

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

توحید جعفری نژاد^۱، امیرحسین فتحی^۲، حسین یوسفی^{۳*}، کیانوش چوبینه^۴

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

۲. استادیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه شیراز

۳. دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

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

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

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، ارائه چارچوبی است که فنی-اقتصادی‌ترین سیستم سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش را از نظر مصرف آب برای گلخانه برگزیند. سه نوع مختلف سیستم سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش را تحت قیمت‌های فعلی و واقعی آب بررسی می‌کند، در حالی که سناریوی سوم قیمت بهینه آب را به‌گونه‌ای اختیار می‌کند که سیستم سرمایه‌ش با کمینه مصرف آب انتخاب شود. نتایج نشان می‌دهد سیستم سرمایه‌ش فن و پد که قبلاً باور بر این بود که فنی-اقتصادی‌ترین سیستم سرمایه‌ش برای گلخانه‌های ایران است، در حقیقت فنی-اقتصادی‌ترین سیستم سرمایه‌ش برای تمام اقلیم‌های آب و هوایی ایران نیست و سیستم سرمایه‌ش انبساط مستقیم (تراکمی) با میانگین هزینه معادل سرمایه‌ش ۰/۴۲۷ و ۰/۲۷۳۳ دلار بر کیلووات ساعت سرمایه‌ش در مقابل ۰/۵۱۰ و ۰/۸۲۶۴ دلار بر کیلووات ساعت سرمایه‌ش میانگین هزینه معادل سرمایه‌ش سیستم سرمایه‌ش فن و پد، به ترتیب در سناریوهای اول و دوم برتری یافته است. در نهایت، 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 سرمایه‌شی‌ای انتخاب کند که کمترین میزان مصرف آب را دارد.

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

مقدمه

آب عنصری حیاتی است که زندگی تمامی جانداران به آن وابسته است. هر جا که آب به وفور یافت شده است، تمدن‌ها و جوامع در حال توسعه و پیشرفته در کنار آن شکل گرفته‌اند. دلیل اینکه آب تأثیر زیادی در توسعه بشریت دارد، کارکرد حیاتی آن در تهیه غذای سالم و غنی است. ولی تمام نقاط زمین از موهبت آب بهره‌مند نیستند، که این اتفاق موجب می‌شود نیروهای طبیعی و غیرطبیعی که تعیین‌کننده در دسترس بودن آب هستند، به‌منظور مدیریت متناسب منابع در نظر گرفته شوند [۱]. یک‌سوم جمعیت کل جهان در مناطقی همچون خاورمیانه، شمال آفریقا و بعضی از مناطق مدیترانه‌ای تحت شرایط حاد تنش آبی^۱ زندگی می‌کنند [۲-۴]. به‌رغم اینکه ایران نواحی آب و هوایی متنوعی، اعم از مرطوب تا خشک دارد، اما در کل به‌عنوان ناحیه خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود [۵ و ۶]. در حالت کلی، این‌گونه برداشت می‌شود که ایران در حال روبه‌رو شدن با چالش‌های پایداری آب و از جمله کشورهای دارای تنش آبی است [۶ و ۷]. انسان‌ها مقدار آب در دسترس را توسط ذخیره‌کردن، برداشت غیرمنطقی، توزیع آب منابع مختلف، و به‌خصوص در ایران با حفاری چاه‌ها به‌منظور کشاورزی، رو به وضعیت بدی سوق داده‌اند [۸ و ۹]. در کنار تمامی دلایل یادشده، گام طبیعی رو به خشک‌سالی و بحران آبی ایران مزید بر علت شده تا شرایط بدی را برای صنعت کشاورزی کشور به ارمغان آورد. طبق گزارش‌ها، ایران با تحلیل ویرانگر منابع آبی روبه‌رو خواهد شد [۱۰]. بنابراین، مصیبت آبی ایران بخش کشاورزی را از رونق گرفتن محروم می‌کند. صنعت کشاورزی مصرف‌کننده شدید آب در کل دنیاست. کشاورزی مسئول مصرف حدود ۷۰ درصد آب در بیشتر نقاط زمین است. البته، این مقدار برای خاورمیانه تا مقدار ۹۰ درصد افزایش داشته است که این امر شدت بیشتر مصرف آب در نواحی گرم و خشک از جمله ایران را نشان می‌دهد [۱۱]. همچنین، کشاورزی از نظر استراتژیک برای کشور ایران بیش از سایر کشورها اهمیت دارد [۱۱]. این‌گونه تخمین زده شده است که صرفه‌جویی به مقدار یک میلی‌متر در سال سبب صرفه‌جویی ۱۴/۵ میلیون

دلاری در کشور ایران می‌شود [۱۲]. با در نظر گرفتن تمامی این عوامل، برای ایران حیاتی است تا با صرفه‌جویی در مصرف آب نه تنها با بحران‌های آبی مقابله کند، بلکه سبب رونق اقتصادی شود.

از یک‌طرف، کشت و تولید گلخانه‌ای کمترین مقدار مصرف آب را در بخش کشاورزی به خود اختصاص می‌دهد و از طرف دیگر، در خاورمیانه به دلیل آب و هوای گرم گلخانه‌ها به خنک‌سازی بیشتری نیاز دارند که سبب افزایش مصرف انرژی و آب می‌شود [۱۳]. در حقیقت، تقاضای برودت برای گلخانه‌ها در چنین مناطق گرم و خشکی، ۳/۵ برابر آب مورد نیاز برای آبیاری گوجه‌فرنگی است [۱۴]. به‌طور کلی، روش‌های مختلفی برای خنک‌سازی گلخانه‌ها در نواحی گرم و خشک وجود دارد [۱۵ و ۱۶] که عبارت‌اند از: ۱. تهویه طبیعی و اجباری^۲، که در آن از طریق دریچه‌های جانبی دیوار و سقف و در مواردی از طریق فن^۳ صورت می‌پذیرد [۱۷ و ۱۸]؛ ۲. سایه‌بان^۴، که در آن کیفیت نور واردشده از پوشش گلخانه کنترل شده و تولید محصول مستقیم توسط تابش خورشیدی متأثر می‌شود [۱۹]؛ ۳. سرمایش تبخیری^۵ که متداول‌ترین روش برای تهویه هوای داخل گلخانه است، به‌خصوص در شرایطی که دمای هوا گرم باشد. در ضمن نوع یادشده کارایی این سیستم‌ها در ناحیه‌ای مانند ایران را تأیید می‌کند [۲۰]؛ ۴. مه‌افشانی^۶ که اغلب در تابستان‌ها صورت گرفته و در آن کنترل دما توسط کنترل دبی جرمی و سایز قطرات آب صورت می‌گیرد [۲۱]. همچنین، روش‌های ترکیبی سرمایشی وجود دارد که در آن چند عدد از روش‌های یادشده به‌منظور تطابق با شرایط مد نظر با یکدیگر تلفیق می‌شود [۲۲-۲۴].

در حقیقت، فرایند سرمایش گلخانه پرمصرف‌ترین قسمت یک گلخانه از نظر مصرف آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک است. این‌گونه نتیجه گرفته می‌شود که دلیل اصلی برای زیادبودن میزان مصرف آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک، استفاده بیشتر از سیستم‌های خنک‌سازی تبخیری است که از گرمای نهان تغییر فاز آب به‌منظور

2. Natural and forced ventilation

3. Fan

4. Shading

5. Evaporative cooling

6. Fogging

1. Water-stress

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 سرمایه‌گذاری مختلف در گلخانه‌ها مطالعه شده و از نظر فنی-اقتصادی ارزیابی می‌شود. در نهایت، 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 سرمایه‌گذاری از دیدگاه آب استفاده کند.

روش تحقیق

در این بخش سه فناوری مختلف سرمایه‌گذاری برای یک گلخانه نمونه معرفی می‌شود. محصول گلخانه مطالعه شده گوجه‌فرنگی است که تقریباً در تمامی نقاط ایران در گلخانه‌ها کشت می‌شود. ملزومات کنترل‌پذیری مناسب، زمان پاسخ و محدوده کنترل دما، سیستم‌های سرمایه‌گذاری نامزد شده را به سه سیستم فن و پد تبخیری^۶، چیلر جذبی^۷ و سیستم‌های تراکمی^۸ 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 همه سیستم‌های یاد شده 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^۹ ایران به پنج ناحیه اصلی تقسیم می‌شود [۳۲] که عبارت‌اند از: آب‌و‌هوای بیابانی گرم^{۱۰}، بیابانی سرد^{۱۱}، گرم و نیمه‌خشک^{۱۲}، سرد و نیمه‌خشک^{۱۳} و مدیترانه‌ای^{۱۴}. سیستم‌های سرمایه‌گذاری گوناگون در نقاط آب و هوایی مختلف ایران به‌گونه‌ای مدل

تأمین‌کننده بار برودتی استفاده می‌کند. به‌رغم اینکه سرمایه‌گذاری 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 در نظر گرفتن 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 تهویه هوا مربوط می‌شود [۲۵] و ۲۶٪. تلاش‌های زیادی برای کاهش انرژی برودتی توسط جایگزینی فناوری‌های سرمایه‌گذاری مختلف صورت گرفته است. پاکسوی و بیهان^۱ [۲۷] یک نمونه اولیه از سیستم ذخیره انرژی حرارتی-آبی^۲ برای ذخیره‌سازی انرژی فصلی گلخانه‌ها ارائه دادند. سیستم آنها قادر به کاهش مصرف انرژی به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد برای سرمایه‌گذاری و گرمایش بود. کورتوا^۳ و همکارانش [۲۸] پژوهشی را روی سیستم‌های ذخیره انرژی حرارتی-آبی در فرانسه انجام دادند که در آن جایگزینی این سیستم به‌منظور کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در گلخانه‌ها استفاده می‌شد. ونگ^۴ و همکارانش [۲۹] ثابت کردند که استفاده از سیستم‌های ذخیره 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 پیشنهاد شده مستعد رسیدن به ضریب کارایی^۵ ۳/۹ تا ۵/۴ برای مدهای گرمایش و سرمایه‌گذاری 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 سرمایه‌گذاری 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 یاد شده قادر بود دمای روز

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

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

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

$$PVO = PVE + PVW + PVG \quad (4)$$

که در آن PVE هزینه سالانه برق PVW هزینه سالانه آب و PVG هزینه سالانه گاز طبیعی است که تمامی آنها از طریق معادلات ۵-۷ به دست می‌آید.

$$PVE = C_e \cdot E \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (5)$$

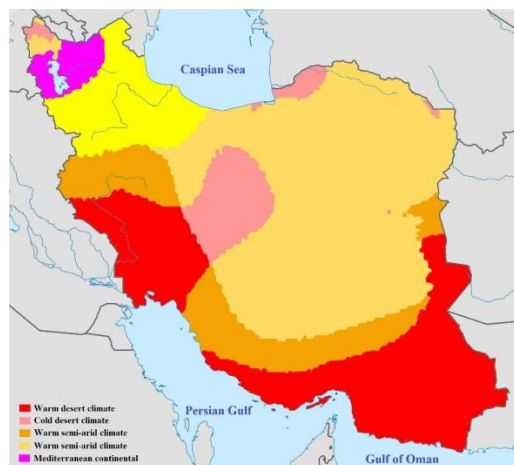
$$PVW = C_w \cdot W \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (6)$$

$$PVG = C_g \cdot G \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (7)$$

که در آن C_e هزینه واحد الکتریسیته و E مقدار الکتریسیته مصرف شده در سیستم سرمایه‌گذاری به صورت سالانه است، C_w هزینه واحد آب و W مقدار آب سالیانه مصرف شده توسط سیستم سرمایه‌گذاری بوده، C_g هزینه واحد گاز طبیعی و G مقدار گاز طبیعی مصرف شده 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 قانون گذار 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 به گونه‌ای تعیین می‌کنند که کشاورز مجبور شود فناوری سرمایه‌گذاری با کمترین میزان مصرف آب را ترجیح دهد. مقایسه سیستم‌های سرمایه‌گذاری گوناگون با توجه به هزینه معادل سرمایه‌گذاری در هر منطقه آب و هوایی صورت گرفته است. بدیهی است که سیستم با کمترین مقدار معادل سرمایه‌گذاری بر سایر سیستم‌های سرمایه‌گذاری برتری یافته و از نظر فنی-اقتصادی و پایداری گزینه بهتری خواهد بود.

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



شکل ۱. اقلیم‌های آب‌وهوایی ایران [۳۲]

در روش‌شناسی یادشده تحلیل‌های اقتصادی بر پایه مفهوم عمیق هزینه معادل سرمایه‌گذاری صورت می‌پذیرد. هزینه معادل سرمایه‌گذاری به این معناست که یک سیستم سرمایه‌گذاری با صرف چه هزینه‌ای می‌تواند یک کیلووات ساعت انرژی برودتی فراهم کند [۳۳]. شایان یادآوری است که این معیار احتمالاً بهترین شاخص به منظور مقایسه سیستم‌های سرمایه‌گذاری مختلف است. هزینه معادل سرمایه‌گذاری از طریق معادله ۱ به دست می‌آید [۳۳].

$$EEC = \frac{F \cdot PVT}{Q_{cooling} \cdot CF} \quad (1)$$

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

$$F = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} \quad (2)$$

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

$$PVT = PVC + PVO \quad (3)$$

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 سرمایه‌شی انبساط مستقیم، چیلر جذبی و فن و پد مطالعه شده است. جزئیات مربوط به گلخانه و سیستم‌های سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش به‌گونه‌ای عمل می‌کنند که علاوه بر تأمین بار برودتی، محصول را سالم و مغذی در سرتاسر دورهٔ کشت نگه دارند. سیستم سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش تراکمی و چیلر جذبی ذاتاً مصرف‌کنندهٔ آب نیستند (غیر از برج خنک‌کن در سیستم سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش 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، گرم و سرد، گرم و نیمه‌خشک و سرد و نیمه‌خشک، سیستم سرمایه‌ش تراکمی مناسب است، در حالی که برای منطقهٔ مدیترانه‌ای سیستم سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش تراکمی	
ظرفیت نامی [kW]	۹/۸
نوع کندانسور [-]	مبدل سطح گستردهٔ هوا خنک
نوع اوپراتور [-]	مبدل سطح گسترده
مبرد [-]	۲۲ آر
سیستم سرمایه‌ش 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 سرمایه‌ش 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]

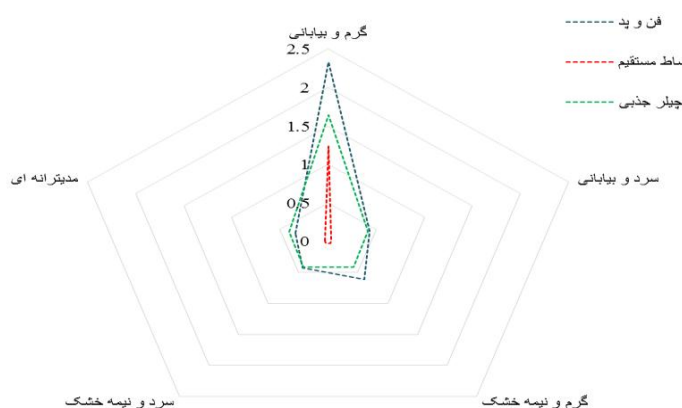
حامل	واحد	قیمت
برق	\$/kWh	۰/۰۱۱۹
گاز طبیعی	\$/m ³	۰/۰۱۰۴
آب	\$/m ³	۰/۰۲۷۳



شکل ۲. هزینه معادل سرمایه‌های سیستم‌های سرمایه‌های 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. هزینه معادل سرمایه‌های سیستم‌های سرمایه‌های در هر اقلیم آب و هوایی ایران برای سناریوی دوم

خورنده^۱ 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]. در نتیجه هزینه انرژی، تجهیزات و تأسیسات لازم به‌منظور نمک‌زدایی آب، تعیین‌کننده قیمت واقعی آب در ایران است. این فرایند انرژی حدود ۸/۶ مترمکعب گاز

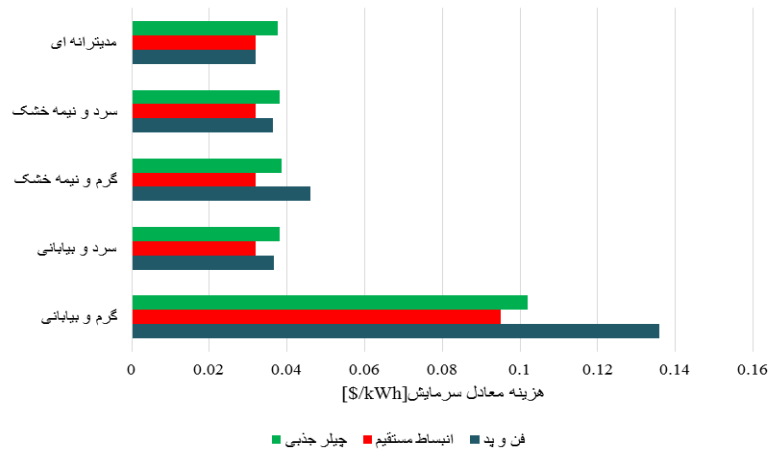
در سناریوی دوم قیمت برق و گاز دست نخورده است، در حالی که قیمت آب باید با توجه به کمیابی و خارج از دسترس بودن آب بازنگری شود. در حقیقت، کشور ایران در هم‌جواری دریای خزر، خلیج فارس و خلیج عمان است که در آنجا آب شور به‌وفور قابل برداشت است، ولی همان‌گونه که می‌دانیم آب شور قابل شرب برای انسان نیست و برای استفاده در مصارف صنعتی نیز بسیار

1. Erosive

قیمت آب باید به گونه‌ای توسط قانون‌گذار تعیین شود که هزینه معادل سرمایه‌گذاری در سیستم فن و پد تبخیری و سیستم تراکمی با یکدیگر برابر یا بیشتر شود. دلیل انتخاب این دو سیستم، رقابت پایاپای آنها با یکدیگر در منطقه آب‌وهوایی مدیترانه‌ای بوده، پس قیمت آب باید با توجه به این اقلیم و دو سیستم سرمایه‌گذاری اشاره شده تعیین شود. در نهایت، قیمت‌گذاری با توجه به موارد و معیارهای یادشده به انتخاب سیستم سرمایه‌گذاری توسط کشاورز منجر می‌شود که مصرف آب آن در مقایسه با سایر سیستم‌های سرمایه‌گذاری کمتر است. در این سناریو کمیته قیمت آب که سیاست‌گذار باید تعیین کند، ۰/۰۱۲۲۱ دلار بر مترمکعب است تا اینکه کشاورز سیستم سرمایه‌گذاری تراکمی را به جای سیستم فن و پد انتخاب کند. با در نظر گرفتن قیمت آب به مقدار ۰/۰۱۲۲۱ دلار بر مترمکعب هزینه معادل سرمایه‌گذاری به دست آمده در سیستم‌های مختلف به صورت شکل ۴ به تصویر کشیده می‌شود که در آن هزینه معادل سرمایه‌گذاری سیستم فن و پد تبخیری و سیستم سرمایه‌گذاری تراکمی در منطقه آب و هوایی مدیترانه‌ای با یکدیگر برابر خواهد بود.

طبیعی برای نمک‌زدایی یک مترمکعب آب استفاده می‌کند. در جدول ۳ قیمت‌های این سناریو شرح داده شده است. در نهایت، هزینه معادل سرمایه‌گذاری هر سه سیستم در هر اقلیم آب و هوایی در این سناریو در شکل ۳ نمایان می‌شود. بر اساس شکل ۳، در تمام سیستم‌های سرمایه‌گذاری هزینه معادل سرمایه‌گذاری، به خصوص در سیستم فن و پد تبخیری و همچنین چیلر جذبی به دلیل افزایش ناگهانی و محسوس در هزینه آب برج خنک‌کن تر آن افزایش داشته است. به خصوص در این سناریو سیستم سرمایه‌گذاری اقلیم آب و هوایی مدیترانه‌ای که در سیستم قبلی فن و پد انتخاب شده بود، هم‌اکنون به سیستم سرمایه‌گذاری 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 سرمایه‌گذاری ترجیح داده شده است، ولی با توجه به شکل ۲ این سیستم در رقابتی نزدیک با سیستم سرمایه‌گذاری تراکمی است. پس برای سناریوی سوم



شکل ۴. هزینه معادل سرمایه‌گذاری برای سیستم‌های سرمایه‌گذاری در هر اقلیم آب و هوایی ایران در سناریوی سوم

است، که به معنای مقدار هزینه انجام شده توسط سیستم سرمایه‌گذاری 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

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مناسب بودن سه سیستم سرمایه‌گذاری مختلف که شامل فن و پد تبخیری، سیستم سرمایه‌گذاری تراکمی و چیلر جذبی می‌شود در پنج اقلیم آب و هوایی مختلف ایران از قبیل گرم و بیابانی، سرد و بیابانی، گرم و نیمه خشک، سرد و نیمه خشک و مدیترانه‌ای بررسی شده است. مزایای هر فناوری توسط مفهوم هزینه معادل سرمایه‌گذاری بررسی شده

- [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, Pljuč 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 Efficiency 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>

حتی خود کشاورز قادر به انجام آن است، ولی با توجه به سایر سیستم‌های سرمایه‌گذاری معرفی شده در مطالعه حاضر دیگر قادر به برتری نیست و بهترین سیستم فنی-اقتصادی نخواهد بود. در نهایت، گزاره‌های زیر قابل نتیجه‌گیری است:

- سیستم سرمایه‌گذاری تراکمی کمترین هزینه معادل سرمایه‌گذاری را در تمامی اقلیم‌های آب و هوایی به غیر از اقلیم مدیترانه‌ای، که در آن سیستم فن و پد تبخیری کمترین مقدار هزینه معادل سرمایه‌گذاری را دارد، شامل می‌شود.
- با اعمال هزینه واقعی آب بر تمامی سیستم‌های سرمایه‌گذاری معرفی شده در پژوهش حاضر، سیستم سرمایه‌گذاری 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 به گونه‌ای تعیین شده که در آن کشاورز مجبور به انتخاب سیستم سرمایه‌گذاری با کمترین میزان مصرف آب شود. در نهایت، می‌توان این گونه جمع‌بندی کرد که در کشوری تحت استرس شدید آب همانند ایران بهتر است کشاورزان از تکنولوژی‌های مصرف‌کننده زیاد آب به‌منظور سرمایه‌گذاری گلخانه استفاده نکنند و در عوض از سایر تکنولوژی‌ها، هر چند انرژی‌بر بهره‌جویند و سیاست‌گذاران با تنظیم قیمت آب باید در این راه همکاری لازم را انجام دهند. برای انجام مطالعه‌های آتی پیشنهاد می‌شود با در نظر گرفتن میزان مصرف آب در تولید برق و گاز تحلیلی جامع‌تر و با دید چرخه عمر صورت گیرد و بهترین تکنولوژی با توجه به قیمت حقیقی آب و نتایج این تحلیل چرخه 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.

- [17]. Baeza EJ, Pérez-Parra JJ, Montero JJ, 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, Menjöz 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 Classification 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_qunJIBM C&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/-/ترازنامه-اماری-گزارشات-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>