

ارزیابی اقتصادی و اثرات محیط زیستی-اجتماعی سرمایش خورشیدی در مناطق جنوبی ایران

هادی دشتکی حصاری^۱، محمدعلی قاضی زاده^۲، محمدعلی زاهد^۳

تاریخ پذیرش مقاله:

۹۵/۱/۱۶

تاریخ دریافت مقاله:

۹۴/۸/۲۵

چکیده:

در این پژوهش به بررسی انواع سیستم‌های سرمایش خورشیدی برای استفاده در منازل مسکونی پرداخته شده است. اجزای مختلف تمامی سیستم‌ها بر اساس فناوری روز انتخاب شده و محاسبات اقتصادی بر اساس پارامترهای مختلف بر روی آنها انجام گرفته است. در کنار ارزیابی اقتصادی این سیستم‌ها برای استفاده به عنوان جایگزین سیستم‌های سرمایشی موجود، اثرات محیط زیستی آنها از منظر ملی نیز مورد توجه قرار داده شده و در مورد پذیرش اجتماعی آنها نیز مطالبی عنوان شده است. سیستم‌های مورد مطالعه از هر دو دسته اصلی سیستم‌های سرمایش خورشیدی (فتوولتائیک و حرارتی) انتخاب شده و تمامی پارامترهای اثرگذار بر اندازه و قیمت آنها مورد توجه قرار گرفته است. هدف دیگر این پژوهش، کمک به سیاست‌گذاران توسعه صنعت انرژی خورشیدی در کشور برای انتخاب فناوری مناسب سرمایه‌گذاری در حوزه سرمایش خورشیدی است. از این رو، مناطق جنوبی کشور که بیشترین بار سرمایشی و البته بیشترین پتانسیل استفاده از انرژی خورشید را در طول سال دارا می‌باشند برای بررسی انتخاب شده‌اند. نکته حائز اهمیت در انتخاب سرمایش خورشیدی، تاثیر بسیار زیاد آن بر اوج مصرف برق کشور در روزهای گرم تابستان است که جزو نقاط تمرکز دولت می‌باشد.

کلمات کلیدی:

سرمایش خورشیدی، فتوولتائیک، اثرات زیست محیطی، انرژی خورشیدی، اوج مصرف برق

مقدمه

ایران سرشار از منابع بسیار غنی انرژی‌های تجدیدپذیر است و زمینه‌های ایده‌آلی برای استفاده از انرژی خورشیدی در کشور وجود دارد. متوسط مدت زمان تابش خورشید برای مناطق مرکزی ایران به بیش از ۲۸۰۰ ساعت در سال می‌رسد [۱]. با توجه به مصرف بسیار بالای حامل‌های انرژی در بخش مسکونی با بیش از ۲۷/۵ درصد انرژی کشور [۲]، استفاده از انرژی خورشیدی در بخش جنوبی و مرکزی ایران، به دلیل پتانسیل بالای آن می‌تواند به‌عنوان جایگزین مطرح گردد (جدول ۱). در این بخش‌ها، بیشتر انرژی صرف تامین سرمایش منازل شده و حجم بسیار زیادی انرژی مصرف می‌شود. لذا استفاده از سیستم‌های خورشیدی در تامین سرمایش ساختمان‌ها می‌تواند گامی مهم در کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، کاهش آلاینده‌گی و عرضه پایدار انرژی باشد. افزایش سهم سیستم‌های خورشیدی در تامین انرژی باعث کاهش انتشار مواد آلاینده (SOx، NOx و غیره) می‌گردد و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه‌های اجتماعی این انرژی را کاهش داده و مردم را به سمت استفاده بیشتر از این انرژی سوق خواهد داد.

در این پژوهش به بررسی انواع سیستم‌های سرمایش خورشیدی از منظر اقتصادی و محیط‌زیستی و امکان جایگزینی آنها در منازل مسکونی جنوب کشور پرداخته شده است.

جدول ۱) پتانسیل انرژی تابشی خورشید در مناطق مختلف کشور [۳]

پتانسیل انرژی خورشیدی (kWh/m ² .day)	منطقه
۲/۸-۳/۸	دامنه شمالی البرز
۳/۸-۴/۵	شمال شرق، شمال غرب، جنوب غرب
۵/۲-۵/۴	مناطق مرکزی (کرمان، یزد و فارس)
۴/۵-۵/۲	باقی مناطق

سیستم‌های سرمایشی

به‌طور کلی، دو راه برای استفاده از انرژی خورشیدی به منظور سرمایش وجود دارد، (۱) تبدیل انرژی خورشیدی به مکانیکی یا الکتریکی و استفاده از چرخه‌های تبرید تراکمی و (۲) تبدیل انرژی خورشیدی به حرارتی و استفاده از چرخه‌های جذبی [۱]. تقسیم‌بندی دقیق‌تر انواع چرخه‌های سرمایش خورشیدی در شکل (۱) آورده شده است.

برای انتخاب چرخه‌های مناسب برای منزل مسکونی از شکل (۱) و تحقیقات انجام شده قبلی مانند کار فونگ و همکاران [۴]، لواسانی و همکاران [۵]، اُتانیکار و همکاران [۶] و چیدامبارام و همکاران [۷] استفاده شده است.

با مطالعه مقالات بالا، سیستم‌های زیر برای استفاده خانگی انتخاب شده‌اند:

- سرمایه‌ش تراکم الکتریکی
- سرمایه‌ش جذب سطحی - Adsorption
- سرمایه‌ش دسیکانت جامد - Desiccant
- سرمایه‌ش جذب حجمی (آب و آمونیاک) - Absorption
- سرمایه‌ش جذب حجمی (آب و LiBr) - Absorption

معیار انتخاب آنها تجاری بودن و نبود مشکل برای استفاده در منزل مسکونی است. شرایط مورد بررسی به‌صورتی است که سیستم‌ها توان تولید برودت موردنیاز برای یک واحد مسکونی ویلایی با ۱۰۰ مترمربع زیربنا را در مناطق جنوبی کشور داشته باشند. بار برودتی موردنیاز برای این واحد مسکونی در حدود ۵ تن تبرید یا ۱۷/۵۸ kW فرض شده و میزان انرژی موردنیاز نیز از میانگین انرژی تابشی خورشید در کشور که معادل 1700 W/m^2 [۸] در نظر گرفته شده است تا این طریق بتوان تمامی سیستم‌ها را به‌منظور تامین این بار نرمال کرده و در نهایت، مقایسه اقتصادی و زیست‌محیطی آنها به درستی انجام گیرد.

تحلیل اقتصادی

تمرکز تحلیل اقتصادی سیستم‌های معرفی شده، بر قیمت فعلی آنها به همراه مقدار صرفه‌جویی آنها در مصرف انرژی واحد مسکونی در طول دوره بهره‌برداری است. در سیستم‌های خورشیدی، دوره بهره‌برداری معمولاً حدود ۲۰ سال در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر، فرض بر این است که هزینه‌های نگهداری و تعمیرات (نت) این سیستم‌ها با یکدیگر برابر بوده و البته تاثیر زیادی بر نتایج تحلیل اقتصادی نخواهند داشت. لذا از هزینه‌های مربوط به نت صرف‌نظر شده است تا محاسبات ساده‌تر شوند. همانگونه که ذکر شد، مقدار برودت موردنیاز برابر ۵ تن تبرید در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب، سیستم‌های مختلف مساحت‌های کلکتور مختلفی را برای تامین انرژی موردنیاز خواهند داشت و از این طریق، مقایسه آنها به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. برای تامین پایدار انرژی، یک ذخیره‌ساز انرژی برای آنها در نظر گرفته شده است که توان ۸ ساعت ذخیره انرژی را دارا باشد.

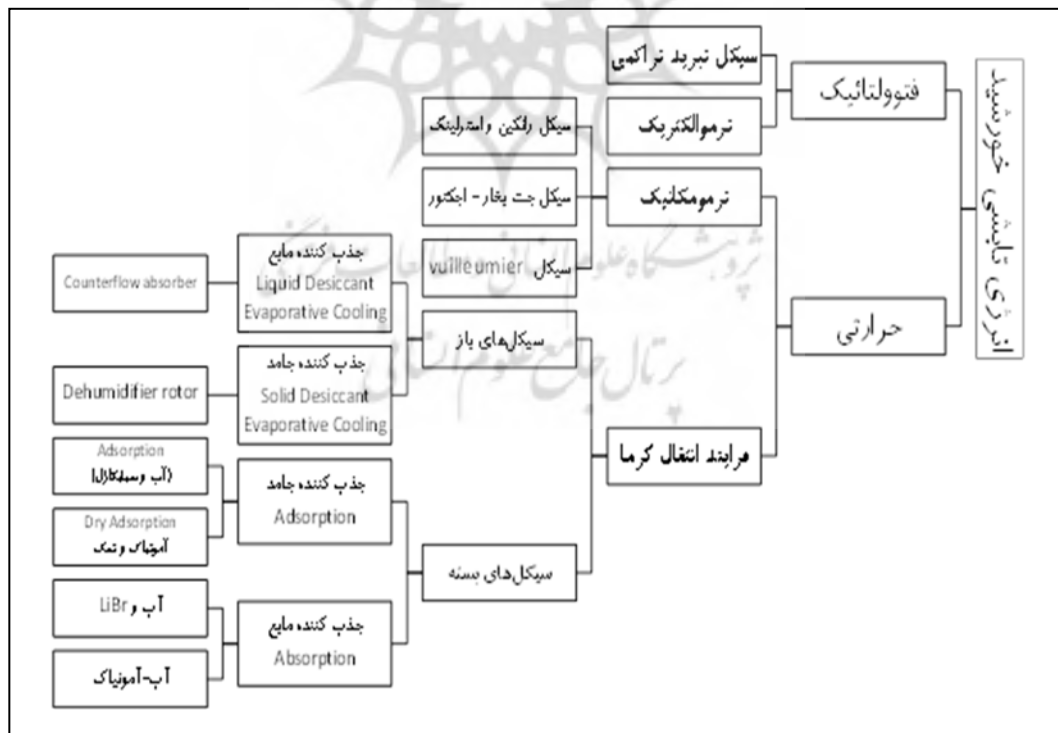
سیستم فتوولتائیک (PV)

شماتیک یک سیستم سرمایه‌ش خورشیدی فتوولتائیک در شکل (۲) ارائه شده است. همانگونه که مشخص است، این

سیستم‌ها از ۴ بخش اصلی تشکیل می‌شوند: سلول‌های خورشیدی (PV)، اینورتر، ذخیره‌ساز انرژی (باتری) و سیستم تبرید تراکمی. به منظور محاسبه اندازه سیستم برای تامین برودت، از مقادیر بازدهی این ۴ بخش به همراه بار برودتی و انرژی تابشی خورشید استفاده شده است. جزئیات مقادیر بازده این بخش‌ها در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲) بازده بخش‌های مختلف سیستم سرمایه‌ی خورشیدی فتوولتائیک

منبع	بازده (%) یا COP	بخش
[۱]	۱۵-۱۸	سلول‌های خورشیدی
[6]	۹۰	اینورتر
[6]	۸۰	باتری
[۹]	۴	COP



شکل (۱) انواع چرخه‌های سرمایه‌ی خورشیدی [18]

مقدار انرژی موردنیازی که باید از طریق سلول‌های PV تامین شود (Q_{PV})، بر اساس بار برودتی (Q_{cool})، COP، بازدهی ذخیره‌ساز انرژی (C_{st}) و بازدهی اینورتر (C_{inv}) به صورت معادله (۱) خواهد بود:

$$Q_{PV} = \frac{Q_{Cool}}{COP C_{st} C_{inv}} \quad (1)$$

بدین ترتیب، با در نظر گرفتن بازدهی سلول‌های PV (C_{PV}) و مقدار انرژی تابشی خورشید (Q_{sun})، مساحت سلول‌های PV مشخص خواهد شد:

$$A_{PV} = \frac{Q_{Cool}}{Q_{sun} COP C_{st} C_{inv} C_{PV}} \quad (2)$$

برای محاسبات مربوط به توان اینورتر (Q_{inv}) بر اساس برودت موردنیاز، خواهیم داشت:

$$Q_{inv} = \frac{Q_{Cool}}{COP C_{inv}} \quad (3)$$

و توان ذخیره‌ساز انرژی (Q_{st}) نیز با فرض ۸ ساعت توان ذخیره‌سازی انرژی برابر خواهد بود با:

$$Q_{st} = 8 \frac{Q_{Cool}}{COP C_{st} C_{inv}} \quad (4)$$

پس از جایگزین نمودن مقادیر جدول (۲) در معادلات بالا، اندازه هر یک از بخش‌ها به دست می‌آید. به منظور برآورد قیمت اولیه سیستم سرمایه‌گذاری خورشیدی تبرید تراکمی بر پایه PV از منابع مختلفی بهره گرفته شده است. برآورد قیمت و اندازه هر یک از ۴ بخش در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول (۳) اندازه و قیمت [۱۰] بخش‌های مختلف سیستم سرمایه‌گذاری خورشیدی فتوولتائیک

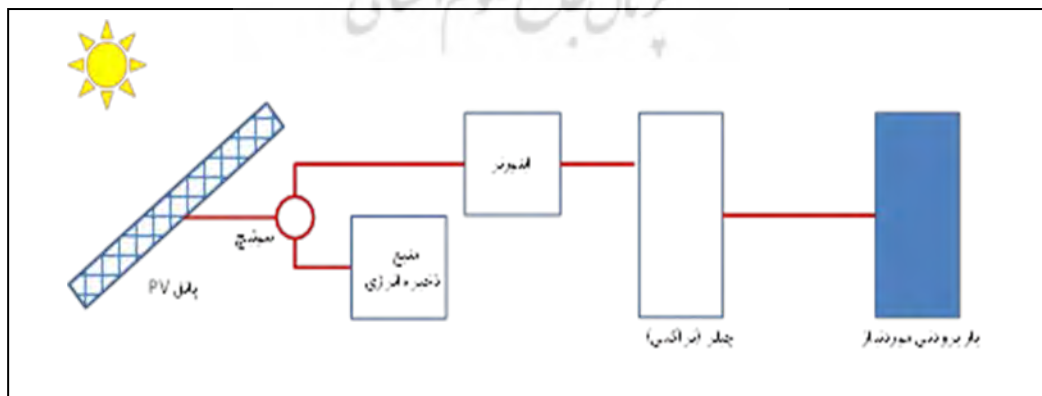
بخش	اندازه	قیمت (\$)
سلول‌های خورشیدی	۶/۱ یا ۲۱ m ² kW	۱۸۰۰۰
اینورتر	۵ kW	۲۰۰۰
باتری	۵۰ kWh	۵۰۰۰
سیستم تبرید تراکمی	۱ دستگاه	۴۰۰۰

سیستم‌های حرارتی

مهم‌ترین دلیل استفاده از سیستم‌های حرارتی، استفاده بیشتر از انرژی تابشی خورشید نسبت به PV است. در این روش‌ها از انرژی خورشیدی برای گرم کردن سیال عامل (ژنراتور حرارتی) در کلکتورها استفاده می‌شود. سیال عامل با دریافت حرارت باعث ایجاد برودت در چیلر حرارتی گردیده و از طریق سیستم واسط به توزیع‌کننده‌های سرما (مانند فن کوئل‌ها) فرستاده می‌شود و باعث خنک شدن هوای داخل می‌گردد. این سیستم‌ها همانگونه که در شکل (۳) نشان داده شده‌اند، شامل ۴ بخش هستند: کلکتور خورشیدی، منبع ذخیره انرژی، سیستم چیلر حرارتی و سیستم انتقال حرارت بین فضای منزل و هواساز. بازده و COP هر یک از این بخش‌ها در سیستم‌های مختلف در جدول (۴) و قیمت آنها در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۴) بازده بخش‌های مختلف سیستم سرمایش خورشیدی حرارتی [۱۱]

بازده (%) یا COP	بخش	شرح
۳۰	کلکتور خورشیدی	COP سیستم تولید برودت
۹۰	منبع ذخیره انرژی	
۰/۴	جذب سطحی	
۱/۱	دسیکانت	
۰/۶	جذب حجمی (آب و آمونیاک)	
۰/۷۵	جذب حجمی (آب و LiBr)	
۹۰	سیستم انتقال حرارت	



شکل ۲) سیستم سرمایش خورشیدی فتوولتائیک

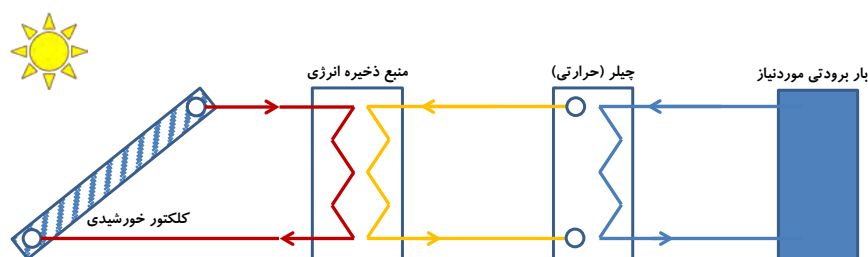
نوع دیگری از این سیستم‌های حرارتی نیز هستند که به سیستم‌های ترمومکانیکی معروفند. در این سیستم‌ها، حرارت ایجاد شده توسط کلکتور باعث بالارفتن دمای سیال عامل (سیال آلی) شده و در یک چرخه رانکین باعث به گردش درآمدن یک توربین (موتور حرارتی) می‌شود که به ژنراتور متصل است و در نهایت، برق تولیدی توسط ژنراتور به وسیله چرخه تبرید تراکمی به برودت تبدیل می‌شود. به بخش اول این چرخه که باعث تولید برق می‌شود، چرخه آلی رانکین یا ORC گفته می‌شود. با توجه به اینکه سیستم‌های مذکور به تازگی در حال تجاری شدن هستند، قیمت آنها تغییرات زیادی دارد و در این مقاله مورد بحث قرار نگرفته‌اند.

کلکتورهایی که در این سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند ۳ نوع هستند: صفحه تخت، لوله خلاء و متمرکز کننده (سه‌موی) که بر اساس دمای موردنیاز سیستم تولید برودت یکی از آنها انتخاب می‌شوند. به دلیل قیمت بالای متمرکز کننده‌های سه‌موی، انتخاب آنها برای منزل مسکونی مناسب نیست. لذا دو نوع دیگر در مقاله حاضر انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفته‌اند. منبع ذخیره انرژی در این سیستم‌ها نیز از نوع آبی در نظر گرفته شده است که به دو صورت می‌توان انرژی خورشیدی را با استفاده از آن ذخیره نمود: سرد (یخ) و گرم. در سیستم‌هایی که COP آنها بزرگتر از یک است، منبع ذخیره گرم و در COPهای کوچکتر از ۱ منبع ذخیره سرد انتخاب مناسب‌تری است [۶].

جدول ۵) قیمت بخش‌های مختلف سیستم سرمایه‌گذاری خورشیدی حرارتی ([۱۱] و [۱۲])

بخش	قیمت
کلکتور خورشیدی	۱۵۰ (\$/m ²)
منبع ذخیره انرژی	۲۰ (\$/kWh)
پکیج سرمایه‌گذاری جذب سطحی	۱۵۰۰۰ (\$)
پکیج سرمایه‌گذاری دسیکانت	۲۰۰۰۰ (\$)
پکیج سرمایه‌گذاری جذب حجمی (آب و آمونیاک)	۴۰۰۰ (\$)
پکیج سرمایه‌گذاری جذب حجمی (آب و LiBr)	۱۵۰۰۰ (\$)

بر اساس داده‌های جداول بالا و مقدار برودت (۱۷/۵۸ kW)، مساحت کلکتورهای موردنیاز برای سیستم‌های حرارتی به صورت جدول (۶) به دست می‌آید.



شکل ۳) سیستم سرمایش خورشیدی حرارتی

جدول ۶) مساحت کلکتورها و اندازه منبع ذخیره انرژی سیستم‌های سرمایش خورشیدی حرارتی

اندازه (kWh)	مساحت (m ²)	نوع
۴۳۴	۱۰۶	جذب سطحی
۱۵۷	۳۹	دسیکانت
۲۸۹	۷۰	جذب حجمی (آب و آمونیاک)
۲۳۱	۵۷	جذب حجمی (آب و LiBr)

تحلیل محیط‌زیستی و اجتماعی

در کنار تحلیل اقتصادی سرمایش خورشیدی، باید به اثرات زیست‌محیطی آن نیز پرداخته شود. در حالت معمول، برای تولید برودت موردنیاز از برق شبکه استفاده می‌شود که برای تولید آن در نیروگاه مقادیر قابل توجهی آلایندگی تولید شده است. بنابراین، اگر از خورشید برای تولید برودت استفاده شود، در مصرف برق صرفه‌جویی شده و در نتیجه، آلایندگی کمتری نیز تولید شده و هزینه‌های زیست‌محیطی (هزینه‌های پنهانی که در قیمت تمام شده در نظر گرفته نمی‌شود) سیستم کاهش می‌یابد.

در زمینه بررسی اثرات زیست‌محیطی سرمایش خورشیدی کارهای مختلفی انجام شده است، از جمله میرخانی و همکاران در سال ۱۳۹۱ هزینه‌های اجتماعی ناشی از استفاده از پمپ حرارتی خورشیدی با چرخه جذبی را محاسبه کرده‌اند [۱۳]. همچنین فلوریدیس و همکاران [۱۴] و هیکیلا [۱۵] نیز به بررسی اثرات سیستم‌های خورشیدی بر گرمایش زمین پرداخته‌اند.

با توجه به اینکه در مناطق جنوبی ایران بیش از ۷۰ درصد انرژی مصرفی خانوار به صورت برق بوده و ۷۵ درصد آن صرف تولید سرمایه می‌شود، به این جمع‌بندی می‌توان رسید که استفاده از انرژی خورشیدی برای سرمایه باعث کاهش تولید آلاینده‌های ناشی از مصرف برق در سیستم‌های سرمایه فعلی می‌شود.

در تحلیل زیست‌محیطی، مقدار CO_2 تولیدی توسط هر یک از سیستم‌های سرمایه خورشیدی برای مقایسه آنها با یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مقدار CO_2 ناشی از در نظر گرفتن چهار اثر این سیستم‌ها است: (۱) اثرات ناشی از استفاده از جمع‌آوری انرژی خورشیدی در کلکتورها، (۲) اثرات سیستم ذخیره‌ساز انرژی، (۳) اثرات مستقیم ناشی از گازهای مبرد و (۴) اثرات غیرمستقیم ناشی از برق‌رسانی به سیستم در مواقع اضطراری. مقادیر متناظر با هر یک از این اثرات برای مقایسه در جدول (۷) آورده شده‌اند که بر اساس آنها می‌توان نقش هر بخش را در تولید CO_2 متوجه شد و مقایسه دقیق‌تری درباره تولید آلاینده آنها داشت.

جدول (۷) مقادیر تولید CO_2 به ازای هر کیلووات ساعت تبرید در سیستم‌های سرمایه خورشیدی [۶]

g CO_2 /kWh Cooling				سیستم
۴	۳	۲	۱	
۲۶۱	۱۸	۸	۱۲	فتوولتائیک
۲۶۳	-	۸۷	۱۶	جذب حجمی (آب و LiBr)
۳۵۱	-	۱۱۶	۲۱	جذب حجمی (آب و آمونیاک)
۳۲۳	-	۱۰۶	۱۹	جذب سطحی
۴۴۴	-	۱۴۷	۳۷	دسیکانت

در تحلیل اجتماعی به عوامل مرتبط با پذیرش یا عدم پذیرش سیستم‌های سرمایه خورشیدی پرداخته می‌شود. از آنجا که مهم‌ترین تفاوت این سیستم‌ها با سیستم‌های موجود در فضایی است که کلکتور (یا سلول‌های خورشیدی) آنها اشغال می‌کنند، بنابراین، بالارفتن مساحت مورد نیاز علاوه بر اینکه از محبوبیت آنها می‌کاهد، باعث می‌شود در هر ساختمانی نتوان آنها را نصب نمود. این نکته‌ای است که در سیاست‌گذاری برای ترویج استفاده از سیستم‌های خورشیدی بایستی در نظر گرفته شود.

نتایج

تحلیل اقتصادی

بر اساس معادلات بخش سیستم‌های سرمایشی و جداول قیمت هر بخش، هزینه نصب هر یک از ۵ سیستم منتخب برای تامین ۵ تن تبرید محاسبه شده و در جدول (۸) ارائه شده است (برآورد قیمت‌های این جدول به‌منظور سادگی محاسبات گرد شده‌اند).

برای انتخاب سیستم مناسب برای استفاده، باید مقدار هزینه‌های برق مصرفی سیستم معمولی و تجهیزات آن نیز طی ۲۰ سال مورد توجه قرار گیرند. با فرض ۷ ماه استفاده از سیستم سرمایشی به مدت ۵ ساعت در روز (در بار کامل)، برق مصرفی یک سیستم تبرید تراکمی با $COP=3$ برابر 6100 kWh خواهد بود که با استفاده از نرم‌افزار تحت وب شرکت توانیر [۱۶] برای سال اول (۱۳۹۳) مبلغی در حدود $12/6$ میلیون ریال یا 500 \$ (با احتساب نرخ تسعیر ارز = 26500 ریال) برای مصرف‌کننده هزینه خواهد داشت که به طور میانگین در حدود ۸ سنت (دلار) به ازای هر کیلووات ساعت برق مصرفی است. از طرفی، قیمت خرید برق از شبکه نیز هر سال دچار افزایش شده و طی سال‌های آینده با اجرایی شدن مرحله‌های بعدی قانون هدفمندی یارانه‌ها به ۹۵ درصد قیمت فوب خلیج فارس خواهد رسید که برخی منابع آن را در حدود ۱۴ سنت به ازای هر کیلووات ساعت اعلام می‌کنند.

با در نظر گرفتن ۵۰ درصد یارانه اجرای طرح‌های خورشیدی که طبق قانون بودجه سال ۱۳۹۳ توسط وزارت نیرو ارائه شده است [۱۷]، IRR و NPV هر یک از سیستم‌ها بر اساس نرخ تنزیل ۵ درصد سالانه (بر مبنای دلار) برای دوره ۲۰ ساله محاسبه شده است. همچنین فرض شده است که مبلغ پرداختی بابت برق مصرفی و عدم خرید سیستم سرمایش معمولی نیز صرفه‌جویی شده است. نتیجه محاسبات اقتصادی در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول (۸) برآورد قیمت سیستم‌های سرمایش خورشیدی و معمولی

قیمت (\$)	نوع
۲۹۰۰۰	فتوولتائیک
۳۹۰۰۰	جذب سطحی
۳۲۰۰۰	دسیکانت
۲۲۰۰۰	جذب حجمی (آب و آمونیاک)
۳۰۰۰۰	جذب حجمی (آب و LiBr)
۴۰۰۰	سیستم تبرید تراکمی معمولی (فعلی)

در صورت تبدیل نرخ‌ها به ریال و استفاده از نرخ تنزیل ۲۵ درصد می‌توان محاسبات را بر مبنای ریال انجام داد. اما به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در واحد پولی ریال در بلند مدت وجود دارد، محاسبات بر مبنای دلار انجام گرفته‌اند.

مقدار منفی NPV در جدول (۹) نشان‌دهنده اقتصادی نبودن طرح بوده و بدین ترتیب از بین سیستم‌های مورد اشاره، سیستم سرمایش جذبی (آب و آمونیاک) و فتوولتائیک دارای توجیه اقتصادی برای نصب در منازل مسکونی هستند. بر اساس IRR و دوره بازگشت سرمایه می‌توان چرخه سرمایش جذبی (آب و آمونیاک) را به عنوان بهترین جایگزین برای سیستم‌های فعلی دانست که البته دوره بازگشت سرمایه نسبتاً مناسبی نیز دارد.

جدول ۹) نتایج تحلیل اقتصادی سیستم‌های سرمایش خورشیدی

نوع	IRR (%)	NPV (\$)	دوره بازگشت سرمایه (سال)
فتوولتائیک	۵/۴	۳۶۷	۱۲
جذب سطحی	۱/۱	-۴۳۹۵	۱۷/۸
دسیکانت	۳/۹	-۱۰۶۱	۱۳/۸
جذب حجمی (آب و آمونیاک)	۱۱/۱	۳۷۰۰	۷/۹
جذب حجمی (آب و LiBr)	۴/۹	-۱۱۰	۱۲/۷

از آنجا که در برخی از مناطق مورد بررسی، رطوبت هوا در برخی مواقع از سال به قدری بالا می‌رود که امکان استفاده از چرخه جذبی وجود ندارد، لذا انتخاب بعدی سرمایش خورشیدی، فتوولتائیک است که با دوره بازگشت سرمایه حدود ۱۲ سال می‌تواند جایگزین سیستم‌های فعلی شود. در محاسبات صورت گرفته، فرض شده است که تعرفه برق سالانه ۲۰ درصد و به مدت ۴ سال افزایش یابد تا به میانگین جهانی برسد. با در نظر گرفتن تعرفه جهانی برق، دوره بازگشت سرمایه این سیستم‌ها تقریباً ۱ سال کاهش می‌یابد که می‌تواند برای صاحبان منازل مسکونی جالب توجه باشد.

نتایج تحلیل محیط‌زیستی

بر اساس مقاله میرخانی و همکاران [۱۳]، هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف انرژی خانوار در سال ۱۳۹۳ را می‌توان با نسبت‌های موجود در ترازنامه هیدروکربوری [۲] در حدود ۴ میلیون ریال در نظر گرفت که در بخش جنوبی کشور بیش از

۲ میلیون ریال آن ناشی از برق مصرفی سیستم‌های سرمایشی فعلی است که در صورت استفاده از سیستم‌های سرمایش خورشیدی، این مبلغ در هزینه‌های دولت صرفه‌جویی خواهد شد.

در زمینه پذیرش اجتماعی نیز به ترتیب سیستم‌ها از بیشترین به کمترین پذیرش به‌صورت زیر خواهند بود: فتوولتائیک < دسیکانت < جذب حجمی (آب و LiBr) < جذب حجمی (آب و آمونیاک) < جذب سطحی. برای نمونه، سیستم جذب سطحی را در نظر بگیرید که بیش از فضای پشت بام یک واحد ۱۰۰ مترمربعی را اشغال می‌کند که این موضوع نه تنها در آپارتمان‌ها که فضای پشت بام مقدار ثابت و محدودی دارد ایجاد اشکال می‌نماید و باعث عدم پذیرش آن توسط ساکنین خواهد شد، بلکه در منازل ویلایی نیز با عدم پذیرش مواجه می‌شود. بنابراین، پذیرش اجتماعی این محصولات از مواردی است که در هنگام تصمیم‌گیری باید به آن توجه شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به وضعیت مصرف انرژی که بیش از ۲۷/۵ درصد آن در بخش مسکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد و شدت انرژی بالای کشور نسبت به کشورهای پیشرفته، می‌توان این‌گونه اظهار نمود که افزایش ظرفیت تولید برق خورشیدی یا استفاده از انرژی خورشیدی باید جزو سیاست‌های دولت قرار گیرد. از طرفی، با وجود میانگین ۲۸۰۰ ساعت تابش خورشید در کشور، ایران جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه انرژی خورشیدی است. از این منظر، موضوع سرمایش خورشیدی یکی از راهکارهایی است که در بخش ساختمان می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. با توجه به بار سرمایشی بسیار بالای مناطق جنوبی، سرمایش خورشیدی علاوه بر کاهش مصرف انرژی به کاهش اوج مصرف برق کشور در روزهای بحرانی و گرم تابستان کمک نموده و باعث افزایش امنیت انرژی نیز می‌شود.

بنابراین، کمک‌های بلاعوض دولت در زمینه انرژی خورشیدی نه تنها باعث ترویج استفاده از این سیستم‌ها می‌شود، بلکه در دراز مدت عایدات بسیاری از دیدگاه ملی برای کشور خواهد داشت که توجیه بسیار مناسبی برای این موضوع است.

نتایج محاسبات این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از سرمایش خورشیدی با چرخه جذبی آب-آمونیاک و فتوولتائیک از توجیه اقتصادی و زیست محیطی مناسبی برای استفاده در منازل برخوردار است. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود این سیستم‌ها از طرف دولت مورد توجه بیشتری قرار داده شوند. همچنین با انتقال فناوری تولید این سیستم‌ها به کشور شاهد کاهش هزینه‌های نصب آنها و بالارفتن اقبال عمومی به آنها در بین مردم خواهیم شد. علاوه بر این، اگر اثرات توسعه این سیستم‌ها بر اوج مصرف برق با موشکافی بیشتری مورد توجه قرار گیرد، شاهد کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری دولت برای ساخت نیروگاه‌ها و خطوط انتقال و توزیع برق خواهیم بود که توجیه اقتصادی این سیستم‌ها را از منظر ملی بیش از پیش تقویت می‌نماید.

منابع

- [۱] آشنایی با انرژی خورشیدی ۲، سازمان انرژی‌های نو ایران، ۱۳۹۰
- [۲] ترازنامه هیدروکربوری کشور، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۹۲.
- [۳] پتانسیل تابش و نقشه تابش خورشید در ایران، Available: www.sun.org.ir.
- [4] K. F. Fong, T. T. Chow, C. K. Lee, Z. Lin, and L. S. Chan, "Comparative study of different solar cooling systems for buildings in subtropical city," *Solar Energy*, vol. 84, no. 2, pp. 227–244, Feb. 2010.
- [۵] آ. م. لواسانی، م. یحیایی سمنان، آ. یوسفی و م. رضوانی‌راد، «بررسی مقدماتی استفاده از چیلرهای جذبی خورشیدی در ایران»، نخستین همایش بین‌المللی چیلر و برج خنک کن ایران، ۱۳۸۹.
- [6] T. Otanicar, R. A. Taylor, and P. E. Phelan, "Prospects for solar cooling – An economic and environmental assessment," *Solar Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 1287–1299, May 2012.
- [7] L. A. Chidambaram, A. S. Ramana, G. Kamaraj, and R. Velraj, "Review of solar cooling methods and thermal storage options," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 6, pp. 3220–3228, Aug. 2011.
- [۸] ع. فرقانی، ب. ساعدپناه و ع. آخوندی، «درآمدی بر تدوین نقشه‌ی راه نیروگاه خورشیدی در ایران»، *دوفصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی*، شماره ۲۱، صص ۸۷–۱۰۶، ۱۳۹۲.
- [۹] آنچه درباره کولر گازی باید بدانید، Available: www.goldiranac.com.
- [10] International Energy Agency (IEA), "Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy," 2012.
- [11] International Energy Agency (IEA), "Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling," 2013.
- [12] Energy Star, "Saving Calculator." 2010.
- [۱۳] س. میرخانی، س. صدوقی، ا. نخعی و ع. عظیمی، «تحلیل اقتصادی و اثرات زیست محیطی ناشی از جایگزینی پمپ حرارتی جذبی خورشیدی در مصارف خانگی»، *دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست*، ۱۳۹۲.

- [14] G. A. Florides, S. A. Tassou, S. A. Kalogirou, and L. C. Wrobel, "Review of solar and low energy cooling technologies for buildings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, pp. 557–572, 2002.
- [15] K. Heikkila, "Environmental impact assessment using a weighting method for alternative air-conditioning systems," *Building and Environment*, vol. 39, pp. 1133–1140, 2004.
- [۱۶] شرکت سهامی مدیریت تولید و انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)، محاسبه صورتحساب مشترکین خانگی، ۱۳۹۳
Available: wamp.tavanir.org.ir/bill.
- [۱۷] تسهیلات بلاعوض وزارت نیرو برای نصب نیروگاه‌های خورشیدی خانگی، پایگاه اطلاع‌رسانی وزارت نیرو، ۱۳۹۳
Available: news.moe.gov.ir.
- [18] H.-M. Henning, "Solar assisted air conditioning of buildings--an overview," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, no. 10, pp. 1734–1749, 2007.

