



## بررسی فنی اقتصادی کاربرد پیل سوختی در CHP خانگی

عباد طالبی قادیکلایی<sup>۱</sup>، جعفر دولت آبادی<sup>۲</sup>

پژوهشکده برق جهاد دانشگاهی

(Power Engineering Dept., IRIEE, ACECR, IR.Iran)

ebad.talebi@yahoo.com

### چکیده

ویژگی هایی مانند بالا بودن بازده پیل‌های سوختی، عملکرد مناسب این منابع در بار غیرنامی، آلودگی کم، بی سرو صدا بودن، نداشتن قطعات متحرک، تنوع سوخت‌های مورد استفاده و رنج گسترده ظرفیت این منابع را می توان از دلایل اصلی تمایل به استفاده از آنها نام برد. در مقابل بالا بودن هزینه های احداث این منابع، استفاده از آن را در بسیاری از کاربردها غیر اقتصادی کرده است. از جنبه ای دیگر انگیزه های اقتصادی لازم برای استفاده از این منابع توسط سرمایه گزارهای خصوصی وجود ندارد و به دلیل بالا بودن هزینه های احداث بالا، سرمایه گزار از نرخ بازگشت سرمایه مناسبی برخوردار نخواهد بود. محققان، سازندگان و کمپانی های انرژی در نقاط مختلفی از دنیا تلاش می کنند تا این منابع را از نظر فنی و اقتصادی توسعه دهند و با هزینه های احداث پایین تر و کارایی بالاتر در دسترس قرار دهند روشهایی مانند خریدهای تضمینی با قیمتهای مشخص در کنار این تلاشها از راهکارهای حمایتی رایج در بسیاری از مناطق دنیا می باشد.

هدف اصلی این مقاله بررسی فنی اقتصادی یک منبع پیل سوختی به صورت تولید همزمان توان الکتریکی و حرارت (CHP) در کاربرد خانگی از دید یک سرمایه گزار می باشد. در این مطالعه، ابتدا گزارشی از انواع موجود پیل‌های سوختی و پتانسیلهای کاربرد هر یک از آنها با توجه به شرایط کاری ارائه می گردد. مسائل موجود در استفاده از این منابع در کاربردهای مختلف، بررسی می گردد سپس بررسی های اقتصادی متعددی انجام می شود و تاثیر عوامل مختلف مانند قیمت سوخت و مشخصات بار بر روی درآمد حاصله و نرخ بازگشت سرمایه مورد بررسی قرار گرفته شده است، همچنین مقایسه ای اقتصادی بین یک منبع تولید پراکنده ارزان با یک پیل سوختی در شرایط مختلف انجام شده است. در انتها بعد از بررسی های مختلف و تاثیر عوامل مختلف، روشی حمایتی پیشنهادی که در کشور قابل اجرا باشد ارائه شده و نحوه و میزان تاثیرگذاری آن بر درآمد این منابع بررسی شده است. نتایج بررسی کارآمدی روش را در حالت‌های مختلف نشان می دهد.

واژه های کلیدی: پیل سوختی ، نرخ بازگشت سرمایه، هزینه احداث، قیمت سوخت

۱- کارشناس ارشد برق- قدرت (دانشگاه تربیت مدرس)

۲- کارشناس ارشد برق- مدیریت انرژی الکتریکی (دانشگاه امیرکبیر)، پژوهشکده برق جهاد دانشگاهی  
jdolatabadi@gmail.com



۷ و ۷ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



۱-مقدمه:

با شروع قرن ۲۱ پیل سوختی در کاربردهای مختلف در تامین توان حضوری نمایان پیدا کرده است. پیل سوختی یک وسیله الکتروشیمیایی می باشد که انرژی شیمیایی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل می کند. پیل های سوختی از نظر فنی می توانند در رنج وسیعی از کاربردها از تامین انرژی یک قطعه الکترونیکی قابل حمل گرفته تا یک واحد انرژی بزرگ در شرکت برقی مورد استفاده قرار گیرند [۱].

بررسی آمار مصرف انرژی در سال ۲۰۰۲ میلادی نشان دهنده آن است که ۸۰ درصد کل مصرف انرژی از سه منبع فسیلی نفت (۳۵٫۵٪)، زغال سنگ (۲۳٪)، گاز طبیعی (۲۱٫۲٪) تامین می گردد. پیش بینی رشد مصرف سالیانه انرژی بین ۳ تا ۵ درصد در سالهای آینده و همینطور افزایش بسیار زیاد پروژه های صنعتی و محدود بودن عمر ذخایر منابع فوق (نفت ۴۱ سال، زغال سنگ ۱۹۲ سال و گاز طبیعی ۶۷ سال) و علاوه بر آن حجم بالای آلاینده های این منابع ضرورت برنامه ریزی مناسب جهت جایگزینی این منابع با منابع دیگر و استفاده از تکنولوژیهای جدید در بخشهای مختلف را مانند تولید برق، گرما و حمل و نقل را بیش از پیش آشکار می سازد [۵].

از جمله فناوریهایی که در این دوره گذر می تواند نقش مهمی را ایفا نماید پیلهای سوختی می باشند. اگر چه این فناوری دارای سابقه بیش از یکصد و پنجاه سال می باشد ولی به دلیل مسایل مختلف از جمله قیمت تمام شده بالا تا کنون توان رقابت با روشهای سنتی در تبدیل انرژی را نداشته است البته پیشرفتهای سریع در این فناوری افق بسیار روشنی را برای آن ترسیم می نماید.

با استفاده از پیلهای سوختی موضوع تولید هیدروژن و روشهای ذخیره سازی آن به عنوان سوخت مورد استفاده در پیلهای سوختی اهمیت ویژه ای پیدا می کند به گونه ای که بسیاری از تحلیلگران بخش انرژی اقتصاد آینده را به جای کربن مبتنی بر هیدروژن می نامند.

از سوی دیگر گرایش بیش از پیش به مصرف انرژی الکتریکی نسبت به سایر انواع انرژی به دلیل مزایای انرژی الکتریکی به گونه ای است که پیش بینی می شود مصرف این انرژی از مقدار ۱۲ تریلیون کیلو وات ساعت در سال ۱۹۹۶ به مقدار تقریبی ۲۲ تریلیون کیلو وات ساعت در سال ۲۰۲۰ خواهد رسید و از این لحاظ لزوم استفاده از تولید پراکنده به منظور آزاد سازی ظرفیت انتقال و نزدیک کردن تولید به مصرف نمایان می گردد و در این میان پیلهای سوختی به عنوان یکی از روشهای متداول در این زمینه مطرح می باشند.

ویژگی هایی مانند بالا بودن بازده پیلهای سوختی، عملکرد مناسب این منابع در بار غیرنامی، آلودگی کم، بی سرو صدا بودن، نداشتن قطعات متحرک، تنوع سوختهای مورد استفاده و رنج گسترده ظرفیت این منابع را می توان از دلایل اصلی تمایل به استفاده از آنها نام برد.

در مقابل بالا بودن هزینه های احداث این منابع، استفاده از آن را در بسیاری از کاربردها غیر اقتصادی کرده است. از جنبه ای دیگر انگیزه های اقتصادی لازم برای استفاده از این منابع توسط سرمایه گزارهای خصوصی وجود ندارد و به دلیل بالا بودن هزینه های احداث بالا، سرمایه گزار از نرخ بازگشت سرمایه مناسبی برخوردار نخواهد بود. در چنین شرایطی به کار بردن روشهایی برای بالا بردن انگیزه های سرمایه گذاری یکی از نیازهای اساسی صنعت برق می باشد. محققان، سازندگان و کمپانی های انرژی در نقاط مختلفی از دنیا تلاش می کنند تا این منابع را از نظر فنی و اقتصادی توسعه دهند و با هزینه های احداث پایین تر و کارایی بالاتر در دسترس قرار دهند در کنار تلاشهای انجام شده روشهایی مانند خریدهای تضمینی با قیمت مشخص یکی از راهکارهای حمایتی رایج در بسیاری از مناطق دنیا می باشد البته بکار بردن روش خرید تضمینی با قیمت بالاتر از قیمتهای بازار نمی تواند به عنوان راه حل بلند مدت مورد توجه قرار گیرد و باید روشهای کارآمد تر و مناسب شرایط هر منطقه ارائه و اجرا گردد [۱،۲،۳،۴].



۷ و ۷ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



در این مقاله با توجه به شرایط موجود بعد از انجام بررسی های مختلف و تاثیر عوامل مختلف در کسب درآمد پیلهای سوختی در یک بازار، روشی حمایتی پیشنهادی که در کشور قابل اجرا باشد ارائه شده و نحوه تاثیر گذاری آن بر درآمد این منابع بررسی شده است.

## ۲- پیل سوختی و انواع آن:

بطور کلی پیل های سوختی براساس نوع الکترولیت بکار رفته در آنها، دسته بندی می شوند. در حال حاضر معروفترین انواع این منابع در جدول (۱-۲) دسته بندی شده اند. اگر چه انواع مختلف پیل سوختی دارای ساختار شبیه به هم می باشند و فعالیت شیمیایی خالص آنها یکسان می باشد ولی از نظر مشخصات عملکرد، مواد، ساخت و موارد کاربرد با یکدیگر متفاوت می باشند. [۱،۳]

جدول (۱-۲) مشخصات و کاربرد معروفترین انواع پیل سوختی

ردیف	نوع	دمای عملکرد	کاتالیزور فلزی	نوع الکترولیت	ویژه گی خاص	کاربردهای رایج
۱	PEMFC	۶۰-۸۰	دارد	غشای پلیمری	۱- چگالی توان بالا ۲- سرعت پاسخگویی و روشن شدن بالا ۳- بازده بالا	۱- جایگزینی با موتورهای اتومبیل
۲	DMFC	-	دارد	غشای پلیمری	۱- امکان استفاده مستقیم از متانول ۲- عدم نیاز به واحد پردازش سوخت ۳- سرعت عملکرد پایین ۴- بازده پایینتر نسبت به سایر انواع	۲- جایگزین بسیار مناسب برای باتری
۳	PAFC	۲۰۰	دارد	اسید فسفریک	۱- بازده ای بالا ۲- کافی بودن دما برای گرم کردن آب و فضای ساختمانها	مناسب برای هتلها ساختمانهای اداری و خوابگاهها و سایر ساختمانها
۴	MCFC	۶۵۰	ندارد	کربنات مذاب	۱- به دلیل دمای بالا به کاتالیزور نیاز ندارند ۲- کافی بودن دما برای گرم کردن آب و فضای ساختمانها ۳- به دلیل دمای بالا سوختهای سبک گاز نیز علاوه بر هیدروژن در داخل استکها در پروسه ای به نام تغییر شکل داخلی قابل استفاده میباشد.	طراحی شده برای سایزهای بزرگ و متوسط مصارف ثابت
۵	SOFC	۸۰۰-۱۰۰۰	ندارد	اکسید جامد	۱- استفاده از سیستم تغییر شکل داخلی سوخت ۲- استفاده در سیستمهای توان و حرارت به صورت توأم ۳- تلاش برای کم کردن دمای عملکرد تا دمای ۵۵۰-۷۵۰ درجه	استفاده در رنج وسیعی از توان از کاربردهای کوچک مانند مصارف خانگی گرفته تا مصارف بزرگ مانند تامین توان شرکتهای برقی

## ۳- مشخصات سیستمهای پیل سوختی

منابع پیلهای سوختی در مقابل منابع سنتی از مزایایی خاصی برخوردار می باشند که شامل:

۱- مدوله بودن این منابع (هر پیل سوختی از مجموع واحدهای کوچکی به نام استک تشکیل می شود)

۲- بازده بالا در رنج وسیعی از توان خروجی آن

۳- تاثیر کم بر روی محیط اطراف.

اگر این مزایا به کم شدن هزینه های ساخت این منابع همراه شود، این منابع را به منبع تامین انرژی مورد علاقه در کاربردهای مختلف تبدیل خواهد کرد.

قسمت اصلی پیلهای سوختی (استک)، مدولار می باشد و می تواند در رنج وسیعی از ظرفیت از چند وات تا یک مگاوات یا بیشتر ساخته شود. قسمتهای دیگر پیل های سوختی به طور خاص سیستم پردازش سوخت لازم نیست متناسب با بزرگ شدن استک ها، بزرگ شوند.

از طرفی بازده پیل‌های سوختی در حالی که فقط به عنوان تامین کننده توان الکتریکی استفاده شوند بین ۴۰ تا ۵۰ درصد در رنج وسیعی از توان خروجی می باشد. این منابع اگر در واحدهای تولید هم زمان توان الکتریکی و حرارتی مورد استفاده قرار گیرند می توانند با بازده های بسیار بالا یعنی در حدود ۸۰ درصد کار کنند [۲،۳].

پیل‌های سوختی به دلیل تاثیر بسیار کم بر روی محیط، در برخی مناطق بر منابع سنتی ترجیح داده می شوند. این مساله اجازه می دهد که پیل سوختی در بسیاری از مکان ها که مسائل محیطی اهمیت پیدا می کنند و منابع سنتی نمی توانند مجوز احداث را دریافت کنند بهترین گزینه باشند. همچنین این منابع گازهای سمی مانند مونواکسید کربن، اکسید نیتروژن، اکسید سولفور تولید نمی کنند. دی اکسید کربن تنها گاز خروجی حاصل از واکنشهای شیمیایی در پیل‌های سوختی در صورت استفاده از سوخت‌های گازی می باشد. لازم به ذکر است حتی میزان دی اکسید کربن تولیدی در این منابع در مقایسه با منابع سنتی به دلیل بالا بودن بازده این منابع کمتر می باشد. بعلاوه پیل‌های سوختی ساکت بوده و صدایی ندارند. همه این مسائل استفاده از این مناطق در مکانهایی نزدیک بیمارستانها، پارکها و مکانهای عمومی ممکن می سازد [۱].

در بعضی مناطق مسائلی مانند پاسخ زمانی، عمر مناسب، نگهداری و قابلیت اطمینان می تواند موجب شود منابع پیل سوختی نسبت به منابع دیگر ارجحیت پیدا کنند.

بعضی از انواع پیل‌های سوختی مانند MCFC و SOFC زمان رسیدن به دمای عملکرد بالا و در نتیجه سرعت پاسخگویی پایین تری دارند در نتیجه برای تامین توان واحدهای ساختمانی و وسایل حمل و نقل بزرگ مانند کشتیها و لوکوموتیو مناسب می باشند. از طرف دیگر پیل سوختی نوع PEMFC دمای عملکرد پایین و سرعت پاسخگویی بالایی دارد و برای تامین انرژی مورد نیاز اتومبیل ها که عملکرد لحظه ای دارند مناسب می باشد.

در مساله هزینه های تعمیر و نگهداری این منابع، به طور خاصی بر روی هزینه قسمت‌های جانبی شامل ماشین‌های متحرک ( فن‌ها، کمپرسورها و پمپ‌ها)، قسمت کنترل و الکترونیک قدرت توجه شده است .

استک‌ها قسمت متحرک ندارند و قابل تعمیر نمی باشند. استک‌ها در طول عمر خودشان سوخت را مصرف کرده و الکتریسیته تولید می کنند. این قسمت در واحدهای ثابت ۴۰۰۰۰ ساعت و در آنهایی که در اتومبیل ها استفاده می شوند ۵۰۰۰ ساعت عمر دارند. بنابراین می توان گفت واحدهای ثابت در طول عمر خودشان نیاز دارند تا چهار یا پنج بار استک‌های خود را تعویض کنند [۱].

هزینه تعمیر و نگهداری پیل‌های سوختی که شامل جابجایی استک‌ها نیز می شود، در رنج ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ دلار برای هر کیلووات ساعت می باشد.

#### ۴- بررسی فنی و اقتصادی پیل سوختی در مصارف خانگی

با توجه به همه مزایایی که برای منابع پیل‌های سوختی عنوان شده است، بالا بودن هزینه های احداث این منابع مانع اصلی توسعه آنها می باشد. نکته ای که در اینجا باید به آن اشاره کرد این است که از دید بهره بردارو حتی دولتها استفاده از این منابع در مقایسه با سایر منابع تولید پراکنده دارای منافع برابر و یا حتی بیشتر می تواند باشد. در کنار کم شدن آلودگی ها، استفاده بهینه از سوخت (به دلیل بازدهی بالای این منابع)، کم شدن هزینه های احداث نیروگاه های بزرگ، کم شدن هزینه های احداث خطوط انتقال و توزیع و کم شدن تلفات انتقال توان از مزایای منابع پیل سوختی از دید بهره بردار سیستم می باشد از این رو در بسیاری از کشورها، سیاست‌های حمایتی مناسب با توجه به امکانات و شرایط موقعیت خاص محل نصب جهت توسعه این منابع به کار برده می شود. نکته مهم این است که روش حمایت از این منابع در مناطق مختلفی که شرایط گوناگون دارند نمی تواند یکسان باشد و برای هر منطقه باید راه حل مناسب آن منطقه پیدا شود. در این قسمت به بررسی فنی و اقتصادی یک پیل سوختی به عنوان تامین کننده توان یک واحد مسکونی از دید یک سرمایه گذار پرداخته می شود. مطالعات متعددی از جنبه های گوناگون انجام می گیرد تا مساله اقتصادی و یا عدم اقتصادی بودن استفاده از پیل های سوختی



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



مورد مطالعه قرار گیرد. میزان درآمد و سود حاصل از تامین توان از دید یک سرمایه گذار محاسبه می گردد در قسمتی از مطالعه این درآمد با درآمد حاصل از یک منبع تولید پراکنده معمولی مقایسه می گردد. همچنین تاثیر موارد مختلف از جمله قیمت سوخت، ضرایب بار الکتریکی و حرارتی مصرف کننده بر درآمد حاصل شده مورد بررسی قرار می گیرد تا دید مناسبتری از وضعیت استفاده از این منابع در شرایط مختلف بدست آید و تصمیم گیریهای مناسبتری انجام گیرد. همچنین یک نوع سیاست حمایتی مناسب با توجه به امکانات و پتانسیل های موجود در کشور، ارائه می گردد و میزان حمایت لازم جهت رقابتی شدن این منابع در مقایسه با سایر منابع تولید پراکنده ارائه می گردد. در ادامه به بررسی مطالعات انجام شده به صورت جزئی پرداخته می شود.

لازم به ذکر است در مطالعه انجام شده قیمت توان در سه سطح در نظر گرفته شده است تا شرایط مطالعه به واقعیت نزدیکتر گردد. مقادیر قیمت توان و مدت زمان آن برای یک روز در جدول (۴-۱) آورده شده است.

جدول (۴-۱) مقادیر قیمت توان و مدت زمان آن برای یک روز

ردیف	نوع تعرفه	مدت (ساعت)	قیمت (کیلووات ساعت/تومان)
۱	اوج بار	۴	۱۰۰
۲	میان باری	۱۲	۷۰
۳	کم باری	۸	۵۰

مشخصات پیل سوختی و سیستم بار مورد مطالعه به صورت زیر می باشد.

الف: پیل سوختی

ظرفیت پیل سوختی: ۱۰ kW

عمر پیل سوختی: ۲۰ سال

هزینه های تعمیر و نگهداری: ۰/۰۱ دلار برای هر کیلووات ساعت

بازده الکتریکی پیل سوختی: ۰/۴

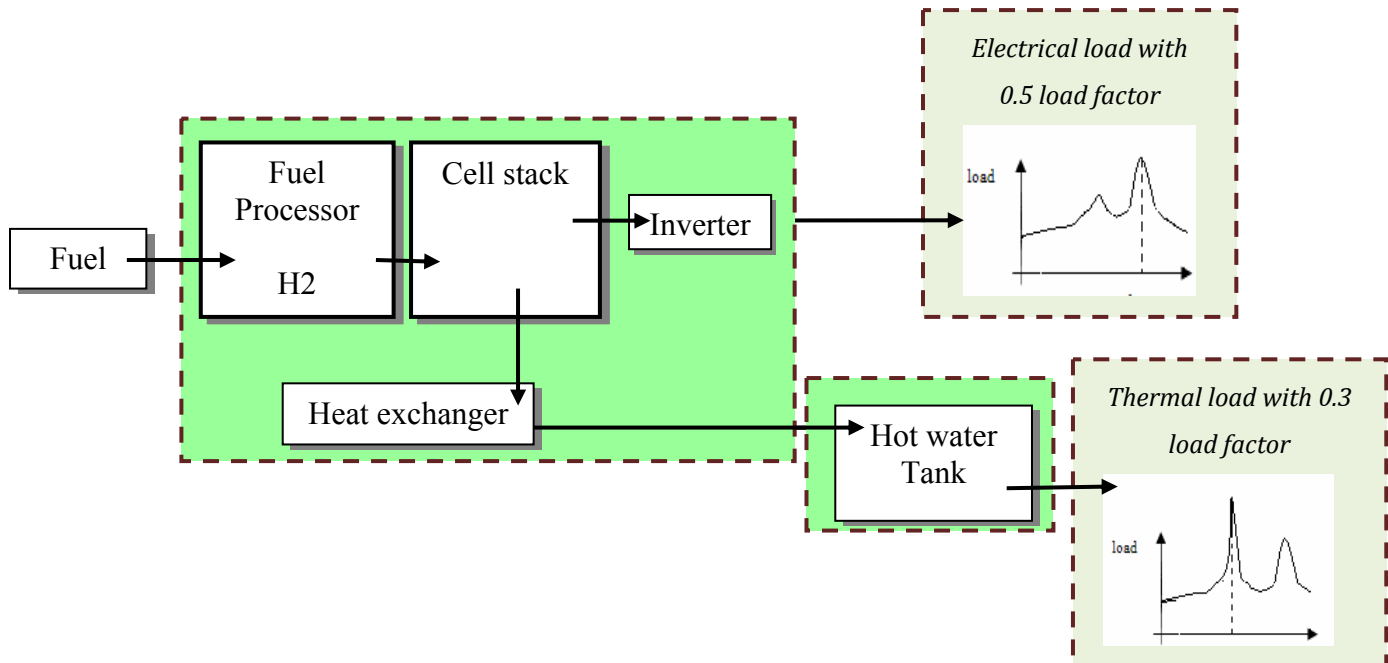
بازده حرارتی پیل سوختی: ۰/۴

ب: سیستم بار:

ضریب بار الکتریکی: ۰/۵ (به صورت یک عدد ثابت فرض شده است)

ضریب بار حرارتی: ۰/۳ (به صورت یک عدد ثابت فرض شده است)

بلوک دیاگرام شماتیک پیل سوختی و سیستم بار مورد مطالعه در شکل (۴-۱) آورده شده است



شکل (۴-۱) بلوک دیاگرام شماتیک پیل سوختی و سیستم بار مورد مطالعه

#### ۴-۱ تابع درآمد :

تابع درآمد در این مطالعه مطابق فرمول (۴-۱) می باشد. در این تابع درآمد یک سرمایه گذار در طول عمر یک واحد تولیدی با در نظر گرفتن قیمت سه پله ای قیمت توان و افزایش سالانه قیمت های سوخت و توان و همچنین هزینه های تعمیر ونگه داری محاسبه شده است. این تابع هدف دو جمله دارد که جمله اول درآمد حاصل از محل فروش توان الکتریکی و جمله دوم درآمد حاصل از انرژی حرارتی را درمقایسه با یک سیستم گرمایی مجزا شامل می شود. برای سادگی مدل بار به صورت حاصلضرب بار ماکزیمم در ضریب بار فرض شد.

(۴-۱)

$$\text{Revenue} = (P_G \times ((C_1 \times r_{Cp}^y - C_{M\&R} - C_g \times r_{Cg}^y) \times h_1 + (C_2 \times r_{Cp}^y - C_{M\&R} - C_g \times r_{Cg}^y) \times h_2 + (C_3 \times r_{Cp}^y - C_{M\&R} - C_g \times r_{Cg}^y) \times h_3) \times Lf + (V_G \times C_g \times r_{Cp}^y \times Tf \times \eta_t \times 24)) \times 365$$

$P_G$ : توان الکتریکی تولیدی

$C_1, C_2, C_3$ : قیمت توان در سه سطح مختلف

$h_1, h_2, h_3$ : مدت زمان مربوط به قیمت توان

$y$ : سال

$C_{M\&R}$ : هزینه تعمیر و نگه داری

$r_{Cp}$ : نرخ افزایش قیمت توان الکتریکی (٪)

$r_{Cg}$ : نرخ افزایش قیمت سوخت (٪)

$C_g$ : قیمت سوخت

$Lf$ : ضریب بار الکتریکی

$V_G$ : میزان سوخت مصرفی گاز برای تولید توان الکتریکی  $P_G$  (یک متر مکعب گاز طبیعی معادل ۱۰/۷ کیلووات ساعت می باشد)

$$V_G = \frac{P_G}{(\eta_e \times 10.7)}$$

(باشد)

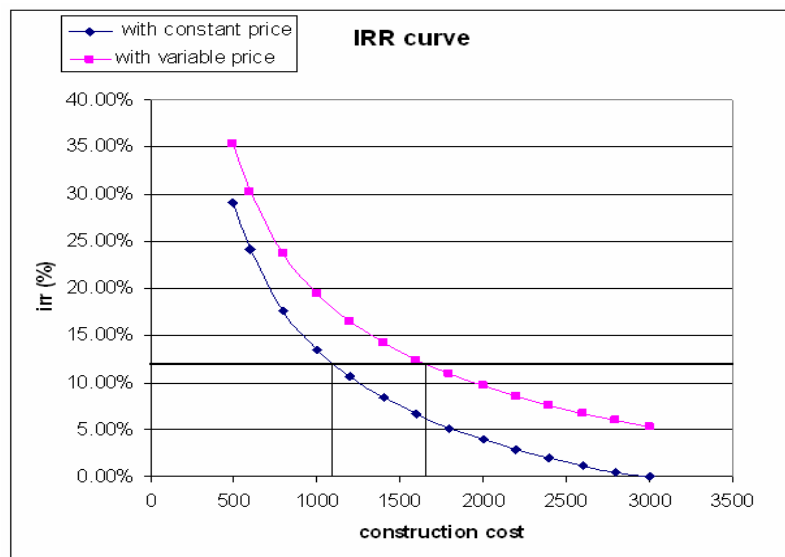
$\eta_e$ : بازده الکتریکی پیل سوختی

$T_f$ : ضریب بار حرارتی

$\eta_t$ : بازده حرارتی پیل سوختی

## ۲-۴ محاسبه درآمد و نرخ بازگشت سرمایه بر حسب هزینه ساخت

همانگونه که تاکنون در قسمتهای مختلف این مقاله آورده شده است یکی از موانع توسعه و سرمایه گذاری در زمینه منابع پیلهای سوختی هزینه های بالای ساخت این منابع می باشد در این مطالعه سعی شده است تاثیر هزینه ساخت بر درآمد و نرخ بازگشت سرمایه حاصل از آنها مشاهده شود. لازم به ذکر است در این مطالعه قیمت گاز ۱۴۰ تومان بر هر متر مکعب در نظر گرفته شده است. شکل (۱-۴) منحنی تغییرات نرخ داخلی<sup>۳</sup> بازگشت سرمایه را بر حسب هزینه ساخت نشان می دهد.



شکل (۱-۴) منحنی تغییرات نرخ بازگشت سرمایه را بر حسب هزینه ساخت (\$/KW)

در این منحنی نرخ داخلی بازگشت سرمایه برای دو سناریوی مختلف آورده شده است. در سناریوی اول فرض شده است که قیمت سوخت و توان در طول عمر منبع ثابت باشد. که منحنی زیرین مربوط به این سناریو می باشد. در سناریوی دوم فرض شده است که قیمت سوخت و توان هر دو با نرخ ۵ درصد در طول عمر منبع افزایش می یابند. همانطور که در نتایج مشاهده می کنید سناریوی دوم دارای نرخ بازگشت سرمایه بالاتری می باشد در این سناریو با وجود اینکه قیمت سوخت نیز به همراه قیمت توان بالا رفت، درآمد حاصل از عملکرد پیل سوختی بالا رفته است. یکی از دلایل اصلی این موضوع کسب درآمد این منابع از حرارت حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی می باشد که مانند هر سیستم حرارتی دیگری استفاده می شود. همانطور که در شکل مشاهده می شود با هزینه های ساخت بالا، این منابع نمی توانند از سود دهی کافی برخوردار باشند ولی با پایین آمدن این هزینه ها با شیب زیادی درآمدها افزایش می یابد.

<sup>3</sup> -Internal Rate of Return (IRR)

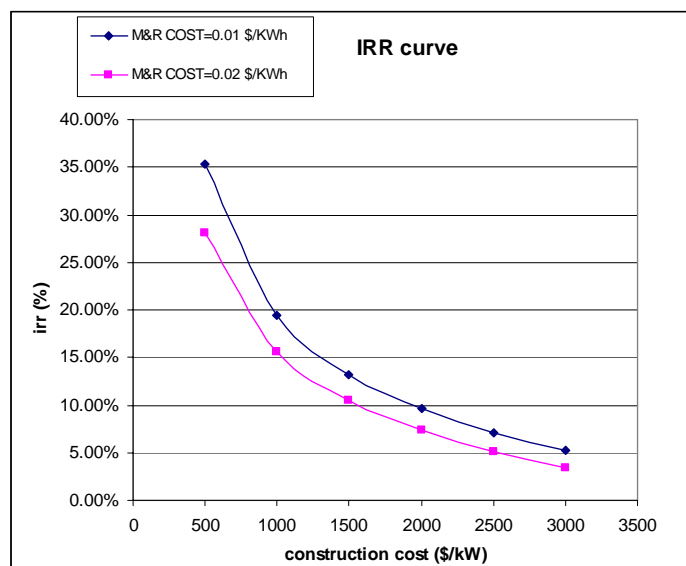
مساله مهم دیگری که از شکل (۴-۱) دریافت می شود این است که، با توجه به روند افزایشی قیمت انرژی در دنیا بالا رفتن این قیمتها می تواند این منابع را حتی با بالا بودن هزینه های ساخت به یک منبع انرژی برتر در تامین توان مورد نیاز مصرف کننده ها تبدیل کند. مطابق این شکل اگر نرخ بازگشت سرمایه ۱۲ درصد را نرخ مناسب برای سرمایه گذاری فرض کنیم، در سناریوی اول لازم است که هزینه های ساخت تا عدد ۱۰۹۵ دلار بر کیلووات کاهش یابد در حالی که مطابق سناریوی دوم با هزینه ساخت معادل ۱۶۴۴ دلار بر کیلووات می توان همان نرخ بازگشت را بدست آورد. این مساله در بخشهای دیگر نیز ب بررسی می شود.

### ۴-۳- تاثیر هزینه های تعمیر و نگهداری بر روی نرخ داخلی بازگشت سرمایه

شکل (۴-۲) منحنی میزان تاثیر هزینه های تعمیر و نگهداری بر روی درآمد و متعاقب آن نرخ داخلی بازگشت یک سرمایه گذاری را نشان می دهد.

همانطور که در منحنی قابل مشاهده است هزینه های تعمیر و نگهداری، تاثیر بسزایی بر روی نرخ بازگشت سرمایه پیلهای سوختی دارد. در نمونه مطالعه شده افزایش هزینه های تعمیر و نگهداری از مقدار  $0.01 \$/KWh$  به مقدار  $0.02 \$/KWh$  باعث کم شدن نرخ بازگشت سرمایه به اندازه  $1/8$  درصد با هزینه ساخت  $3000 \$/KW$  و  $7/27$  درصد وقتی هزینه ساخت  $500 \$/KW$  می باشد، می شود.

در بین این دو هزینه ساخت نیز مطابق منحنی، نرخ بازگشت سرمایه بین  $1/8$  تا  $7/27$  درصد تغییر می کند که عدد بالایی می باشد.



شکل (۴-۲) منحنی میزان تاثیر هزینه های تعمیر و نگهداری بر روی درآمد

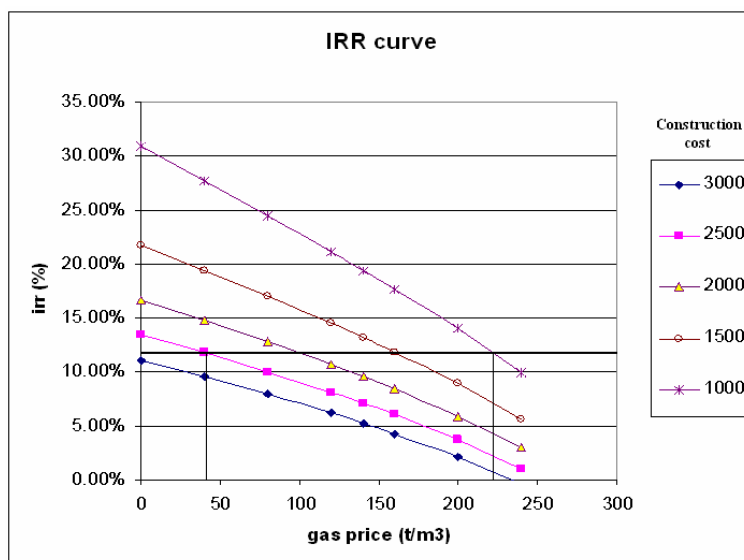
### ۴-۴- تاثیر قیمت سوخت بر روی نرخ بازگشت سرمایه و نوع درآمد:

نتایج مطالعات نشان می دهد که بالا رفتن قیمت سوخت می تواند هم بر روی میزان درآمد و هم محل آن درآمد آن تاثیر بگذارد. شکل (۴-۳) منحنی نحوه تاثیر گذاری قیمت سوخت بر نرخ بازگشت سرمایه یک پیل سوختی را در حالت های مختلف نشان می دهد.

همانطور که در شکل (۴-۳) مشاهده می شود با بالا رفتن قیمت سوخت میزان درآمد کسب شده توسط این منابع کاسته می شود باز هم اگر میزان نرخ بازگشت سرمایه قابل قبول را ۱۲ درصد در نظر بگیریم، بر روی منحنی مشخص است که با هزینه



ساخت ۲۵۰۰ \$/KW فقط در صورتی می توان نرخ بازگشت مناسب را داشت که قیمت سوخت کمتر از ۴۰ تومان برهرمترمکعب باشد در حالی که با هزینه ساخت ۱۰۰۰ \$/KWh پیل سوختی می تواند حتی تا قیمت‌های بالای ۲۲۰ تومان برهرمتر مکعب نیز نرخ بازگشت مناسب را داشته باشد.



(۴-۳) منحنی نحوه تاثیرگذاری قیمت سوخت بر نرخ بازگشت سرمایه

جدول (۴-۲) میزان ومحل درآمد کسب شده به صورت درصد از کل درآمد یک واحد پیل سوختی را نشان می دهد.

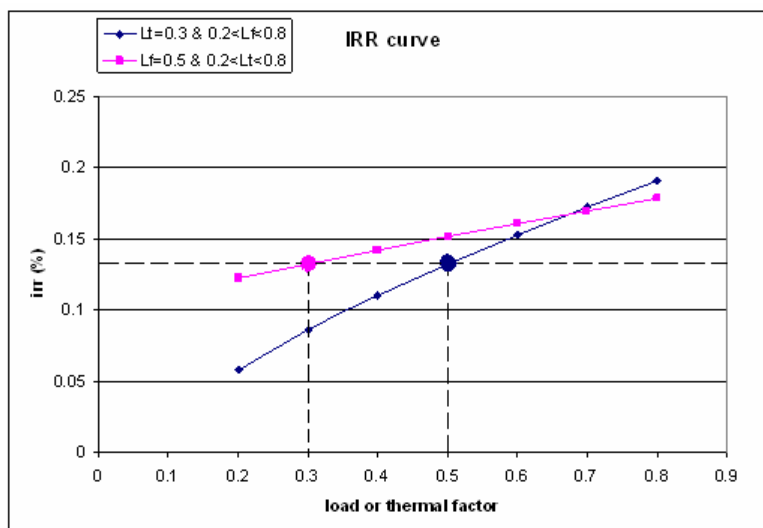
جدول (۴-۲) میزان ومحل درآمد کسب شده به صورت درصد از کل درآمد یک واحد پیل سوختی

درصد درآمد حاصل از فروش توان الکتریکی (جمله اول در تابع درآمد)	درصد درآمد حاصل از فروش توان الکتریکی (جمله دوم در تابع درآمد)	قیمت سوخت (t/m <sup>3</sup> )	ردیف
۰	۱۰۰	۰	۱
۴/۰۶	۹۵/۹۴	۴۰	۲
۹/۳۱	۹۰/۶۹	۸۰	۳
۱۶/۳۹	۶۱/۸۳	۱۲۰	۴
۲۰/۹۴	۷۹/۰۶	۱۴۰	۵
۲۶/۴۴	۷۳/۵۶	۱۶۰	۶
۴۱/۸۳	۵۸/۱۷	۲۰۰	۷
۶۸/۳۷	۳۱/۶۳	۲۴۰	۸

با توجه به جدول (۴-۲) مشاهده می شود که نه تنها مقدار درآمد کسب شده یک پیل سوختی تغییر می کند بلکه نوع و جنس این درآمد نیز تغییر می کند. بطوریکه در شرایطی که قیمت گاز پایین می باشد درصد بالایی از درآمد پیل سوختی از محل تولید توان الکتریکی تامین می شود در صورتی که با بالا رفتن قیمت سوخت سهم درآمد پیل سوختی از محل تامین حرارت بالاتر می رود این افزایش در نمونه مطالعه شده از مقدار ۰ تا ۶۸ درصد از کل درآمد قابل مشاهده است.

#### ۴-۵- تاثیر ضریب بارالکتریکی و ضریب بارحرارتی بر روی نرخ بازگشت سرمایه

یکی از عوامل تاثیر گذار بر درآمد هر منبع انرژی، ضریب بار مصرفی آن منبع می باشد. این موضوع بر درآمد یک پیل سوختی نیز تاثیر زیادی می گذارد. هدف از این بخش نشان دادن میزان این تاثیر بر حسب ضریب بار الکتریکی و حرارتی می باشد. شکل (۴-۴) منحنی تغییرات نرخ بازگشت سرمایه را بر حسب دو پارامتر اشاره شده نشان می دهد. در این مطالعه قیمت گاز  $140 \text{ t/m}^3$  در نظر گرفته شده است.



شکل (۴-۴) منحنی تغییرات نرخ بازگشت سرمایه را بر حسب دو پارامتر ضریب بار حرارتی و الکتریکی

در این شکل دو منحنی وجود دارد که یکی از آنها میزان تغییرات نرخ بازگشت سرمایه را وقتی ضریب بار الکتریکی مقدار ثابت  $(L_f = 0.5)$  است و ضریب بار حرارتی از مقدار  $0.2$  تا  $0.8$  تغییر می کند و دیگری تغییرات نرخ بازگشت سرمایه را وقتی ضریب بار حرارتی مقدار ثابت  $(L_f = 0.3)$  است و ضریب بار الکتریکی از مقدار  $0.2$  تا  $0.8$  تغییر می کند را نشان می دهد. با بررسی این دو منحنی مشاهده می شود که هر دو ضرایب بار تاثیر بسزایی بر روی درآمد و نرخ بازگشت سرمایه یک سرمایه گذاری دارند این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که با بکار بردن تکنیک های مدیریت مصرف و انجام کارهایی بدون هزینه اضافی براحتی می توان برای یک مصرف کننده این ضرایب را بهبود و تا حد قابل توجهی بالا برد و متعاقب آن یک سرمایه گذاری مطلوب تر و پردرآمد تر داشت.

نکته مهم دیگری که در این دو منحنی می توان یافت این است که ضریب بار الکتریکی نسبت به ضریب بار حرارتی تاثیر بیشتری بر روی نرخ بازگشت سرمایه دارد این موضوع را از روی شیب دومنحنی می توان یافت. همانطور که در شکل دیده می شود منحنی مربوط به تغییرات ضریب بار الکتریکی شیب بیشتری دارد و با تغییر این ضریب از مقدار  $0.2$  به  $0.8$  نرخ بازگشت از عدد  $5/7$  به عدد  $19$  درصد افزایش می یابد این مقدار وقتی ضریب بار حرارتی از  $0.2$  به  $0.8$  می رسد از عدد  $12$  به  $17$  درصد تغییر می کند. این موضوع از آن جهت اهمیت دارد که می توان نوع مدیریت مصرف تاثیر گذارتر را تشخیص و در آن جهت اقدام کرد.

۵- ارائه یک روش حمایتی مناسب برای رقابتی شدن پیل سوختی در مقایسه با یک منبع تولید پراکنده معمولی: بعد از انجام مطالعات مختلف و بررسی عوامل موثر بر روی درآمد و نرخ بازگشت سرمایه منابع پیلهای سوختی می توان فهمید که اگر چه تحت شرایط فنی و اقتصادی خاص این منابع می توانند از نرخ بازگشت سرمایه بالایی برخوردار باشند ولی بازهم

با هزینه های ساخت بالا این منابع نمی توانند از نرخ بازگشت سرمایه کافی برای ایجاد انگیزه های لازم برای سرمایه گذاری را بدست آورند.

### ۵-۱ مقایسه درآمد یک پیل سوختی بصورت CHP با یک منبع تولید پراکنده نمونه

مساله مهم از دید سرمایه گذار خصوصی این است که این منابع با این هزینه های ساخت و میزان درآمدشان درمقایسه با سایر منابع تولید پراکنده چه جایگاهی دارند. زیرا آنچه از دید سرمایه گزاران برای ورود به یک سرمایه گذاری مهم می باشد کسب درآمد بالاتر می باشد. برای انجام این مطالعه نرخ بازگشت یک منبع پیل سوختی با هزینه های ساخت مختلف با یک منبع تولید پراکنده نمونه با هزینه ساخت ( \$/KW ) ۷۰۰ و بازده ۴۰ درصد، مقایسه می شود. جدول (۵-۱) نرخ بازگشت سرمایه یک منبع تولید پراکنده نمونه را با قیمت های گاز مختلف نشان می دهد.

جدول (۵-۱) نرخ بازگشت سرمایه یک پیل سوختی را درمقایسه با یک منبع تولید پراکنده نمونه

نرخ بازگشت (%)	قیمت گاز (T/m <sup>3</sup> )	هزینه ساخت (\$/KW)	ردیف
۲۱/۳۷	۱۴۰	۷۰۰	۱
۱۴/۸	۱۸۰	۷۰۰	۲
۷/۰۲	۲۲۰	۷۰۰	۲

جدول (۵-۲) نرخ بازگشت سرمایه یک منبع پیل سوختی را با هزینه های ساخت و قیمت های گاز مختلف نشان می دهد.

جدول (۵-۲) نرخ بازگشت سرمایه یک منبع پیل سوختی را با هزینه های ساخت و قیمت های گاز مختلف

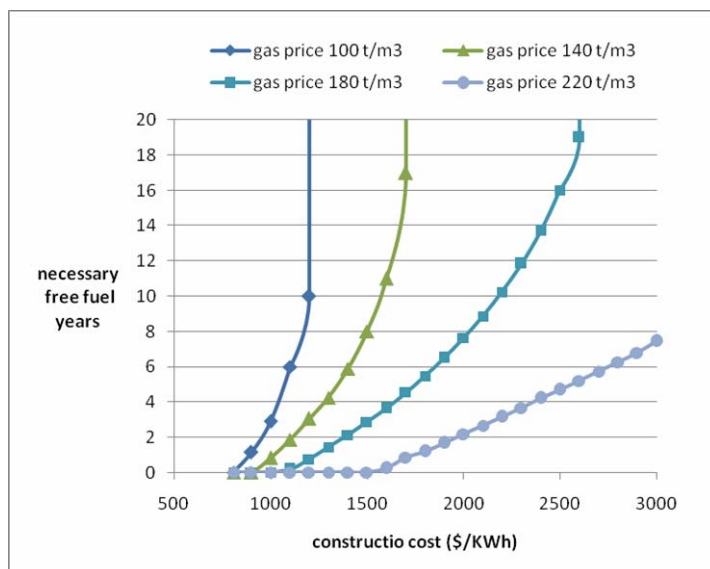
نرخ بازگشت (%) هزینه گاز (T/m <sup>3</sup> ) ۲۲۰	نرخ بازگشت (%) هزینه گاز (T/m <sup>3</sup> ) ۱۸۰	نرخ بازگشت (%) هزینه گاز (T/m <sup>3</sup> ) ۱۴۰	هزینه ساخت (\$/KW)	ردیف
۰/۹۱	۳/۲۴	۵/۲۶	۳۰۰۰	۱
۲/۴۶	۴/۹۵	۷/۱۱	۲۵۰۰	۲
۴/۴۸	۷/۲	۹/۶۵	۲۰۰۰	۳
۷/۳۳	۱۰/۴۳	۱۳/۲۱	۱۵۰۰	۴
۱۱/۹۹	۱۵/۴۳	۱۹/۴۲	۱۰۰۰	۵
۱۶/۹۶	۲۱/۸۵	۲۶/۵	۷۰۰	۶

چندین نکته مهم از روی جداول (۵-۱) و (۵-۲) قابل مشاهده می باشد که در ادامه به آن پرداخته می شود.

- ۱- نرخ بازگشت سرمایه با افزایش قیمت سوخت در هر دو جدول کاهش می یابد.
- ۲- شیب کاهش نرخ بازگشت سرمایه با افزایش قیمت سوخت، در مورد پیل سوختی که به صورت CHP استفاده می شود کمتر از یک منبع تولید پراکنده ساده می باشد. بطوری که در جدول (۵-۱) با افزایش قیمت سوخت از ۱۴۰ به ۲۲۰ (T/KWh) نرخ بازگشت از ۲۱/۷ به ۷/۰۲ رسید بطوری که در جدول (۵-۲) ردیف ششم این نرخ از ۲۶/۵ به ۱۶/۹۶ رسیده است. دلیل این موضوع کسب درآمد این منابع از حرارت تولیدی می باشد.
- ۳- تا زمانی که قیمت و هزینه ساخت منابع پیل سوختی بالا باشد این منابع نمی توانند با سایر منابع رقابت کنند البته این موضوع با بالا رفتن قیمت گاز که امری قابل پیش بینی می باشد بهتر می شود. ولی همچنان به کار بردن سیستمها و سیاستهای حمایتی از این منابع لازم به نظر می رسد، تا بتوانند همانند سایر منابع از سوددهی کافی برخوردار باشند.

## ۵-۲ معرفی و بررسی کمی و کیفی سیاست حمایتی پیشنهادی

در این قسمت یک سیاست حمایتی کارآمد و متناسب با پتانسیل های موجود در کشور در جهت بالا بردن نرخ بازگشت سرمایه منابع پیل های سوختی به اندازه ای که این منابع دارای نرخ بازگشت مساوی یا بیشتر از منبع تولید پراکنده ارزان با هزینه ساخت  $700 (\$/KW)$  و بازده ۴۰ درصد، گردند، ارائه می گردد. از نظر تئوری و همچنین با انجام مطالعات گوناگون مشخص شد که درآمد کسب شده در سالهای ابتدایی تاثیر بسیار زیادی بر میزان نرخ بازگشت سرمایه خواهد داشت بر این اساس یک سیستم حمایتی که در کشور قابل اجرا باشد پیشنهاد می شود. در این سیستم پیشنهاد می شود که برای حمایت از منابع پیل های سوختی برای چند سال اول طول عمر این منابع، گاز به صورت رایگان در اختیار صاحبان این منابع قرار گیرد تا بتوانند از درآمد کافی برخوردار باشند. شکل (۵-۱) نتایج مطالعات و میزان اثر این سیاست را با هزینه های ساخت و گاز مختلف نشان می دهد. محور افقی این شکل هزینه ساخت نیروگاه می باشد و محور عمودی آن میزان سالهایی که لازم است سوخت به صورت رایگان داده شود تا یک منبع پیل سوختی در شرایط یکسان به اندازه یک منبع تولید پراکنده دیگر با هزینه ساخت  $700 (\$/KW)$  درآمد کسب کند را نشان می دهد.



شکل (۵-۱) تعداد سالهای مورد نیاز ارائه سوخت رایگان را با هزینه های ساخت و گاز مختلف

همانطور که از روی شکل نیز مشخص است با کم شدن هزینه های ساخت میزان سالهایی که لازم است سوخت به صورت رایگان در اختیار این منابع قرار گیرد کاهش می یابد. همچنین در شرایطی که قیمت های سوخت افزایش می یابد نیز سالهای کمتری برای حمایت لازم است تا این منابع در یک رقابت برنده شوند. این موضوع به دو دلیل اساسی است یکی کم شدن شدید (به نسبت منابع پیل سوختی مطابق جداول (۵-۲) و (۵-۱)) درآمد نیروگاه های معمولی و دیگری زیاد شدن درآمد پیل سوختی از محل تامین حرارت مورد نیاز مصارف حرارتی. مطابق با شکل (۵-۱) در صورتی که قیمت های سوخت پایین باشد (منحنی مربوط به قیمت  $100 T/KWh$ ) حتی با ارائه رایگان گاز برای تعداد سالهای زیاد نیز این منابع نمی توانند به اندازه سایر منابع درآمد کسب کنند به عنوان مثال اگر در چنین شرایطی هزینه احداث این منابع بالاتر از  $1200 \$/KW$  باشد حتی اگر در کل طول عمر این واحد (۲۰ سال) سوخت به صورت رایگان تحویل شود، بازهم نمی تواند معادل سایر نیروگاه ها درآمد کسب کند. این مساله با بالا رفتن هزینه های سوخت کمی بهتر می شود به طوری که در حالی که هزینه سوخت به ترتیب



۷ و ۸ آبان ۱۳۸۸  
October 28 & 29, 2009

سومین سمینار پیل سوختی ایران



3<sup>rd</sup> Fuel Cell Seminar of Iran



۱۴۰، ۱۸۰، ۲۲۰ (T/KWh) باشد با ۵ سال ارائه رایگان سوخت به ترتیب حتی تا قیمت‌های ساخت ۱۳۵۰، ۱۷۵۰، ۲۶۰۰ (\$/KW) می‌توانند بیشتر از سایر منابع درآمد کسب کنند.

همچنین این منحنی نشان می‌دهد در صورتی که هیچ حمایتی از این منابع انجام نگیرد، به ترتیب با قیمت‌های سوخت ۱۰۰، ۱۴۰، ۱۸۰، ۲۲۰ (T/KWh) این منابع به ترتیب تا قیمت‌های ساخت ۸۰۸، ۸۹۷، ۱۰۷۵ و ۱۵۴۵ (\$/KW) درآمدی بالاتر از سایر منابع دارند.

با توجه به روند صعودی قیمت حامل‌های انرژی می‌توان به این نتیجه رسید در آینده ای نه چندان دور این منابع از نظر اقتصادی وضعیت مطلوبتری را در مقایسه با سایر منابع که از سوخت استفاده می‌کنند خواهد یافت. به همین دلیل نیز می‌باشد که کشورهای بسیاری تامین درصدی از انرژی مورد نیاز کشورشان را توسط منابع پیل‌های سوختی به عنوان یک هدف تعریف کرده اند.

#### ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

آنچه واضح است این است که در مطالعات انجام شده همه مسائل موجود در بحث تامین توان دیده نشده است و بسیاری از مسائل ساده سازی شده و این مساله مطالعه را از شرایط کاملاً واقعی دور می‌کند. یکی از مسائلی که در مطالعات آینده می‌تواند مدل سازی شود استفاده از مدل بار دقیقتر به صورت ساعتی به همراه قیمت‌های ساعتی توان میباشد. ولی با این وجود نتایج مطالعات می‌تواند نشانگر روند بعضی واقعیات باشد. به این عنوان که پیل‌های سوختی به عنوان یک منبع مفید قابلیت توجه ویژه ای را دارند و در حال حاضر با توجه به هزینه‌های ساخت بالایی که دارند نیاز به حمایت‌های زیادی برای توسعه بیشتر دارند و روش حمایتی ارائه شده در این مقاله میتواند انگیزه‌های لازم جهت افزایش میزان سرمایه گذاری در این صنعت را به وجود آورد. همچنین میتوان درک کرد که در آینده ای نزدیک با پایین آمدن هزینه‌های احداث و بالا رفتن قیمت‌های سوخت از ارزش تجاری بالاتری برخوردار خواهند شد. در چنین شرایطی این منابع با اندک حمایتی و یا حتی در شرایط خاص، بدون هیچ حمایتی به عنوان منبع تامین انرژی برتر توسط سرمایه‌گذاران انتخاب می‌شود. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که این منابع می‌توانند در سیستم‌هایی که دارای نوسانات شدید قیمت سوخت می‌باشند رفتاری بسیار مطمئن تر از جنبه کسب درآمد در مقایسه با سایر منابع داشته باشند و به عنوان یک سیستم مطمئن تر و مقاوم تر معرفی گردند. پیشنهاد می‌شود با توجه به آینده ای که این منابع در تامین توان مورد نیاز کشورها خواهند داشت استفاده از این منابع در کشور نیز با اجرای سیاست‌های حمایتی که باید به طور دقیق و در شرایط واقعی تر مطالعه گردد مورد حمایت قرار گیرد تا شاهد رشد و توسعه این منابع در کشور باشیم.

مراجع

- [1]- M.eliss, M.von and D.nelson “ **Feul Cell Systems:Efficient,Flaxible Energy Conversion for 21<sup>st</sup> Century**” proceeding of iee vol. 89, NO.12, December 2001
- [2]- K.maeda, M.suzuki and H.aki “**R&D and Deployment of Residential Fuel Cell Cogeneration System in Japan**” 2008 iee
- [3]- J.lidderdal, T.day and P.jones” **Fuel Cell CHP for building**” CIBSE Annual Conference 2006
- [4]- H.aki “ **The Penetration of Micro CHP in Residential Dwellings in Japan**” 2007 iee

[5]- مطالب ارائه شده در منابع انرژی دانشگاه صنعتی امیر کبیر-دکتر محمدی اردهالی