امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم ترکیبی فتوولتاییک و پیل سوختی جهت تولید همزمان برق و حرارت در یک واحد مسکونی در شرق ایران

حسن حسن زاده[۱]، محمد علی فرزاد[۲و*]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۰/۴/۱۰
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۰/۶/۵

چکیده:

محدودیت ذخایر سوخت های فسیلی و آلایندگی زیست محیطی ناشی از مصرف آنها، بخصوص در شهرها، و همچنین راندمان کم مبدل های انرژی رایج، باعث گرایش به سمت استفاده از مبدل های انرژی کارآمدتر و منابع انرژی های تجدید پذیر شده است. استفاده از یک سیستم فتوولتاییک جهت تولید هیدروژن و در کنار آن یک سیستم پیل سوختی جهت تامین حرارت و الکتریسیته، می تواند برای آینده امید بخش باشد. در این مقاله امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از یک سیستم ترکیبی فتوولتاییک- پیل سوختی در کاربری های مسکونی جهت تولید همزمان برق و حرارت مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل فنی و اقتصادی نشان می دهد که در حال حاضر سیستم فتوولتاییک اقتصادی ترین سیستم ترکیبی است که علاوه بر کاهش میزان مصرف برق، آلودگی نیز در پی ندارد ولی استفاده از پیل سوختی در کنار این سیستم در کاربردهای مسکونی توجیه پذیر نیست. پیش بینی می شود که با افزایش قیمت حامل های انرژی و همچنین کاهش هزینه نصب و راه اندازی سیستم های پیل سوختی در آینده، صرفه اقتصادی خواهد داشت.

کلمات کلیدی:
تولید همزمان برق و حرارت، پیل سوختی، انرژی خورشیدی، هیدروژن، فتوولتاییک

۱) استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند، hassanzadeh@uk.ac.ir
۲) دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی دانشگاه بیرجند، mafarzad1986@yahoo.com
* نویسنده مسئول

مقدمه

امروزه انرژی یکی از نیازهای اولیه زندگش بشر محسوب می شود و وابستگی انسان به سوخت های فسیلی بسیار بیشتر از گذشته شده است، بطوریکه بیش از ۹۰٪ از انرژی مصرفی جهان از سوخت های فسیلی تامین می شود[۱۷]. انرژی به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید محسوب شده و استفاده بهینه از آن، یکی از عوامل موثر در رشد و بالندگی کشورهاست. ایران یکی از کشورهای ثروتمند در زمینه انرژی می باشد، بطوریکه مجموع ذخایر هیدروکربوری مایع قابل استحصال آن در پایان سال ۱۳۸۷ معادل ۱۳۷/۰۱ میلیارد بشکه بوده که عمر آن ۸۴ سال تخمین زده می شود. این مقدار برای گاز طبیعی و زغال سنگ به ترتیب برابر ۲۹ تریلیون مترمکعب و ۱/۱ میلیارد تن برآورد می شود[۴].

نحوه استفاده کشورها از انرژی بطور کمی توسط مفاهیمی مانند مصرف سرانه، شدت انرژی و ضریب انرژی بیان می شود. مصرف سرانه بیانگر میزان مصرف انرژی توسط هر کدام از افراد یک کشور می باشد. شدت انرژی، شاخصی برای راندمان مصرف انرژی در سطح ملی می باشد که بصورت نسبت مصرف نهایی انرژی به تولید ناخالص ملی تعریف می شود. ضریب انرژی نیز رابطه بین نرخ تولید و مصرف انرژی را بیان می کند و از تقسیم نرخ رشد مصرف نهایی انرژی به نرخ رشد تولید ناخالص داخلی بدست می آید. در بررسی که توسط آژانس بین المللی انرژی[1] در سال ۲۰۰۷ صورت گرفته است، جایگاه ایران در میان ۱۶ کشور و منطقه جهان[2] قابل تامل است. نتایج مرتبط با این بررسی در جدول ۱) نشان داده شده است. مطابق نتایج این جدول، ایران از نظر هر سه کمیت مورد بررسی در انتهای جدول قرار دارد و با توجه به وضعیت ایران، چه از نظر منابع طبیعی و چه از نظر نیروی انسانی، چنین نتایجی قابل قبول نیست.

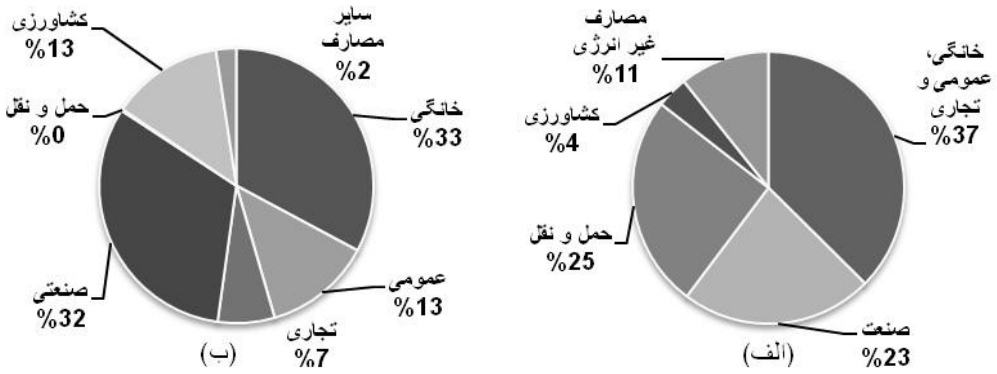
جدول ۱: شاخص های کلان اقتصاد انرژی ایران در سال ۲۰۰۷ [٤]

کمیت	میزان	رتبه	متوسط جهانی
سرانه مصرف نهایی انرژی (تن معادل نفت خام\نفر)	۱/۹	۵	۱/۱
شدت مصرف نهایی انرژی (تن معادل نفت خام\ میلیون دلار)	۲۴۲/۵۷	۱	۱۲۲/۳۶
ضریب انرژی (دوره ۲۰۰۷-۲۰۰۰)	۱/۰۷	۲	۰/۵۲

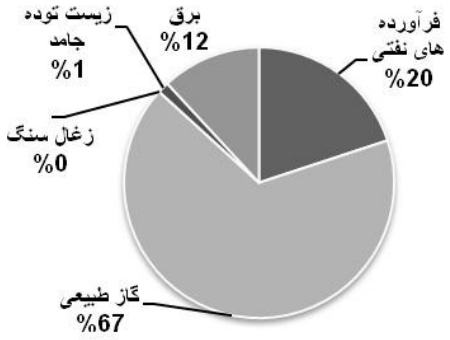
مطابق شکل ۱ ، بخش اعظم مصرف انرژی و برق در ایران در بخش خانگی، عمومی و تجاری مصرف می شود. سهم هر یک از حامل های انرژی در این بخش در شکل ۲ نشان داده شده است. بطور متوسط هزینه انرژی خانواده های شهری معادل ۲/۲٪ مجموع هزینه های خانوار می باشد که برق و گاز طبیعی به ترتیب ۳۶٪ و ۲۷٪ این مقدار را به خود اختصاص می دهند[۴]. بنابراین مصارف انرژی مرتبط با کاربری های مسکونی یکی از مهمترین مصارفی است که باید در مورد میزان و نحوه مصرف انرژی در آن تجدید نظر گردد.

[1] International Energy Agency (IEA)

[2] آمریکای شمالی، ژاپن، کره، ترکیه، نروژ، آسیا (بدون چین)، آفریقا، خاورمیانه، کشورهای شوروی سابق، چین و هنگ کنگ، هند، پاکستان، عربستان صعودی، ونزوئلا، ایران، کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD)



شکل ۱: بخش های مختلف مصرف انرژی (الف) و برق (ب) در ایران [٤]



شکل ۲: سهم حامل های انرژی در مصرف بخش خانگی، عمومی و تجاری ایران [٤]

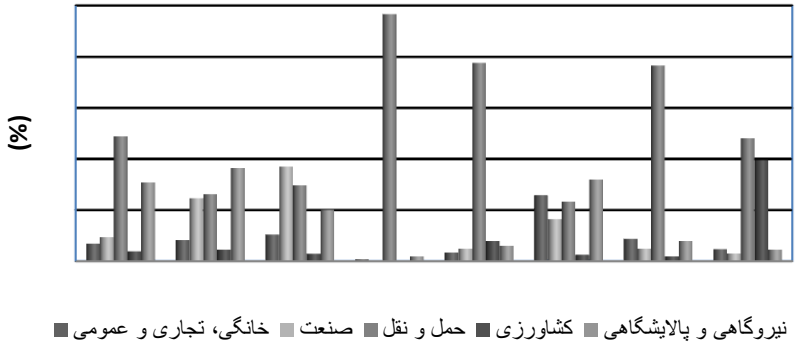
برق یکی از حامل های انرژی پاک محسوب شده و تبدیل آن به شکل های انرژی دیگر عموما با راندمان بالا امکان پذیر است ولی تولید آن لزوما دارای راندمان بالایی نبوده و با توجه به نوع نیروگاه و ظرفیت آن متفاوت است. راندمان متوسط نیروگاه ها در سال ۱۳۸۷ برابر ۳۶/۵٪ بوده است که به تفکیک در جدول ۲ نشان داده شده است، همچنین در این جدول سهم هر یک در تولید برق داخل نیز ذکر گردیده است. با اضافه کردن سهم تلفات شبکه انتقال (۴/۴٪) و بخش توزیع (۱۷/۵٪) از کل برق تولید شده، راندمان نهایی از مقادیر این جدول نیز کمتر خواهد بود[۴].

جدول ۲: راندمان متوسط نیروگاه های کشور [٤]

نوع نیروگاه	بخاری	گازی	سیکل ترکیبی	دیزلی	آبی	بادی و خورشیدی
راندمان الکتریکی (٪)	۳۶/۳	۲۸/۹	۴۴/۵	۳۴/۴	---	---
سهم نیروگاه در تولید برق داخل (٪)	۴۳	۳۴	---	۱	۲۲	۰~

یکی از عواقب مصرف سوخت های فسیلی مشکلات زیست محیطی است و در شکل ۳ میزان آلاینده های تولید شده در بخش های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود بخش خانگی، عمومی و تجاری تولید کننده اصلی CO_2 در مناطق شهری می باشد. هزینه ای که باید برای غلبه بر اثرات مخرب یک آلاینده صرف شود،

هزینه اجتماعی نامیده می شود که مقدار آن برای هر یک از گازهای آلاینده و گلخانه ای در جدول ۳) آورده شده است، برای مثال در ایران مجموع هزینه های اجتماعی گازهای آلاینده و گلخانه ای در سال ۱۳۸۷، معادل ۲۰/۱ ٪ تولید ناخالص ملی بوده است[۴]. در جدول ۳ همچنین میزان تولید آلاینده ها به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق در نیروگاه ها و میزان تولید آلاینده ها به ازای میزان مصرف گاز طبیعی در مصارف گرمایش خانگی نیز نشان داده شده است. مجموعه این مشکلات، بخصوص در نواحی شهری، باعث شده است که استفاده از مبدل های انرژی کارآمد تر مانند پیل های سوختی و منابع انرژی تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی و غیره مورد توجه قرار گیرند.



شکل ۳: میزان تولید آلاینده ها و گازهای گلخانه ای در بخش های مختلف [٤]

جدول ۳: میزان تولید مواد آلاینده و گازهای گلخانه ای در فرآیندهای تولید برق و حرارت و هزینه اجتماعی آن [٤]

نوع ماده	میزان انتشار گازهای گلخانه ای در تولید برق	میزان انتشار گازهای گلخانه ای در احتراق گاز طبیعی در بخش خانگی، عمومی و	هزینه اجتماعی (هزار ریال بر تن)
NO_x	۲/۵۵۲	۲/۰۶۳	۴,۸۰۰
SO_2	۳/۰۵۸	۰/۰۰۸	۱۴,۶۰۰
SO_3	۰/۰۲۰	---	---
CO	۰/۷۶۶	۰/۲۷۶	۱,۵۰۰
SPM	۰/۱۲۷	۰/۱۹۷	۳۴,۴۰۰
CO_2	۶۷۷/۸۲۶	۲,۱۶۲/۶۳۸	۸۰
CH_4	۰/۰۱۷	۰/۰۳۹	۱,۶۸۰
N_2O	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	---
C	۱۸۴/۸۶۲	---	---

امروزه در سراسر دنیا استفاده از انرژی های تجدیدپذیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است. یکی از منابع انرژی امید بخش، انرژی خورشیدی است. این انرژی خورشیدی فاقد آلودگی است و در تمام نقاط کره زمین و بخصوص در

مناطق گرم به وفور قابل دسترس بوده و بویژه در مناطق دور از شبکه سراسری برق، استفاده از آن برای تولید برق و گرمایش اقتصادی است. کشور ما از نظر جغرافیایی در منطقه گرم و خشک قرار گرفته و با داشتن بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال، میزان تابش سالانه خورشیدی آن در حدود kWh/m^2 ۱۸۰۰-۲۲۰۰ تخمین زده می شود که مقدار آن بالاتر از میزان متوسط جهانی است[۹]. تلفات تولید، انتقال و توزیع برق و پراکندگی جمعیت کشور باعث می شود که استفاده از انرژی خورشیدی توجیه اقتصادی داشته باشد و در این میان استفاده از سیستم های فتوولتاییک، به دلیل تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به الکتریسیته، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و دارا بودن راندمان متوسط ۱۴-۶٪ [۳۳] از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این زمینه تحقیقات فراوانی در جهان انجام شده است که در اینجا به تعدادی از آنها اشاره می شود.

المسیاه و همکاران [۱۸] یک مدل بسیار ساده برای تخمین اولیه و تعیین میزان تبدیل انرژی خورشیدی توسط سلول های فتوولتاییک بیان کرده اند. حسین و همکاران [۲۹] یک مدل ریاضی تهیه و آن را در شرایط جهت گیری های مختلف در شهر قاهره، توسط نرم افزار TRNSYS ارزیابی کرده اند. آنها بیان کرده اند که در یک زاویه انحراف مساوی نسبت به جنوب، جهت گیری به سمت مغرب دارای بازده انرژی بیشتری نسبت به مشرق می باشد. چانگ [۲۲] با ارائه مدلی مشابه، اثرات استفاده از سیستم رديابه را بررسی کرده است. نتایج وی نشان می دهند که بطور کلی با استفاده از سیستم رديابه خورشید می توان ۴۰-۲۰٪ توان تولیدی را افزایش داد. در ایران به دلیل وجود منابع عظیم نفت و گاز و قیمت پایین حامل های انرژی، تاکنون توجه کافی به استفاده از انرژی خورشیدی نشده است. بطوریکه ظرفیت عملی نیروگاه های خورشیدی کشور در سال ۱۳۸۷ معادل kW ۷۳ بوده است و در مجموع در این سال MWh ۷۵ برق خورشیدی تولید شده است[۴].

یکی از مشکلات عمده انرژی الکتریکی، عدم امکان ذخیره سازی آن است. از این رو معمولا نیروگاه ها کمتر در توان نامی خود کار کرده و میزان تولید آنها وابسته به میزان مصرف برق در شبکه می باشد. سیستم های متنوعی برای ذخیره سازی محدود برق وجود دارد که می توان به باتری ها، ابر خازن ها و سیستم های هیدرولیکی اشاره کرد. در این میان استفاده از برق برای تولید هیدروژن، به جای ذخیره سازی مستقیم برق، از اهمیت خاصی برخوردار است. در حقیقت گاز هیدروژن نیز مانند برق یک حامل انرژی محسوب می شود که می تواند هم در موتورهای احتراق داخلی و هم در پیل سوختی مورد استفاده قرار گیرد. تولید هیدروژن توسط الکترولیز آب، هنگامی که از یک منبع تجدید پذیر انرژی استفاده شود، ساده ترین و ارزان ترین روش تولید است. با توجه به میزان تابش در هر منطقه، بطور متوسط به ازای هر kW ۱ برق سیستم فتوولتاییک با صفحات ثابت می توان سالانه kg ۴۲-۲۶ هیدروژن با قیمت $/kg ۳۸-۳.۵ تولید کرد[۲۰]. راندمان حرارتی تولید هیدروژن توسط سیستم فتوولتاییک-الکترولیز کننده در حدود ۱۰/۳۳٪ برای صفحات ثابت و ۱۰/۵۸٪ برای صفحات دنبال کننده خورشید می باشد و پیش بینی می شود که با کاهش قیمت سلول های خورشیدی تا $/kW ۱، تولید هیدروژن در مکان هایی با مجموع تابش سالانه بیش از GJ/m^2 ۸ از نظر اقتصادی قابل توجیه باشد[۲۱]. میزان تولید هیدروژن یک الکترولیز کننده با توجه به نوع و دما و فشار کاری آن متفاوت است و برای یک سلول الکترولیز کننده پلیمری بطور متوسط برابر kWh/m^3 ۹-۶.۳ می باشد[۳۳]. اگرچه الکترولیز کننده پلیمری از نظر هزینه و میزان تولید، قابل رقابت با الکترولیز کننده نوع قلیایی نیست، ولی به دلیل ساختار جامد و عدم

حضور مواد زیان آور در آن، بهترین گزینه برای کاربرد مسکونی است. محققانی مانند لاون [۳۱] و ییلانسی [۴۲] جنبه های مختلف تولید هیدروژن از این طریق را بررسی کرده اند.

یکی از مبدل های کارآمد انرژی، پیل های سوختی هستند. پیل های سوختی وسایلی الکتروشیمیایی است که انرژی شیمیایی سوخت را بطور مستقیم به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و محدودیت قانون کارنو را ندارند[۲۷]. با توجه به تکنولوژی موجود، راندمان پیل های سوختی در حدود ۶۰-۴۰٪ بوده و میزان نشر NO_x نیروگاه های پیل سوختی در مقایسه با نیروگاه های رایج ۹۰-۵۰٪ و میزان نشر CO_2 حدود ۵۰٪ کمتر است. در میان پیل های سوختی مختلف، پیل سوختی اکسید جامد، به دلیل کارکرد در دمای بالا و عدم نیاز به کاتالیست گران قیمت جهت استفاده در نیروگاه ها و تولید همزمان مناسب تر است[۳].

استفاده از سیستم های ترکیبی هم از نقطه نظر تولید پراکنده[1] و هم تولید همزمان برق و حرارت[2]، امروزه از اهمیت زیادی برخوردار است. به کمک این سیستم ها و استفاده از انرژی های تجدید پذیر در کنار منابع انرژی مرسوم، همچنین استفاده از مبدل های انرژی کارآمد تر مانند پیل سوختی، می توان مشکلات و معضلات فعلی مرتبط با حوزه انرژی را تا حدودی مرتفع ساخت. در این زمینه تحقیقات زیادی در سطح جهان صورت گرفته و در حال انجام است که می توان به تحقیقات انجام شده توسط هدستورم و همکاران [۲۸]، سیلوا و همکاران [۴۰] و پدرازی و همکاران [۳۵] اشاره کرد.

جدول ٤: قیمت تجهیزات در پروژه های مختلف

مرجع	صفحات خورشیدی	مبدل الکتریکی ($/kW)	الکترولیز کننده ($/kW)	مخزن ذخیره هیدروژن ($/kg)	پیل سوختی ($/kW)
حامدی و همکاران [۱]	۷۰۰۰	۸۰۰	---	---	۳۰۰۰
رشیدی [۷]	۱۵۰۰-۶۵۰۰	---	---	---	۳۰۰۰-۴۰۰۰
شیرودی و همکاران [۱۱]	۷۰۰۰	۶۷۰۰	۲۷۰۰	۱۸,۷۵۰	۵۰۰۰
کاراقولی و کازمرسکی [۱۹]	۷۰۰۰	۹۰۰	---	---	---
سیلوا و همکاران [۴۰]	۶۷۰۰	۱۰۰۰	۱۷,۰۰۰	---	۸۴۵۰
نما و همکاران [۳۴]	۵۰۰۰	۷۲۰	---	---	---
گیلور و لیلینتال [۲۶]	۷۵۰۰	۱۰۰۰	---	---	---
پزشکی [۳۶]	۱۰,۰۰۰	۱۰۰۰	---	---	---
کاترل و پرات [۲۳]	۸۰۰۰	---	۲۷۰۰	۱۳۲۰	۵۰۰۰
ایوز و ایوز [۲۵]	---	---	---	۷۱۵	---
دوفو-لوپز و همکاران [۲۴]	۹۶۰۰	۹۰۰	۴۱۰۰	۲۰۰۰	۵۲۰۰

هدف از این تحقیق، بررسی فنی و اقتصادی امکان استفاده از یک سیستم ترکیبی سلول خورشیدی-هیدروژن-پیل سوختی در شرق ایران است. تحلیل اقتصادی به کمک نرم افزار HOMER[3] [۴۳] که محصولی از آزمایشگاه ملی انرژی

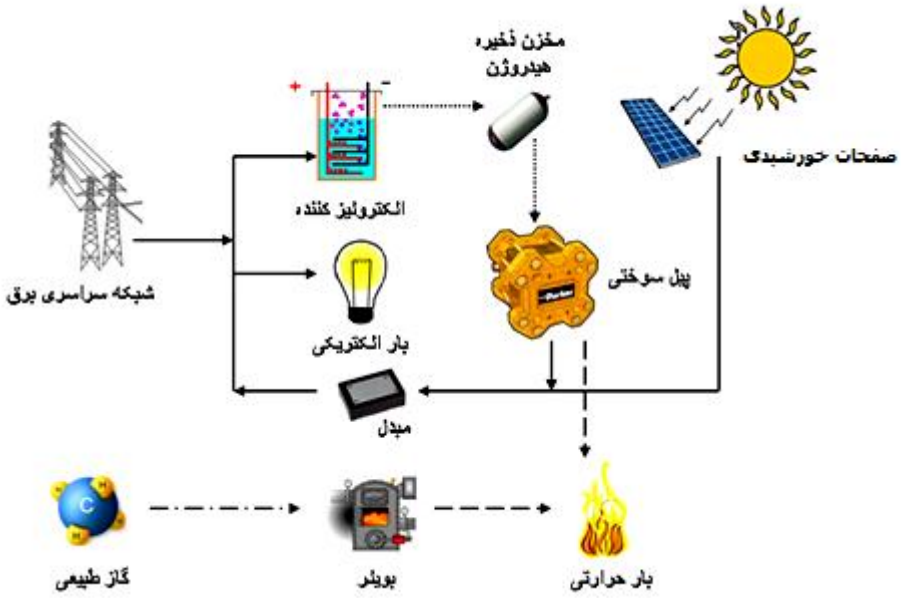
[1] Distributed generation
[2] Combined Heat and Power (CHP)
[3] Hybrid Optimization Model for Electric Renewable

تجدید پذیر ایالات متحده[1] [۴۵] است، صورت گرفته و بهترین پیکربندی اقتصادی معرفی شده است. همچنین در این بررسی سعی شده است قیمت هدف سیستم ترکیبی برای قابل رقابت بودن با سیستم های مرسوم نیز بیان شود. با توجه به اینکه تحلیل اقتصادی به شدت به هزینه های تجهیزات وابسته است و متاسقانه در ایران منبعی برای استعلام قیمت تجهیزات مورد نیاز وجود ندارد، لذا در این مقاله از قیمت تجهیزات مورد استفاده در دیگر مقالات استفاده شده، که در جدول ۴ آورده شده است. این بررسی در ادامه تحقیق قبلی [۲] و در جهت بهبود نتایج با توجه به آزاد سازی یارانه ها صورت گرفته است. همچنین سعی شده است که نیازهای حرارتی و الکتریکی بخش مسکونی شرق کشور تعیین شده و تحلیل بر اساس این مقادیر صورت گیرد. بعلاوه امکان فروش برق نیز در این بررسی منظور شده است.

مدل سازی

در شکل ۴) اجزای سیستم ترکیبی فتوولتاییک-پیل سوختی مورد نظر نشان داده شده است که توسط نرم افزار HOMER مدل شده است. این نرم افزار رفتار فیزیکی و هزینه های مربوط به یک سیستم توان را مورد بررسی قرار داده و کاربر را قادر می سازد که پیکر بندی های متفاوت را از نظر فنی و اقتصادی با یکدیگر مقایسه کند[۳۰ و ۳۲]. در این سیستم از شبکه برق سراسری برای تامین بار الکتریکی استفاده می شود که در کنار آن از سلول های فتوولتاییک و پیل سوختی نیز بعنوان یک منبع کمکی بهره برده شده است. عمر پروژه ۳۰ سال فرض شده است و با توجه به هزینه اولیه بالا، امکان استفاده از تسهیلات دولتی با نرخ سود ۱۰٪ نیز در نظر گرفته شده است. بار حرارتی مورد نیاز واحدهای مسکونی توسط بویلر (که از گاز طبیعی تغذیه می کند) و همچنین حرارت خروجی از پیل سوختی تامین می شود. هیدروژن مورد نیاز پیل سوختی توسط الکترولیز کننده تولید و در مخزن هیدروژن ذخیره می شود. با توجه به اینکه بویلر و چیلر و همچنین هزینه های اتصال به شبکه سراسری برق و انشعاب گاز شهری بین سیستم های مورد بررسی مشترک می باشد، بنابراین هزینه ای در این مدل سازی برای موارد فوق در نظر گرفته نشده است. در ادامه مشخصات هر یک از اجزای سیستم بیان می شوند.

[1] National Renewable Energy Laboratory (NREL)



شکل ٤: شماتیک سیستم ترکیبی فتوولتاییک-پیل سوختی

صفحات خورشیدی

صفحات خورشیدی از تعدادی سلول خورشیدی تشکیل شده اند که بصورت سری-موازی به یکدیگر متصل شده اند. هزینه نصب صفحات خورشیدی در محدوده ۱۰-٦ $/W متغیر است[۱]. در این بررسی هزینه اولیه برابر ۷،۰۰۰ $/kW [۱۹] و طول عمر صفحات خورشیدی برابر طول پروژه، معادل ۳۰ سال [۱۹] در نظر گرفته شده است. فاکتور افت که نشان دهنده میزان کارآیی صفحات خورشیدی نسبت به شرایط نامی و وابسته به عمر سلول، دمای کاری و گرد و غبار است برابر ۹۰٪ منظور شده است[۱۹]. همچنین با توجه به کاربری مسکونی، این مدل بدون سیستم ردیاب در نظر گرفته شده که هزینه نگهداری چندانی ندارد. جهت گیری صفحات به سمت جنوب بوده و شیب آنها نسبت به سطح افق برابر شیب بهینه سالانه برای مکان مورد نظر (^{o}۳٤.٤٥) [۱۶] و ضریب بازتابش سطح زمین نیز ۲۰٪ منظور شده است.

مبدل الکتریکی

مبدل الکتریکی وظیفه تبدیل جریان برق مستقیم تولیدی صفحات خورشیدی و پیل سوختی را به جریان متناوب بر عهده دارد. راندمان آن ۹۶-۹۰٪ تخمین زده می شود [۳۳] که در اینجا، راندمان آن ۹۰٪ و عمر آن ۱۵ سال در نظر گرفته شده است[۴۰]. هزینه اولیه و تعویض به ترتیب ۱،۰۰۰ $/kW و ۸۵۰ $/kW فرض شده است[۴۰] و به دلیل عدم وجود قطعات متحرک فاقد هزینه نگهداری می باشد.

الکترولیز کننده

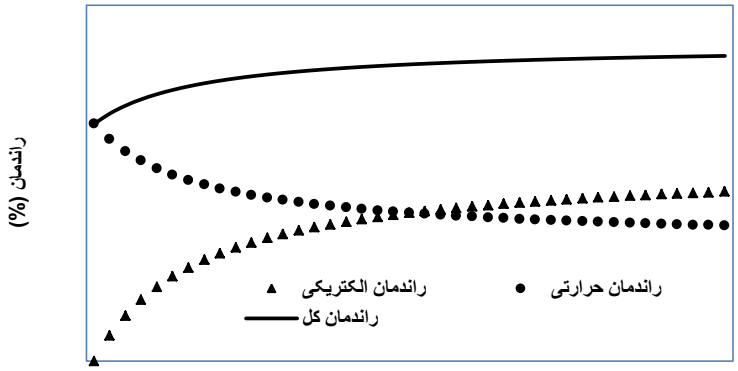
الکترولیز کننده به کمک جریان الکتریکی ملکول های آب را به اکسیژن و هیدروژن تجزیه می کند. هزینه اولیه دستگاه برابر ۲۷۰۰ $/kW [۲۳]، هزینه تعویض فرضی برابر ۲۰۰۰ $/kW و هزینه فعالیت و نگهداری آن ۱۰ $/year [۱۱] لحاظ شده است. این مبدل از نوع AC بوده و برای آن عمر ۱۰ سال و راندمان ۸۵٪ [۲۳] در نظر گرفته شده است.

مخزن ذخیره هیدروژن

هرچند انرژی واحد جرم هیدروژن زیاد است، ولی به دلیل چگالی کم هیدروژن در شرایط معمولی، مقدار انرژی واحد حجم آن بسیار کم است[۲۱]. لذا جهت استفاده آن در پیل های سوختی ذخیره سازی حجم بسیاری از این گاز ضروری است. ساده ترین و ارزان ترین روش ذخیره هیدروژن، فشرده سازی آن است. در این بررسی از یک مخزن تحت فشار با هزینه اولیه ۱۳۲۰ $/kg [۲۳] و عمر ۳۰ سال استفاده شده است.

توده پیل سوختی

توده پیل سوختی مورد استفاده در این مدل دارای عمر ۳۰،۰۰۰ h [۲۴] با خروجی جریان مستقیم و با هزینه اولیه، هزینه تعویض و هزینه فعالیت و نگهداری به ترتیب برابر ۵،۰۰۰ $/kW، ۳،۰۰۰ $/kW و ۰.۲۶ $/kW.hr می باشد[۲۴]. هیدروژن مورد نیاز توده پیل سوختی از مخزن هیدروژن تامین شده و دارای نرخ مصرف هیدروژن ۰.۰۱ kg/hr/kW بر مبنای توان نامی و ۰.۰۶ kg/hr/kW بر مبنای توان عملی می باشد[۴۰] به دلیل استفاده از هیدروژن خالص، کلیه آلاینده های مرتبط با این بخش برابر صفر در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده است که ۶۰٪ حرارت اتلافی توده پیل سوختی قابل بازیافت می باشد[۳]. با توجه به داده های بالا، منحنی راندمان پیل سوختی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: منحنی راندمان پیل سوختی مورد بررسی

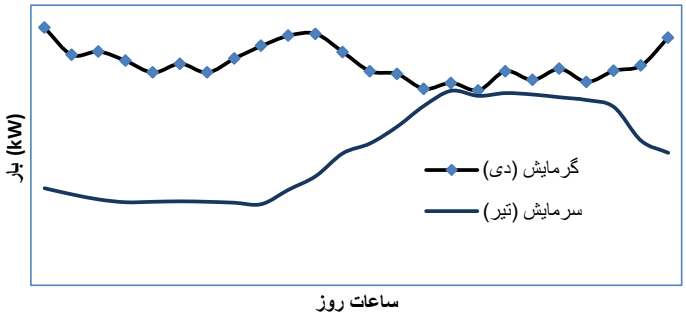
بویلر

در این سیستم، از بویلر جهت تامین حرارت مورد نیاز استفاده شده و تنها هزینه مرتبط با آن، هزینه سوخت مصرفی است. راندمان این بویلر ۹۰٪ [۱۴] و اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف گاز طبیعی نیز در نظر گرفته شده است.

برآورد مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی واحدهای مسکونی

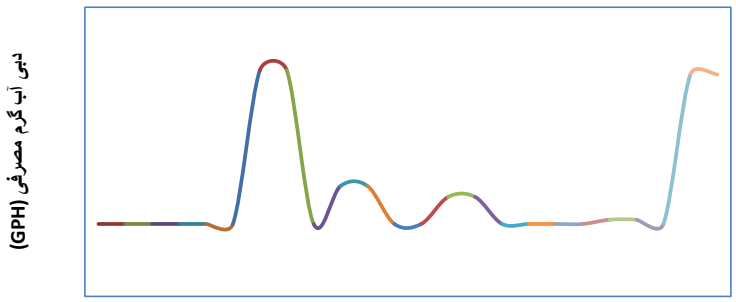
در این مدل سازی از یک ساختمان مسکونی ۱۰ واحدی در شهر بیرجند در استفاده شده است. این ساختمان دارای ۵ طبقه بوده و زیربنای هر واحد m^2 ۹۰ می باشد. نوع و مصالح این ساختمان طوری در نظر گرفته شده است که بیانگر معماری و مصالح غالب در ساخت و سازهای جدید در این شهر باشد. یک سیستم فن کویل دو لوله ای برای گرمایش و سرمایش ساختمان در نظر گرفته شده است. بار سرمایشی و گرمایشی ساعتی ساختمان توسط نرم افزار[1] HAP ٤.٢٠ محاسبه شده است[۵ و ۱۵]. با توجه به اینکه از سیستم فن کویل دو لوله ای استفاده شده است، بنابراین امکان استفاده همزمان از گرمایش و سرمایش وجود ندارد، بنابراین در ماه هایی که بار همزمان سرمایشی و گرمایشی وجود داشته است، از بار با مقدار کمتر صرفنظر شده است. در نهایت این ساختمان نیازمند ۷ ماه گرمایش و ۵ ماه سرمایش می باشد. بیشترین بار گرمایشی در دی ماه و بیشترین بار سرمایشی در تیر ماه رخ داده است که توزیع ساعتی آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

[1] Carrier 2003- Hourly Analysis Program (HAP)



شکل ٦: توزیع ساعتی حداکثر بار سرمایشی و گرمایشی

بار گرمایشی ساختمان از دیگ و یا سیستم ترکیبی بطور مستقیم تامین می شود، ولی برای تامین بار سرمایشی استفاده از چیلر جذبی با حرارت غیر مستقیم در نظر گرفته شده است. این حرارت نیز توسط بویلر و یا سیستم ترکیبی تامین می شود. ضریب عملکرد چیلر های جذبی تک اثره با محلول لیتیم-بروماید در حدود ۷۰-۶۵٪ می باشد[۱۴]. با فرض ضریب عملکرد ۷۰٪ برای چیلر مورد بحث، میزان بار حرارتی مورد نیاز برای سرمایش قابل محاسبه است.



شکل ۷: توزیع ساعتی نیاز آب گرم مصرفی

برای محاسبه میزان بار آب گرم مصرفی در ساختمان، مصرف کننده های عادی[۱] در نظر گرفته شده است. حداکثر مصرف هر کدام از این وسایل مطابق [۱۳] در نظر گرفته شده و با فرض یک توزیع ساعتی مصرف، دبی آب گرم مصرفی مطابق شکل ۷ بدست آمده است. حرارت مورد نیاز برای تامین آب گرم مصرفی، $Q\ [kW]$، مطابق رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$Q = \rho C \dot{V} (T_o - T_i) \qquad (۱)$$

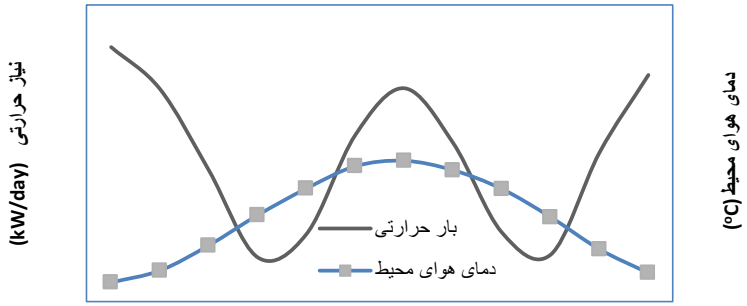
که در این رابطه $\rho = ۹۹۷\ kg/m^3$ و $C = ۴.۱۸\ kg/kJ.K$ به ترتیب چگالی و گرمای ویژه آب هستند[۴۱]. $\dot{V}\ [m^3/s]$ دبی آب گرم بوده و $T_o\ [C]$ دمای آب گرم است که پیشنهاد می شود برای محدود کردن رشد و تکثیر

[۱] دستشویی و توالت، دوش، ظرفشویی و ماشین لباسشویی

باکتری لژیونلا[1] در حدود $60^{\circ}C$ باشد[۱۴]. $T_i\ [C]$ دمای آب سرد ورودی بوده و فرض می شود که برابر دمای زمین باشد. دمای زمین مطابق رابطه ۲ قابل محاسبه است[۱۳].

$$T_i = 0.5T_a + 21.66 \qquad (۲)$$

که $T_a\ [C]$ دمای هوای محیط، مطابق شکل ۸ می باشد. به دلیل لزوم جدا بودن آب بهداشتی از آب مورد استفاده در سیستم، باید از یک مبدل حرارتی جهت گرمایش آب استفاده کرد که راندمان این مبدل ۹۰٪ در نظر گرفته شده است. در نهایت مجموع کل حرارت مورد نیاز برای سرمایش، گرمایش و آب گرم مصرفی مطابق شکل ۸ بدست می آید.

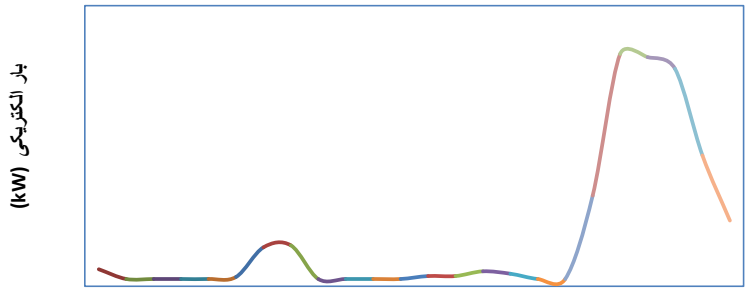


شکل ۸: توزیع سالانه دمای هوای محیط [٤٤] و بار حرارتی کل

در نهایت نیز بار الکتریکی ساختمان برای مصرف کنندگان معمول[2] و توزیع فرضی زمان مصرف مطابق شکل ۹ بدست آمده است و فرض می شود که توزیع ساعتی بار الکتریکی در طول سال ثابت بماند.

[1] Legionella pnevmophila

[۲] چای ساز (1000 W)، ماشین لباسشویی (450 W)، خشک کن (3400 W)، ماشین ظرفشویی (1800 W)، فن سرویس (80 W)، هود (400 W)، سشوار (1600 W)، اتو (1400 W)، ماکروفر (1000 W)، کامپیوتر (300 W)، لپ تاپ (50 W)، سیستم صوتی (250 W)، یخچال فریزر (300 W)، تلویزیون (100 W)، جاروبرقی (5000 W) و روشنایی (27 W/m2 [۱۳])

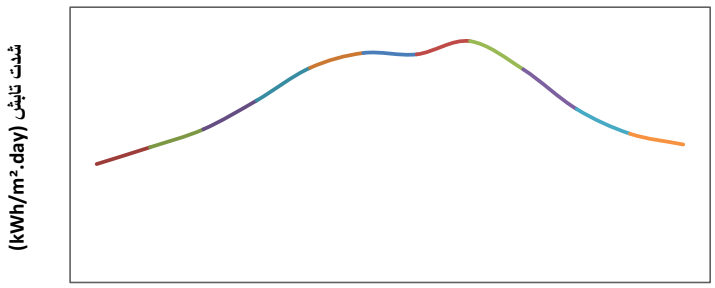


شکل ۹: توزیع ساعتی بار الکتریکی

برای رسیدن به توزیع واقعی تر، نرم افزار HOMER از دو پارامتر میزان تغییرات روزانه و زمانی استفاده می کند، که اولی بیانگر حداکثر میزان تغییرات نسبت به روزهای یک ماه و دومی حداکثر تغییرات در یک بازه یک ساعتی را بیان می کند. این نرم افزار بصورت تصادفی توزیع سالانه را مطابق ضرایب فوق، طوری تغییر می دهد که در مصرف کل بدون تاثیر باشد. این ضرایب هم برای بار الکتریکی و هم بار حرارتی به ترتیب برابر ۲۰٪ و ۱۵٪ در نظر گرفته شده اند. متوسط مصرف سالانه برق معادل ۱٤٦ kWh/day و با حداکثر مصرف ٥۲.٦ kW می باشد که این اعداد برای حرارت مورد نیاز به ترتیب ٦۹٤ kWh/day و ۱۰٥ kW برآورد شده اند.

تخمین انرژی خورشیدی در منطقه

یکی از مراحل مهم مدل سازی سیستم های ترکیبی، تعیین میزان انرژی ورودی به مدل می باشد. در مورد انرژی های تجدید پذیر، این امر بواسطه تغییرات زمانی، جغرافیایی و اقلیمی مشکل تر است. ساده ترین منبع برای دستیابی به اطلاعات انرژی های تجدید پذیر، داده های هواشناسی است که به دلیل ضریب نفوذ کم ایستگاه های هواشناسی در سطح کشور و همچنین عدم امکان سنجش شدت تابش خورشید در تمام این ایستگاه ها، استفاده از مدل های تخمینی بیش از پیش مورد نیاز است. در این میان می توان به مدل های سبزی پرور [۳۹-۳۷] و صفاری پور [۱۲] اشاره کرد. به عنوان نمونه ای از مناطق شرقی کشور، در این بررسی از داده های متوسط ماهانه شدت تابش بر روی سطح افق در یک دوره ۲۳ ساله (۲۰۰٥-۱۹۸۲) ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی شهرستان بیرجند، واقع در طول جغرافیایی '۱۲°٥۹ شرقی، عرض جغرافیایی '٥۲°۳۲ شمالی و ارتفاع m ۱،٤۹۱ از سطح دریا، استفاده شده است. توزیع سالانه میزان تابش خورشید در شکل ۱۰ نشان داده شده است که دارای متوسط سالانه $kWh/m^2.day$ ٦.٤۳۲ می باشد.



شکل ۱۰: متوسط تابش روزانه روی سطح افق در شهر بیرجند

برآورد هزینه استفاده از شبکه سراسری برق و گاز طبیعی

با توجه به اینکه یک سیستم فتوولتاییک و یا حتی ترکیبی، به تنهایی قادر به تامین انرژی مورد نیاز یک واحد مسکونی در نواحی شهری نمی باشد، بنابراین استفاده از شبکه برق سراسری اجتناب ناپذیر است[۱]. یک عامل اساسی در تشویق به استفاده از شبکه برق سراسری، قیمت کم آن می باشد. در سال ۱۳۸۷ متوسط قیمت فروش برق خانگی و آزاد به ترتیب معادل ۱۲۲ R/kWh و ۷۷۳ R/kWh بوده است. همچنین در این سال قیمت متوسط فروش گاز به بخش خانگی نیز معادل ۱۱۲.۵ R/m^3 بوده است[۴]. با توجه به آزاد سازی یارانه ها در سال ۱۳۸۹، هم اکنون قیمت متوسط فروش برق و گاز طبیعی به بخش خانگی به ترتیب برابر ۴۵۰ R/kWh و ۷۰۰ R/m^3 تعیین شده است[۸]. با احتساب نرخ دلار معادل ۱۰،۰۰۰ ریال، قیمت فروش برق ۰.۰۴۵ $/kWh و قیمت فروش گاز طبیعی ۰.۰۷ $/m^3$ می باشد. با توجه به اینکه هنوز در مورد اعمال تعرفه های زمانی فروش برق اظهار نظری نشده است، بنابراین تعرفه های قبلی مطابق جدول (۵) اعمال شده است. بر اساس مصوبات هیات وزیران، قیمت خرید تضمینی برق از منابع تجدید پذیر برای تولید کنندگان غیر دولتی معادل ۱۳۰۰ R/kWh در ساعات اوج و میان باری و ۹۰۰ R/kWh در ساعات کم باری تعیین شده است[۴]. در این بررسی هزینه های زیست محیطی تولید برق و حرارت نیز منظور شده اند.

جدول ۵: تعرفه های فروش برق [۱۰]

نوع تعرفه	ضریب	ساعات اعمال تعرفه

		شش ماه اول سال	شش ماه دوم سال
بار متوسط	۱	۷-۱۹	۵-۱۷
اوج بار	۲/۵	۱۹-۲۳	۱۷-۲۱
بار کم	۰/۲۵	۲۳-۷	۲۱-۵

نتایج

با استفاده از داده های ارائه شده در قسمت های قبل سیستم ترکیبی فتوولتاییک-پیل سوختی برای یک واحد مسکونی توسط نرم افزار HOMER مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحلیل در بخش های زیر مورد بررسی قرار می گیرند.

مقایسه سیستم های ترکیبی در شرایط فعلی

در این بخش، دو سیستم ترکیبی شبکه-فتوولتاییک و شبکه-فتوولتاییک-پیل سوختی با روش مرسوم استفاده از شبکه در شرایط فعلی مقایسه شده اند. منظور از شرایط فعلی، قیمت های تجهیزات و حامل های انرژی در حال حاضر است. نتایج تحلیل اقتصادی در جدول (۶) و تحلیل سیستم در جدول (۷) آورده شده است.

جدول ٦: مقایسه اقتصادی سیستم های ترکیبی در شرایط فعلی

نوع آرایش	هزینه اولیه ($)	هزینه استفاده ($/year)	هزینه خالص فعلی ($)	هزینه انرژی ($/kWh)
شبکه	۰	۴۱,۴۲۵	۳۹۰,۵۰۷	۰/۷۲۲
شبکه- فتوولتاییک	۱۶,۰۰۰	۴۰,۲۵۲	۳۹۵,۴۵۳	۰/۷۳۲
شبکه- فتوولتاییک- پیل سوختی	۲۲,۶۰۰	۳۹,۸۴۲	۳۹۸,۲۶۸	۰/۷۳۷

جدول ۷: مقایسه پیکربندی و مشخصات سیستم های ترکیبی در شرایط فعلی

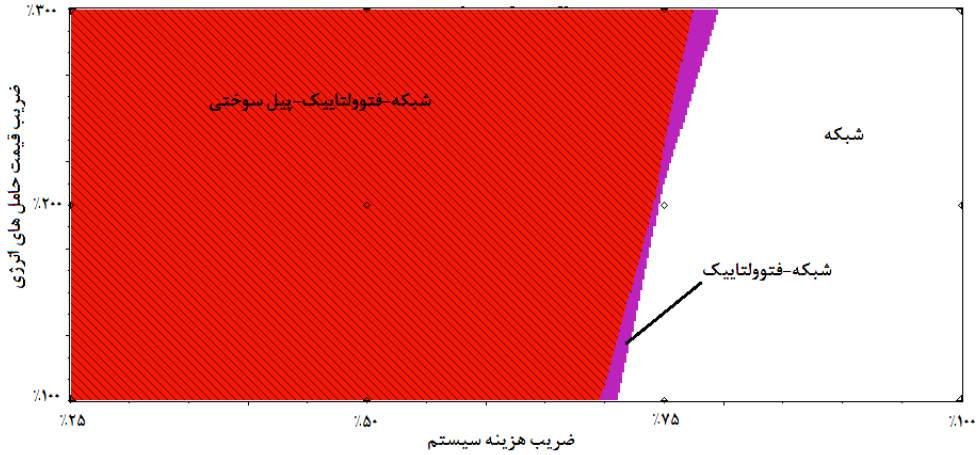
نوع آرایش	شبکه	شبکه- فتوولتاییک	شبکه- فتوولتاییک- پیل

اجزا	سلول خورشیدی (kW)	---	۲	۲
	پیل سوختی (kW)	---	---	۱
	مبدل (kW)	---	۲	۲
	الکترولیز کننده (kW)	---	---	۰/۵
	مخزن ذخیره هیدروژن (kg)	---	---	۰/۲۵
انرژی الکتریکی (kWh/year)	تولید سلول خورشیدی	---	(٪۸) ۴,۶۴۴	(٪۸) ۴,۶۴۴
	تولید پیل سوختی	---	---	(٪۱) ۳۲۰
	خرید از شبکه	(٪۱۰۰) ۵۳,۶۵۵	(٪۹۲) ۵۱,۸۹۹	(٪۹۱) ۵۰,۹۲۳
	مازاد	(٪۰) ۰	(٪۴/۷۶) ۲,۶۹۲	(٪۰/۹۳) ۵۲۲
انرژی حرارتی (kWh/year)	تولید بویلر	۲۵۳,۳۱۰ (٪۱۰۰)	(٪۱۰۰) ۲۵۳,۳۱۰	(٪۱۰۰) ۲۵۲,۹۹۰
	تولید پیل سوختی	---	---	(٪۰) ۳۵۳
	مازاد	(٪۰) ۰	(٪۰) ۰	(٪۰/۰۱) ۳۳/۱
انتشار آلایندگی (kg/year)	CO_2	۹۱,۶۷۲	۹۰,۴۸۱	۸۹,۷۵۰
	CO	۴۹	۴۷/۶	۴۶/۹
	هیدروکربن نسوخته	۹,۹۱۹	۹,۵۹۴	۹,۴۱۴
	ذرات معلق	۱۲/۴	۱۲/۲	۱۲/۱
	SO_2	۳۱۴	۳۰۸	۳۰۵
	NO_x	۱۹۶	۱۹۲	۱۸۹

با توجه به داده های بالا می توان نتیجه گیری کرد که در شرایط فعلی استفاده از سیستم های ترکیبی از نظر اقتصادی توجیه پذیر نیست. با وجود کاهش میزان آلایندگی سیستم های ترکیبی نسبت به شبکه، به دلیل سهم کم استفاده از انرژی خورشیدی و برق فتوولتاییک در این شرایط، این میزان کاهش چشمگیر نبوده و می توان نتیجه گیری کرد که ین سیستم ها از نظر زیست محیطی نیز توجیه پذیر نیستند. شاید تنها سیستمی که در شرایط فعلی قابل رقابت با سیستم شبکه می باشد، سیستم فتوولتاییک است، بویژه در تولید برق در نواحی که به شبکه دسترسی ندارند و هزینه توسعه خط انتقال در این نواحی زیاد است.

بررسی حساسیت سیستم ترکیبی به تغییر هزینه ها

در این بخش سعی شده است که اثر تغییر قیمت ها بر روی سیستم ترکیبی مورد بررسی قرار گرفته و قیمت هدف برای سیستم ترکیبی تعیین گردد. بدین منظور، هزینه های مربوط به کلیه اجزای سیستم با ضرایب ۱۰۰٪، ۷۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ به عنوان پارامتر اول و ضرایب ۱۰۰٪، ۲۰۰٪ و ۳۰۰٪ در مورد قیمت برق و گاز، به عنوان پارامتر دوم منظور شده اند. شکل ۱۱، نتایج حاصل از آنالیز حساسیت در مورد هزینه خالص فعلی[1] سیستم بهینه را نشان می دهد. در این شکل محور افقی بیانگر ضریب قیمت سیستم و محور عمودی نشان دهنده قیمت انرژی اولیه (برق و گاز) می باشد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، در شرایط فعلی استفاده از شبکه اقتصادی ترین روش ممکن است. با ثابت نگه داشتن قیمت حامل های انرژی، قیمت هدف برای سیستم ترکیبی شبکه فتوولتاییک و شبکه- فتوولتاییک-پیل سوختی به ترتیب برابر ۷۳٪ و ۷۰٪ قیمت فعلی سیستم می باشند.

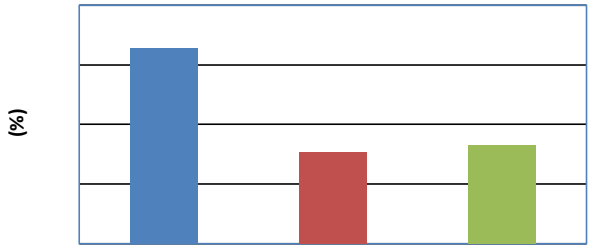


شکل ۱۱: آنالیز حساسیت سیستم به هزینه ها

بررسی امکان فروش برق

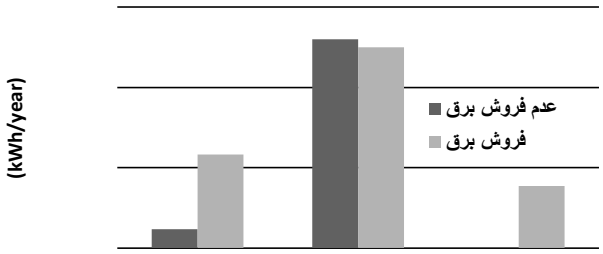
در این بخش امکان فروش برق نیز در نظر گرفته شده است. با توجه به کاربری مسکونی، حداکثر توان فتوولتاییک قابل نصب ۱۰ kW فرض شده است. در این بررسی هزینه اتصال به شبکه و تجهیزات سنکرون سازی در نظر گرفته نشده است. در این حالت با وجود اینکه هزینه اولیه ۴ برابر رشد داشته است، مطابق شکل ۱۲، سایر مولفه های اقتصادی کاهش یافته اند.

[1] Total Net Present Cost

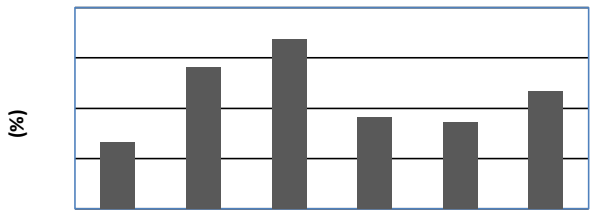


شکل ۱۲: میزان کاهش مولفه های اقتصادی در حالت فروش برق نسبت به حالت عدم فروش برق

در این راستا، شکل ۱۳ میزان مبادلات برق با شبکه را در دو حالت نشان می دهد. همچنین، شکل ۱۴ میزان کاهش آلایندگی را بیان می کند.



شکل ۱۳: میزان مبادلات سیستم شبکه-فتوولتاییک در دو حالت فروش و عدم قروش برق



شکل ۱٤: میزان کاهش آلاینده ها در حالت فروش برق

قابلیت تعمیم مدل

نتایج بررسی حاضر به عوامل متعددی وابسته اند که می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. هزینه ها، که شامل هزینه های اجزای سیستم ترکیبی و قیمت حامل های انرژی می باشد.

۲. بار الکتریکی و حرارتی، که تابعی از معماری ساختمان، دمای محیط، مصالح و تجهیزات برقی مورد استفاده و سطح و فرهنگ خانوار می باشد.
۳. میزان تابش خورشید، که به شرایط جغرافیایی وابسته است.

برای تعمیم به سایر شهر های ایران، در میان عوامل فوق، میزان تابش خورشید و دمای محیط و بطور کلی اقلیم مورد بررسی از تاثیر بیشتری برخوردار هستند. بنابراین در نواحی که این دو پارامتر در حدود مقادیر ذکر شده در این بررسی باشند، امکان شبیه سازی و استفاده از نتایج این بررسی امکان پذیر است.

نتیجه گیری

در این تحقیق میزان نیازهای حرارتی و الکتریکی یک واحد مسکونی معمولی برآورد شده و جهت تامین این نیازها، یک سیستم ترکیبی فتوولتاییک-پیل سوختی متصل به شبکه در نظر گرفته شد. میزان تابش ورودی در محل نیز معین و همچنین هزینه های جاری برق و گاز طبیعی نیز منظور شدند. تحلیل اقتصادی این سیستم به کمک نرم افزار HOMER انجام گرفت و مشخص شد که در حال حاضر، سیستم فتوولتاییک اقتصادی ترین سیستم ترکیبی می باشد که علاوه بر کاهش میزان مصرف برق، آلودگی کمتری نیز در پی دارد و در شرایط فعلی بهترین گزینه برای استفاده از انرژی های تجدید پذیر در کاربردهای مسکونی می باشد. استفاده از این سیستم بصورت انفرادی صرفه اقتصادی ندارد، ولی می توان از آن در مجتمع های مسکونی و یا شهرک های کوچک استفاده کرد. با توجه به هزینه های فعلی، استفاده از پیل سوختی در کاربردهای مسکونی توجیه پذیر نیست، ولی پیش بینی می شود که با افزایش قیمت حامل های انرژی و هم‌چنین کاهش هزینه نصب و استفاده از این وسایل، در آینده نزدیک شاهد حضور این گونه سیستم های ترکیبی در کاربردهای مسکونی باشیم. اگر از این سیستم در کاربردهای صنعتی و بویژه تولید برق و حرارت استفاده شود، احتمال صرفه اقتصادی آن با توجه به افزایش تعرفه های برق و گاز مصارف صنعتی در آینده نزدیک، افزایش می یابد.

منابع

[۱] حامدی، مسعود. شولایی، عباس و آقازاده، هادی. ۱۳۸۸، امکان سنجی استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر در تامین انرژی بار مستقل در منطقه شمال غرب کشور، اولین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران.
[۲] حسن زاده، حسن و فرزاد، محمد علی. ۱۳۸۹، امکان سنجی استفاده از سیستم ترکیبی فتوولتاییک و پیل سوختی جهت تولید همزمان برق و حرارت در یک واحد مسکونی، چهارمین سمینار پیل سوختی ایران.
[۳] حسن زاده، حسن. فرزاد، محمد علی و فردوس آرا، امین. ۱۳۸۸، بررسی پتانسیل تولید همزمان حرارت و توان پیل های سوختی و نقش آن در تولید پراکنده در آینده، اولین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران.
[۴] دفتر برنامه ریزی کلان انرژی. ۱۳۸۷، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی.
[۵] رزاقی اصفهانی، محمد رضا. ۱۳۸۶، راهنمای کامل نرم افزار Carrier، مریم پورزند وکیل.
[۶] رشیدی، رضا و شیرودی، ابولفضل. ۱۳۸۸، بررسی فنی سیستم انرژی هیبرید فتوولتایک/ باد/ پیل سوختی و مدل سازی آن با استفاده از نرم افزار HOMER، اولین کنفرانس انرژی های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران.

[۷] رشیدی، سحر. ۱۳۸۹، مقایسه و ارزیابی پیل سوختی در مدیریت زیست محیطی انرژی با تاکید بر تغییرات آب و هوا، چهارمین سمینار پیل سوختی ایران.

[۸] بهزاد، محمد. ۸۹/۱۰/۲۰، روزنامه همشهری. http://www.hamshahrionline.ir

[۹] شرکت بهینه سازی مصرف سوخت. http://www.ifco.ir

[۱۰] شرکت توزیع نیروی برق استان یزد. htttp://yedc.ir

[۱۱] شیرودی، ابوالفضل. جعفری، نیلوفر. منشی پور، سمیرا و رحیم زاده، مهنام. ۱۳۸۶، بررسی نخستین سیستم انرژی هیدروژن خورشیدی ایران با استفاده از نرم افزار HOMER، ششمین همایش ملی انرژی.

[۱۲] صفاری پور، محمد حسن و مهرابیان، مظفر علی. ۱۳۸۸، پیش بینی مقدار کل تابش خورشیدی در کرمان با استفاده از مشخصات هندسی، نجومی، جغرافیایی و هواشناسی، مجله علمی و پژوهشی شریف، جلد ۵۱، ص. ۳-۱۳.

[۱۳] طباطبائی، مجتبی. ۱۳۸۱، محاسبات تاسیسات ساختمان، روزبهان.

[۱۴] کاشانی حصار، محمد حسین. ۱۳۸۵، تاسیسات مکانیکی ساختمان، جهان فردا.

[۱۵] وکیل الرعایا، وحید. ۱۳۸۹، طراحی سیستم های HVAC با نرم افزار Carrier 2010، صانعی.

[16] Abdolzadh M., Mehrabian M. A. and Zare A.. 2010, Determination of optimum slope angles for solar collectors in hot and dry part of Iran, The first iranian conference on reneable energies and distributed generation.

[17] Aksakal Ziya Can. 2007, Hydrogen Production from water using solar cells powered NAFION membrane electrolyzers, Izmir Institute of Technology.

[18] Alamsyah T. M. I., Sopian K. and Shahrir A.. 2004, Predicting average energy conversion of photovoltaic system in Malaysia using a simplified method, Renewable Energy. Vol. 29, pp. 03-411.

[19] Al-Karaghouli Ali and Kazmersky L. L.. 2010, Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for rural area in southern Iraq using HOMER software, Solar Energy. Vol. 84. pp. 710-714.

[20] Bilgen E.. 2004, Domestic hydrogen production using renewable energy, Solar Energy. Vol. 77. pp. 47-55.

[21] Bilgen E.. 2001, Solar hydrogen from photovoltaic- electrolizer systems, Energy Conversion and Management. Vol. 42. pp. 1047-1057.

[22] Chang Tian Pau. 2009, Output energy of photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system, Applied Energy. Vol. 86. pp. 2071-2078.

[23] Cotrell J. and Pratt W.. 2003, Modeling the feasibility of using fuel cells and hydrogen internal combustion engines in remote renewable energy systems, National Renewable Energy Labratory (NREL).

[24] Dufo-Lopez Rodolfo, Bernal- Agustin Jose L. and Contreras Javier. 2007, Optimization of control strategies for stand- alone renewable energy systems with hydrogen storage, Renewable Energy. pp. 1102-1126.

[25] Eaves Stephen and Eaves James. A cost comparision of fuel cell and battery electric vehicles.
[26] Gilver T. and Lilienthal P.. 2005, Using HOMER software, NREL's micropower optimization model, to exploe the role of Gen-sets in small solar power systems, National Renewable Energy Labratort (NREL).
[27] Hasanzadeh H. and Mansouri S. H.. 2005, Efficiency of ideal fuel cell and carnot cycle from a fundamental prospective, Journal of Power and Energy. Vol. 219 Part A. pp. 245-254.
[28] Hedstorm, L.; Wallmark, C.; Alvfors, P.; Rissanen, M.; Stridh, B.; Ekman, J.. 2004, Description and modeling of the solar- hydrogen- biogas- fuel cell system in GlashusEtt, Journal of Power Sources. Vol. 131. pp. 340-350.
[29] Hussein H. M. S., Ahmad G. E. and El-Ghetany H. H.. 2004, Performance evaluation of photovoltaic modules at different tilt angles and orientations, Energy Conversion and Management. pp. 2441-2452.
[30] Lambert Tom, Gilman Paul and Lilienthal Peter. 2006, Micropower system modeling with HOMER, Section: Integration of alternative sources of energy by. Farret Felix A. and Simoes M. Godoy. John Wily & Sons.
[31] Laoun B.. 2007, Thermodynamics aspects of high pressure hydrogen production by water electrolysis, Revue des Energies Renouvelables. Vol. 10. pp. 435-444.
[32] Lilienthal Peter, Lambert Tom and Gilman Paul. 2005, Getting started guide for HOMER version 2.1, National Renewable Energy Labratory.
[33] Masters Gilbert M.. 2004, Renewable and efficient electric power.
[34] Nema Pragya, Nema R. K. and Rangnekar Sergio. 2010, PV- solar/ wind hybrid energy system for GSM/CDMA type mobile telephony base station, Energy and Environment. Vol. 1. pp. 359-366.
[35] Pedrazzi S., Zini G. and Tartarini P.. 2010, Complete modeling and software implementation of a virtual solar hydrogen hybrid system, Energy Conversion and Management. Vol. 51.pp. 122-129.
[36] Pezeshki Houman. 2009, Feasibility assessment of a grid connected photovoltaic system for Wonghutha Birni aboriginal community, Reasearch institute of sustainable energy, Murdoch university.
[37] Sabziparvar Ali A.. 2008, A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, Reneable Energy. pp. 1002-1010.
[38] Sabziparvar Ali A. and Shetaee H.. 2007, Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates ot East asnd West Iran, Energy. Vol. 32. pp. 649-655.
[39] Sabziparvar Ali A.. 2007, General formula for estimation of monthly mean global solar radiation in defferent climates on the south and north coasts of Iran, International Journal of Photoenergy.

[40] Silva Sergio B., de Oliveira Marco A. G. and Mauro M. Severino. 2010, Economic evaluation and optimization of photovoltaic- fuel cell- battries hybrid system for use in the Brazilian Amazon, Energy Policy. pp. 6713-6723.
[41] Van Wylen Gordon John, Sonntag Richard Edwin and Borgnakke Claus. ملک زاده، غلامرضا و کاشانی حصار، محمد حسین.۱۳۸۵، مبانی ترمودینامیک. جهان فردا.
[42] Yilanci A., Dincer I. and Ozturk H. K.. 2009, A review on solar- hydrogen/ fuel cell hybrid energy systems for statioary applications, Progress in Energy and Combustion Science. Vol. 35. pp. 231-244.
[43] http://www.homerenergy.com.
[44] http://www.irimo.ir.
[45] http://www.nrel.com.