگ[4] و همکارانش [۲۹] ثابت کردند که استفاده از سیستم‌های ذخیرهٔ انرژی حرارتی-آبی می‌تواند به‌صورت چشمگیری سبب کاهش مصرف انرژی در گلخانه‌های کانادا شود. صنایع و همکارانش [۳۰] سیستم نوین پمپ حرارتی متصل به زمین که در گلخانه‌ها استفاده می‌شود را به‌منظور مقابله با مصرف انرژی زیاد و تقاضای برودت و حرارت ارائه داده‌اند. سیستم پیشنهادشده مستعد رسیدن به ضریب کارایی[5] ۳/۹ تا ۵/۴ برای مدهای گرمایش و سرمایش است. عطار و همکارانش [۳۱] سیستمی ارائه دادند که شامل یک جاذب مسطح همراه با تانک ذخیره و چهار عدد مبدل حرارتی برای گرمایش و سرمایش گلخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شد. با اینکه این سیستم در فصول سرد قادر به تولید گرما بود، ولی این مقدار گرما آن‌قدر زیاد نبود که سیستم مستقل از شبکه عمل کند. همچنین، در فصول گرم سیستم یادشده قادر بود دمای روز را تا ۱۲ درجه به مدت ۹ ساعت پیاپی کاهش دهد. همان‌گونه که مشهود است، استفاده از فناوری‌های جدید خنک‌سازی در گلخانه‌ها دیدگاهی مؤثر در کاهش انرژی است، ولی این حقیقت که صرفه‌جویی آب با جایگزینی سیستم تغییر می‌کند، همچنان جای بررسی دارد. پس در پژوهش حاضر اثر استفاده از فناوری‌های سرمایش مختلف در گلخانه‌ها مطالعه شده و از نظر فنی-اقتصادی ارزیابی می‌شود. درنهایت، تحت سناریوهای مختلف برای قیمت آب برای هر یک از نقاط آب و هوایی ایران سیستمی مناسب معرفی می‌شود. همچنین، سیاست‌گذار به‌گونه‌ای قادر به قیمت‌گذاری آب می‌شود که کشاورز از کم‌مصرف‌ترین سیستم سرمایش از دیدگاه آب استفاده کند.

روش تحقیق

در این بخش سه فناوری مختلف سرمایش برای یک گلخانهٔ نمونه معرفی می‌شود. محصول گلخانهٔ مطالعه‌شده گوجه‌فرنگی است که تقریباً در تمامی نقاط ایران در گلخانه‌ها کشت می‌شود. ملزومات کنترل‌پذیری مناسب، زمان پاسخ و محدودهٔ کنترل دما، سیستم‌های سرمایش نامزدشده را به سه سیستم فن و پد تبخیری[6]، چیلر جذبی[7] و سیستم‌های تراکمی[8] محدود می‌کند. که این سیستم‌ها به‌صورت گسترده‌ای در ایران تهیه می‌شوند. بعد از به‌دست‌آوردن مقدار انرژی و آب مصرفی در هر سیستم، تحلیل‌های اقتصادی روی همهٔ سیستم‌های یادشده صورت خواهد گرفت. این تحلیل‌های اقتصادی شامل تحلیل حساسیت جامع بر قیمت آب در ایران است و سناریوها با توجه به قیمت‌های مختلف تعریف می‌شوند.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است، با توجه به تقسیم‌بندی آب و هوایی کوپن[9] ایران به پنج ناحیهٔ اصلی تقسیم می‌شود [۳۲] که عبارت‌اند از: آب‌و هوای بیابانی گرم[10]، بیابانی سرد[11]، گرم و نیمه‌خشک[12]، سرد و نیمه‌خشک[13] و مدیترانه‌ای[14]. سیستم‌های سرمایش گوناگون در نقاط آب و هوایی مختلف ایران به‌گونه‌ای مدل

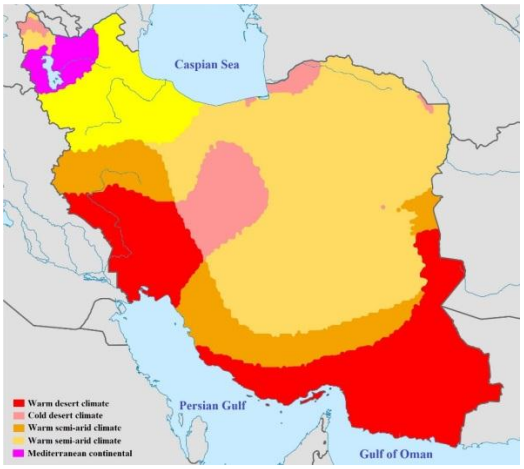
1. Paksoy and Beyhan
2. ATES (Aquifer Thermal Energy Storage)
3. Courtois
4. Wong
5. COP

6. Fan and pad
7. Absorption chiller
8. Direct expansion (vapor compression)
9. Koppen
10. Warm desert climate
11. Cold desert climate
12. Warm semi-arid climate
13. Clod semi-arid climate
14. Mediterranean continental climate

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شوند که با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه مناسب‌ترین سیستم سرمایش به دست آید.



شکل ۱. اقلیم‌های آب‌وهوایی ایران [۳۲]

در روش‌شناسی یادشده تحلیل‌های اقتصادی بر پایهٔ مفهوم عمیق هزینهٔ معادل سرمایش[1] صورت می‌پذیرد. هزینهٔ معادل سرمایش به این معناست که یک سیستم سرمایش با صرف چه هزینه‌ای می‌تواند یک کیلووات ساعت انرژی برودتی فراهم کند [۳۳]. شایان یادآوری است که این معیار احتمالاً بهترین شاخص به‌منظور مقایسهٔ سیستم‌های سرمایشی مختلف است. هزینهٔ معادل سرمایش از طریق معادلهٔ ۱ به دست می‌آید [۳۳].

$$EEC = \frac{F.PVT}{Q_{cooling}.CF} \qquad (۱)$$

که در آن CF فاکتور ظرفیت است که مجموع ساعت‌های روشن‌بودن سیستم سرمایش طی یک سال را نشان می‌دهد و در آن F فاکتور سالانه است که از طریق معادلهٔ ۲ به دست می‌آید [۳۴].

$$F = \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \qquad (۲)$$

در معادلهٔ یکم PVT ارزش حال کل هزینه‌ها است که شامل دو قسمت هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی می‌شود (روابط ۳ و ۴).

$$PVT = PVC + PVO \qquad (۳)$$

هزینهٔ سرمایه‌گذاری شامل کلیهٔ هزینه‌های ثابتی می‌شود که در سال نخست باید صورت گیرد، در حالی که هزینه‌های عملیاتی باید به‌صورت سالانه پرداخت شود که شامل مواردی همچون برق، آب، گاز، تعمیر و نگهداری و غیره می‌شود.

$$PVO = PVE + PVW + PVG \qquad (۴)$$

که در آن PVE هزینهٔ سالانهٔ برق PVW هزینهٔ سالانهٔ آب و PVG هزینهٔ سالانهٔ گاز طبیعی است که تمامی آنها از طریق معادلات ۵ـ ۷ به دست می‌آید.

$$PVE = C_e.E.(\frac{(1+i)^n - 1}{i.(1+i)^n}) \qquad (۵)$$

$$PVW = C_w.W.(\frac{(1+i)^n - 1}{i.(1+i)^n}) \qquad (۶)$$

$$PVG = C_g.G.(\frac{(1+i)^n - 1}{i.(1+i)^n}) \qquad (۷)$$

که در آن C_e هزینهٔ واحد الکتریسیته و E مقدار الکتریسیتهٔ مصرف‌شده در سیستم سرمایش به‌صورت سالانه است، C_w هزینهٔ واحد آب و W مقدار آب سالیانهٔ مصرف‌شده توسط سیستم سرمایش بوده، C_g هزینهٔ واحد گاز طبیعی و G مقدار گاز طبیعی مصرف‌شده طی یک سال است.

در پژوهش حاضر سه سناریوی مختلف معرفی شده است. در نخستین سناریو قیمت برق، آب و گاز طبیعی درست همان مقداری است که قانون‌گذار برای کشاورز با توجه به یارانه و تشویقی اعلام کرده است. در سناریوی دوم قیمت واقعی آب با توجه به کمیابی آب در ایران ابتدا محاسبه شده و سپس تحلیل‌های اقتصادی صورت می‌گیرد. در سناریوی سوم سیاست‌گذاران قیمت آب را به‌گونه‌ای تعیین می‌کنند که کشاورز مجبور شود فناوری سرمایش با کمترین میزان مصرف آب را ترجیح دهد. مقایسهٔ سیستم‌های سرمایش گوناگون با توجه به هزینهٔ معادل سرمایش در هر منطقه آب و هوایی صورت گرفته است. بدیهی است که سیستم با کمترین مقدار معادل سرمایش بر سایر سیستم‌های سرمایش برتری یافته و از نظر فنی-اقتصادی و پایداری گزینهٔ بهتری خواهد بود.

1. Equivalent Cooling Cost (ECC)

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه و بحث

در پژوهش حاضر محصول گلخانه، گوجه‌فرنگی است. بهترین شرایط برای به‌عمل‌آوردن گوجه‌فرنگی در گلخانه، محدودکردن دما بین ۲۱ درجه و ۲۷ درجهٔ سلسیوس است. همچنین، رطوبت نسبی باید بین ۶۰ تا ۷۰ درصد تنظیم شود [۳۵]. در پژوهش حاضر سه سیستم سرمایشی انبساط مستقیم، چیلر جذبی و فن و پد مطالعه شده است. جزئیات مربوط به گلخانه و سیستم‌های سرمایش بررسی‌شده در جدول ۱ آورده شده است.

همهٔ قیمت‌ها در سناریوی نخست، قیمت‌های فعلی است که توسط دولت با توجه به یارانه‌ها و تشویقی‌ها برای بخش کشاورزی تعیین شده است. جزئیات قیمت‌های این سناریو در جدول ۲ قابل مشاهده است. تمام سیستم‌های سرمایش به‌گونه‌ای عمل می‌کنند که علاوه بر تأمین بار برودتی، محصول را سالم و مغذی در سرتاسر دورهٔ کشت نگه دارند. سیستم سرمایش فن و پد نباید هوای تازه را با رطوبت نسبی بیشتر از کران بالای رطوبت نسبی مجاز محصول به داخل گلخانه بدمد. با اینکه سیستم سرمایش تراکمی و چیلر جذبی ذاتاً مصرف‌کنندهٔ آب نیستند (غیر از برج خنک‌کن در سیستم سرمایش جذبی)، به‌منظور رسیدن به شرایط نیاز محصول از نظر رطوبت نسبی مقداری بخار باید به درون گلخانه تزریق شود. این موضوع سبب می‌شود سیستم‌های یادشده به‌صورت غیر مستقیم مصرف‌کنندهٔ آب شوند. هزینهٔ معادل سرمایش تمام سیستم‌ها در هر پنج اقلیم آب و هوایی ایران در شکل ۲ نشان داده شده است. این‌گونه برداشت می‌شود که برای اقلیم‌های آب و هوایی بیابانی و گرم، بیابانی و سرد، گرم و نیمه‌خشک و سرد و نیمه‌خشک، سیستم سرمایش تراکمی مناسب است، در حالی که برای منطقهٔ مدیترانه‌ای سیستم سرمایش فن و پد تبخیری گزینهٔ بهتری است. باید در نظر داشت که در این سناریو چیلر جذبی در تمام اقلیم‌های آب و هوایی ایران نامناسب است که دلیل آن قیمت واحد بیشتر گاز طبیعی و وجود برج خنک‌کن تر است.

جدول ۱. مشخصات گلخانه و سیستم‌های برودتی

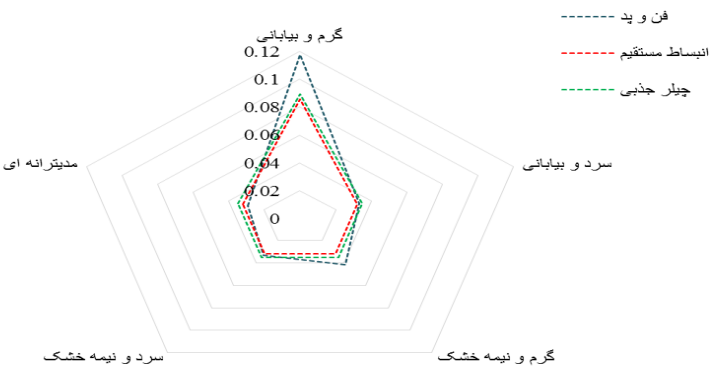
گلخانه	
دما [C]	۲۴
رطوبت نسبی [%]	۶۵
بار برودتی [kW]	۶/۸۹
سیستم سرمایش تراکمی	
ظرفیت نامی [kW]	۹/۸
نوع کندانسور [-]	مبدل سطح گستردهٔ هوا خنک
نوع اوپراتور [-]	مبدل سطح گسترده
مبرد [-]	آر۲۲
سیستم سرمایش چیلر جذبی	
ظرفیت نامی [kW]	۷
نوع کندانسور [-]	برج خنک‌کن تر
بار کندانسور [kW]	۷/۱۷
سیال عامل [-]	آمونیا-آب
منبع حرارتی [-]	گاز طبیعی
سیستم سرمایش فن و پد	
ظرفیت برودتی [kW]	۸/۱
بیشینهٔ دبی جرمی هوا [kg/s]	۶/۹

جدول ۲. قیمت حامل‌های استفاده‌شده در سناریوی نخست [۳۶]

حامل	واحد	قیمت
برق	$/kWh	۰/۰۱۱۹
گاز طبیعی	$/m^3	۰/۰۱۰۴
آب	$/m^3	۰/۰۲۷۳

www.SID.ir

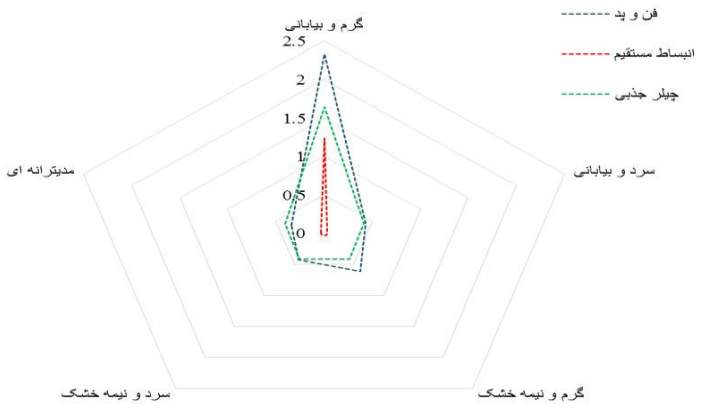
Archive of SID



شکل ۲. هزینهٔ معادل سرمایش برای سیستم‌های سرمایش در هر اقلیم آب‌وهوایی ایران در سناریوی نخست

جدول ۳. قیمت حامل‌های استفاده‌شده در سناریوی دوم

حامل	واحد	قیمت
برق	$/kWh	۰/۰۱۱۹
گاز طبیعی	$/m^3	۰/۰۱۰۴
آب	$/m^3	۰/۲۳۴



شکل ۳. هزینهٔ معادل سرمایش برای سیستم‌های سرمایش در هر اقلیم آب و هوایی ایران برای سناریوی دوم

در سناریوی دوم قیمت برق و گاز دست نخورده است، در حالی که قیمت آب باید با توجه به کمیابی و خارج از دسترس بودن آب بازنگری شود. در حقیقت، کشور ایران در هم‌جواری دریای خزر، خلیج‌فارس و خلیج عمان است که در آنجا آب شور به‌وفور قابل برداشت است، ولی همان‌گونه که می‌دانیم آب شور قابل شرب برای انسان نیست و برای استفاده در مصارف صنعتی نیز بسیار خورنده[1] است. بهترین روش برای تعیین قیمت واقعی آب در کشور گرم و خشک و در جوار منابع آب شور، همچون ایران، باید فرض شود که آب شیرین تمام شده و برای پاسخ‌دادن به تقاضای آب، باید آب نمک‌زدایی شود [۳۷ و ۳۸]. درنتیجه هزینهٔ انرژی، تجهیزات و تأسیسات لازم به‌منظور نمک‌زدایی آب، تعیین‌کنندهٔ قیمت واقعی آب در ایران است. این فرایند انرژی حدود ۸/۶ مترمکعب گاز

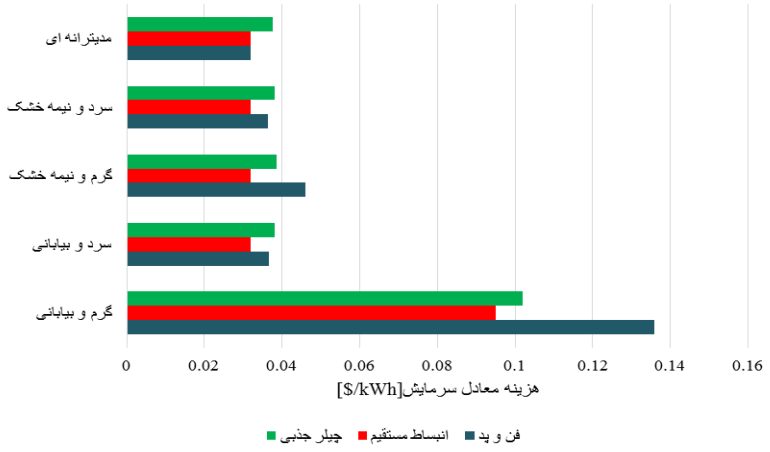
1. Erosive

www.SID.ir

Archive of SID

طبیعی برای نمک‌زدایی یک مترمکعب آب استفاده می‌کند. در جدول ۳ قیمت‌های این سناریو شرح داده شده است. درنهایت، هزینهٔ معادل سرمایش هر سه سیستم در هر اقلیم آب و هوایی در این سناریو در شکل ۳ نمایان می‌شود. براساس شکل ۳، در تمام سیستم‌های سرمایش هزینهٔ معادل سرمایش، به‌خصوص در سیستم فن و پد تبخیری و همچنین چیلر جذبی به دلیل افزایش ناگهانی و محسوس در هزینهٔ آب برج خنک‌کن تر آن افزایش داشته است. به‌خصوص در این سناریو سیستم سرمایش اقلیم آب و هوایی مدیترانه‌ای که در سیستم قبلی فن و پد انتخاب‌شده بود، هم‌اکنون به سیستم سرمایش تراکمی تغییر یافته است. این پدیده به دلیل وابستگی سیستم تراکمی به برق و جدایی آن از آب رخ می‌دهد.

همان‌گونه که از نتایج دو سناریوی پیشین برمی‌آید، فقط اقلیم آب و هوایی مدیترانه‌ای است که در آن سیستم فن و پد تبخیری بر سایر سیستم‌های سرمایش ترجیح داده شده است، ولی با توجه به شکل ۲ این سیستم در رقابتی نزدیک با سیستم سرمایش تراکمی است. پس برای سناریوی سوم قیمت آب باید به‌گونه‌ای توسط قانون‌گذار تعیین شود که هزینهٔ معادل سرمایش در سیستم فن و پد تبخیری و سیستم تراکمی با یکدیگر برابر یا بیشتر شود. دلیل انتخاب این دو سیستم، رقابت پاپاپای آنها با یکدیگر در منطقهٔ آب‌وهوایی مدیترانه‌ای بوده، پس قیمت آب باید با توجه به این اقلیم و دو سیستم سرمایش اشاره‌شده تعیین شود. در نهایت، قیمت‌گذاری با توجه به موارد و معیارهای یادشده به انتخاب سیستم سرمایش تراکمی توسط کشاورز منجر می‌شود که مصرف آب آن در مقایسه با سایر سیستم‌های سرمایش کمتر است. در این سناریو کمینهٔ قیمت آب که سیاست‌گذار باید تعیین کند، ۰/۰۱۲۲۱ دلار بر مترمکعب است تا اینکه کشاورز سیستم سرمایش تراکمی را به جای سیستم فن و پد انتخاب کند. با درنظرگرفتن قیمت آب به مقدار ۰/۰۱۲۲۱ دلار بر مترمکعب هزینهٔ معادل سرمایش به‌دست‌آمده در سیستم‌های مختلف به‌صورت شکل ۴ به تصویر کشیده می‌شود که در آن هزینهٔ معادل سرمایش سیستم فن و پد تبخیری و سیستم سرمایش تراکمی در منطقهٔ آب و هوایی مدیترانه‌ای با یکدیگر برابر خواهد بود.



شکل ۴. هزینهٔ معادل سرمایش برای سیستم‌های سرمایش در هر اقلیم آب و هوایی ایران در سناریوی سوم

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مناسب‌بودن سه سیستم سرمایش مختلف که شامل فن و پد تبخیری، سیستم سرمایش تراکمی و چیلر جذبی می‌شود در پنج اقلیم آب و هوایی مختلف ایران از قبیل گرم و بیابانی، سرد و بیابانی، گرم و نیمه‌خشک، سرد و نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای بررسی شده است. مزایای هر فناوری توسط مفهوم هزینهٔ معادل سرمایش بررسی شده است، که به معنای مقدار هزینهٔ انجام‌شده توسط سیستم سرمایش برای تولید یک کیلووات ساعت انرژی برودتی است. این بررسی بیان می‌کند که سیستم فن و پد تبخیری که پیش از این مناسب‌ترین سیستم فنی اقتصادی برای گلخانه‌های ایران دانسته می‌شد، هم‌اکنون با توجه به بحران آب و کمیابی آب در کشور مزایای سابق خود را ندارد. با اینکه سیستم فن و پد ساده‌ترین سیستم از نظر نگهداری است که

www.SID.ir

Archive of SID

حتی خود کشاورز قادر به انجام آن است، ولی با توجه به سایر سیستم‌های سرمایش معرفی‌شده در مطالعهٔ حاضر دیگر قادر به برتری نیست و بهترین سیستم فنی-اقتصادی نخواهد بود. درنهایت، گزاره‌های زیر قابل نتیجه‌گیری است:

- سیستم سرمایش تراکمی کمترین هزینهٔ معادل سرمایش را در تمامی اقلیم‌های آب و هوایی به غیر از اقلیم مدیترانه‌ای، که در آن سیستم فن و پد تبخیری کمترین مقدار هزینه معادل سرمایش را دارد، شامل می‌شود.
- با اعمال هزینهٔ واقعی آب بر تمامی سیستم‌های سرمایش معرفی‌شده در پژوهش حاضر، سیستم سرمایش تراکمی بر تمامی اقلیم‌های آب و هوایی بر سایر سیستم‌ها رجحان می‌یابد که دلیل آن جدایی از مصرف آب است.
- در سناریوی سوم قیمت واقعی آب به‌گونه‌ای تعیین شده که در آن کشاورز مجبور به انتخاب سیستم سرمایش با کمترین میزان مصرف آب شود.

در نهایت، می‌توان این‌گونه جمع‌بندی کرد که در کشوری تحت استرس شدید آب همانند ایران بهتر است کشاورزان از تکنولوژی‌های مصرف‌کنندهٔ زیاد آب به‌منظور سرمایش گلخانه استفاده نکنند و در عوض از سایر تکنولوژی‌ها، هرچند انرژی‌بر بهره جویند و سیاست‌گذاران با تنظیم قیمت آب باید در این راه همکاری لازم را انجام دهند. برای انجام مطالعه‌های آتی پیشنهاد می‌شود با درنظرگرفتن میزان مصرف آب در تولید برق و گاز تحلیلی جامع‌تر و با دید چرخهٔ عمر صورت گیرد و بهترین تکنولوژی با توجه به قیمت حقیقی آب و نتایج این تحلیل چرخهٔ عمری انتخاب شود.

منابع

[1].Leng G, Huang M, Tang Q, Leung LR. A modeling study of irrigation effects on global surface water and groundwater resources under a changing climate. J Adv Model Earth Syst. 2015;7(3):1285–304.

[2].Rockström J, Falkenmark M, Karlberg L, Hoff H, Rost S, Gerten D. Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change. Water Resour Res. 2009;45(7).

[3].Arnell NW. Climate change and global water resources : SRES emissions and socio-economic scenarios. 2004;14:31–52.

[4].Alcamo J, Flörke M, Märker M. Future Long-Term Changes in Global Water Resources Driven by Socio- Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. 2007;(April).

[5].Ashraf B, Yazdani R, Mousavi-Baygi M, Bannayan M. Investigation of temporal and spatial climate variability and aridity of Iran. Theor Appl Climatol. 2014;118(1–2):35–46.

[6].Madani K. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? J Environ Stud Sci. 2014;4(4):315–28.

[7].Madani K, AghaKouchak A, Mirchi A. Iran's socio-economic drought: challenges of a water-bankrupt nation. Iran Stud. 2016;49(6):997–1016.

[8].Sadegh M, Mahjouri N, Kerachian R. Optimal inter-basin water allocation using crisp and fuzzy Shapley games. Water Resour Manag. 2010;24(10):2291–310.

[9].Mirchi A, Watkins DW, Huckins CJ, Madani K, Hjorth P. Water resources management in a homogenizing world: Averting the Growth and Underinvestment trajectory. Water Resour Res. 2014;50(9):7515–26.

[10]. Proch P, Maitah M, Pljuˇ I. Evaluation of Water Scarcity in Selected Countries of the Middle East. :1–18.

[11]. Roudi-Fahimi F, Creel L, De Souza R-M. Finding the balance: Population and water scarcity in the Middle East and North Africa. Popul Ref Bur Policy Br. 2002;1–8.

[12]. Girardet, E. and Walter J. Crosslines Essential Field Guide to Afghanistan. second edi. Geneva: Media Action International; 2004.

[13]. Al-nasser AY, Bhat NR. Protected Agriculture in the State of Kuwait. 1990;17–23.

[14]. Hirich A, Choukr-allah R. Water and Energy Use Ef fi ciency of Greenhouse and Net house Under Desert Conditions of UAE : Agronomic and Economic Analysis.

[15]. Kumar KS, Tiwari KN, Jha MK. Design and technology for greenhouse cooling in tropical and subtropical regions : A review. 2009;41:1269–75.

[16]. Ghani S, Bakochristou F, Mohamed E, Ahmed A, Mahmoud S, Gamaledin A, et al. Engineering in Agriculture , Environment and Food Design challenges of agricultural greenhouses in hot and arid environments – A review. Eng Agric Environ Food [Internet]. 2018;(May):0–1. Available from: https://doi.org/10.1016/j.eaef.2018.09.004

www.SID.ir

Archive of SID

[17]. Baeza EJ, Pérez-Parra JJ, Montero JI, Bailey BJ, López JC, Gázquez JC. Analysis of the role of sidewall vents on buoyancy-driven natural ventilation in parral-type greenhouses with and without insect screens using computational fluid dynamics. Biosyst Eng. 2009;104(1):86–96.

[18]. Roldán JJ, Garcia-Aunon P, Garzón M, de León J, del Cerro J, Barrientos A. Heterogeneous multi-robot system for mapping environmental variables of greenhouses. Sensors. 2016;16(7):1018.

[19]. Cockshull KE, Graves CJ, Cave CRJ. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. J Hortic Sci. 1992;67(1):11–24.

[20]. Sethi VP, Sharma SK. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. Sol energy. 2008;82(9):832–59.

[21]. Ishii M, Okushima L, Moriyama H, Sase S. An Overview of Natural Ventilation, Airflow, Evaporative Cooling and Heat Pump Heating in Greenhouses under Mild Climatic Conditions. In: International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant 1037. 2013. p. 493–500.

[22]. Villarreal-Guerrero F, Kacira M, Fitz-Rodríguez E, Kubota C, Giacomelli GA, Linker R, et al. Comparison of three evapotranspiration models for a greenhouse cooling strategy with natural ventilation and variable high pressure fogging. Sci Hortic (Amsterdam). 2012;134:210–21.

[23]. Arbel A, Yekutieli O, Barak M. Performance of a fog system for cooling greenhouses. J Agric Eng Res. 1999;72(2):129–36.

[24]. Bucklin RA, Henley RW, McConnell DB. Fan and pad greenhouse evaporative cooling systems. Circ (Florida Coop Ext Serv. 1993;

[25]. Rorabaugh P, Jensen M, Giacomelli G. Introduction to Controlled Environment Agriculture and Hydroponics. Control Environ Agric Cent. 2002;1–130.

[26]. Anifantis AS, Colantoni A, Pascuzzi S. Thermal energy assessment of a small scale photovoltaic, hydrogen and geothermal stand-alone system for greenhouse heating. Renew energy. 2017;103:115–27.

[27]. Paksoy HÖ, Beyhan B. Thermal energy storage (TES) systems for greenhouse technology. In: Advances in thermal energy storage systems. Elsevier; 2015. p. 533–48.

[28]. Courtois N, Grisey A, Grasselly D, Menjoz A, Noël Y, Petit V, et al. Application of Aquifer Thermal Energy Storage for heating and cooling of greenhouses in France: a pre-feasibility study. In: European Geothermal Congress 2007. 2007. p. 8–p.

[29]. Wong B, McClung L, Snijders A, McClenahan D, Thornton J. The application of aquifer thermal energy storage in the Canadian greenhouse industry. In: International Symposium on High Technology for Greenhouse Systems: GreenSys2009 893. 2009. p. 437–44.

[30]. Sanaye S, Niroomand B. Horizontal ground coupled heat pump: Thermal-economic modeling and optimization. Energy Convers Manag. 2010;51(12):2600–12.

[31]. Attar I, Naili N, Khalifa N, Hazami M, Lazaar M, Farhat A. Experimental study of an air conditioning system to control a greenhouse microclimate. Energy Convers Manag. 2014;79:543–53.

[32]. Ganji MH, Tavassoli M. Climatic Characteristics and Classi fi cation of Iran , Studies of the Hot Arid Zone 1. Vol. 1. 2016.

[33]. Sanaye S, Malekmohammadi HR. Thermal and economical optimization of air conditioning units with vapor compression refrigeration system. Appl Therm Eng. 2004;24(13):1807–25.

[34]. Younker DL. Value Engineering: Analysis and Methodology [Internet]. Cost Engineering. 2003. 326 p. Available from: http://books.google.com/books?id=Mtq_qunJIBMC&pgis=1

[35]. G. Snyder R. Greenhouse Tomato Handbook [Internet]. Central Mississippi Research and Extension Center; Available from: https://ag.umass.edu/sites/agcenter/files/pdf-doc-ppt/p1828.pdf

[36]. statistics and information network | Iran's energy balance spreadsheet 2015-2016 94 [Internet]. [cited 2019 Jan 18]. Available from: http://isn.moe.gov.ir/-گزارشـــات-امـــاری/ترازنامـــه-انرژی-سال-۹۴

[37]. Favre M, Montginoul M. Water pricing in Tunisia: Can an original rate structure achieve multiple objectives? Util Policy [Internet]. 2018;55(October):209–23. Available from: https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.06.004

[38]. Cooper B, Crase L, Pawsey N. Best practice pricing principles and the politics of water pricing. Agric Water Manag [Internet]. 2014;145:92–7. Available from: http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.011

www.SID.ir