Archive of SID

دریافت مقاله: ۸۷/۵/۲
پذیرش مقاله: ۸۷/۷/۳

برآورد پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران: راهکاری برای توسعه پایدار انرژی خورشیدی

نیلوفر شعربافیان[۱]

چکیده

ایران نه تنها در سوخت‌های فسیلی غنی است بلکه در انرژی‌های تجدید پذیر نیز پتانسیل‌های فراوانی دارد. پتانسیل انرژی‌های تجدید پذیر چندین برابر منابع فسیلی تخمین زده شده است.

تلاشهایی که ایران در دهه‌های اخیر انجام داده باعث شده است انرژی‌های تجدید پذیر نیز به سبد انرژی‌های ایران افزوده شود. ایران در میان کشورهای حاشیه خلیج‌فارس در زمینه تنوع انرژی با معرفی انرژی‌های تجدیدپذیر در راس قرار دارد. ظرفیت قابل بهره برداری تولید برق توسط نیروگاه برق آبی در سال ۱۳۸۴ برابر حدود ۶۰۴۳ مگاوات بوده و برآورد می‌شود که با طرح‌های برنامه‌ریزی شده به ۳۴۳۵۱ مگا وات افزایش یابد. در حدود ۹۲ توربین بادی با ظرفیت ۴۷۵۸۰ کیلووات در چهار استان (خراسان، گیلان، قزوین، آذربایجان شرقی) تولید برق می‌کنند. علاوه بر آن ۴۱۶۸۰ کیلووات ظرفیت جدید نیز برنامه‌ریزی شده است. همچنین حدود ۱۷۶ کیلو وات ظرفیت تولید برق خورشیدی نیز در مناطق روستایی نصب شده است. بین سالهای ۱۳۸۴- ۱۳۷۶ در حدود ۶۱۲۲۵۰ کیلووات ساعت برق تولید شده است و حدود ۳۷۸۸ حمام خورشیدی حرارتی

۱. کارشناس ارشد انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تکنولوژی وین، اتریش، n.sharbafian@tuwien.ac.at

www.SID.ir

Archive of SID

نیز در مناطق روستایی نصب شده است. یک نیروگاه زمین گرمایی با ظرفیت ۵۵ مگا وات در دو مرحله در مشکین شهردر حال ساخت است. علیرغم تلاشهای در حال انجام برای توسعهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر، یارانه انرژی‌های فسیلی، یک مانع اصلی برای توسعه این انرژی‌هاست. پتانسیل فنی انرژی حرارتی خورشیدی ۹۱۰۰۰ تراوات ساعت برآورد شده است و پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی با فرض نرخ بهره ۱۴٪ و قیمت برق معادل ۵ سنت آمریکا هر کیلو وات ساعت (نرخ فروش در بخش تجاری) معادل ۶۰ میلیون کیلووات ظرفیت معادل برق برآورد می‌شود.

با حدف یارانه سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدید پذیر از موقعیت بهتری برای توسعه برخوردار خواهند بود. در صورتی که حذف یارانه‌های انرژی همچنان با دشواری روبرو باشد بهترین راه برای تشویق توسعه انرژی‌های تجدید پذیر، تخصیصی نرخ بهره‌های ترجیحی برای این پروژه‌هاست.

انرژی‌های تجدیدپذیر، گرمایش آب با خورشید، توجیه اقتصادی، ایران، سیاستگذاری.

JEL: Q55, Q42, Q26, O33, O13, L71

۱. مقدمه

ایران دارای منابع فراوان سوخت‌های فسیلی است. ذخایر اثبات شدهٔ نفتی ، شامل مایعات گازی بیش از ۱۳۷ میلیارد بشکه یا ۱۱٪ منابع کل جهان است. این در حالی است که منابع گاز طبیعی بیش از ۲۶/۷ تریلیون مترمکعب یا ۱۵٪ کل منابع جهان در سال ۱۳۸۳ بوده است. (bp, 2006) .

مصرف سوخت‌های فسیلی در ایران به‌دلیل افزایش جمعت و رشد تولید ناخالص داخلی، غیر بهینه است و قیمت‌های یارانه‌ای سوخت افزایش یافته است.

سیاست‌گذاران انرژی مدت‌هاست در تلاش هستند تا مصرف انرژی را تنوع بخشند و انرژی‌های هسته‌ای و تجدید پذیر را نیز وارد سبد انرژی نماید. امنیت انرژی از دید سیاستگذاران انرژی ایران بسیار حیاتی است. ولی سیاست‌های زیادی وجود دارد که با مصرف بهینه انرژی ناسازگار است.

یکی از موانع مهم بر سر راه توسعه انرژی‌های تجدید پذیر میزان زیاد یارانه‌های سوخت‌های فسیلی است. اخیراً تلاش‌های زیادی برای حذف تدریجی

www.SID.ir

Archive of SID

یارانه‌های انرژی انجام گرفته است ولی تمامی این تلاش‌ها به‌دلیل موانع سیاسی ـ اجتماعی ناکام ماندند. نهایتاً جیره‌بندی بنزین تصویب گردید که قرار است در مورد گازوئیل نیز اعمال گردد. همچنین اخیراً اعلام شده که قرار است کلیه یارانه‌های ضمنی حذف شده و مبالغ آن به‌صورت نقدی به خانواده‌های کم درآمد اختصاص یابد.

میزان کل یارانه‌های ضمنی انرژی فقط در بخش حمل و نقل از ۳/۶ میلیارد دلار درسال۱۳۷۵به۱۲/۴میلیارد دلار درسال ۱۳۸۴ رسیده‌است(Mazraati, 2007).

در شرایط فعلی که قیمت‌های بین‌المللی سوخت افزایش زیادی یافته‌اند، این یارانه‌ها نیز به میزان زیادی افزایش یافته و به حدود ۱۰۰ میلیارد دلار رسیده‌اند که بخش عمدهٔ آن را یارانه انرژی تشکیل می‌دهد. هزینه‌های تولید نشان می‌دهد که انرژی‌های تجدید پذیر، به خاطر وجود یارانه‌های پرداختی به انرژی‌های فسیلی، در ایران توجیه اقتصادی ندارد. هزینه تولید برق در ایران، ۱/۳ ، ۵/۴ و ۱۹/۴ سنت آمریکا در هر کیلو وات ساعت به ترتیب در نیروگاههای حرارتی، نیروگاههای بادی و خورشیدی می‌باشد (رازدان ، ۱۳۸۵).

علیرغم وجود یارانه سوخت‌های فسیلی که توجیه اقتصادی انرژی‌های تجدید پذیر را از بین می‌برد و نیزهزینه بالای تولید این نوع انرژی‌ها، برخی از سیاست‌های دولت در جهت ترغیب توسعه انرژی‌های پایدار اتخاذ شده‌اند. در گروه انرژی‌های تجدید پذیر ایران بصورت عملی از انرژی‌های برق آبی، باد، خورشیدی و زمین گرمایی استفاده می‌نماید.

انرژی‌های تجدید پذیر در کشورهای مختلف به‌دلیل وجود شرایط متفاوت از حمایت‌های متفاوتی برخوردار هستند. از آنجائی‌که ایران منابع انرژی فسیلی زیادی دارد و این سوخت‌ها بصورت یارانه‌ای عرضه می‌شوند ایران هیچ تعهدی در پروتکل کیوتو برای کاهش گازهای گلخانه‌ای ندارد. بنا بر این انرژی‌های تجدید پذیر از حمایت سیاسی بالایی برخوردار نبوده‌اند. اّما علیرغم همه موانع اقتصادی موجود ، ایران هنوز در حوزه کشورهای خلیج فارس در زمینهٔ انرژی‌های تجدید پذیر ، کشوری پیشرو تلقی می‌شود.

آخرین تحولات انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران در بخش دوم مورد بحث واقع شده است. پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی نیز به روش

www.SID.ir

Archive of SID

حسابداری[1] در قسمت سوم تخمین زده شده است و برای این منظور از یک سیستم آبگرمکن خورشیدی که مناسب برای یک آپارتمان دو طبقه در تهران است استفاده شده و خالص ارزش حال و نرخ بازده داخلی این سیستم با قیمت‌های مختلف برق تخمین زده شده است. با تعمیم این روش ، پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی برآورد می‌شود و اثر نرخ بهره‌های متفاوت بر ارزش حال خالص سیستم خورشیدی و پتانسیل اقتصادی مربوطه در این قسمت تحلیل می‌شود. در پایان نیز نتیجه‌گیری مطالب ارائه می‌شود.

۲. تحلیل بازار انرژی

۲-۱. کل انرژی اولیه

ایران دارای منابع عظیمی از نفت و گاز است. منابع نفتی اثبات شده در ایران ۹ درصد و منابع گاز طبیعی بیشتر از ۱۵ درصد ذخایر اثبات شده جهانی را تشکیل می‌دهند. همچنین ایران پتانسیل‌هایی از منابع دیگر انرژی مانند زغال‌سنگ زیست‌توده[4]، پتانسیل برق آبی، انرژی باد و خورشید، و زمین‌گرمایی و دیگر انواع انرژی‌ها را داراست.

سبد عرضه انرژی اولیه ایران شامل نفت، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، زیست‌توده جامد (زغال‌چوب، چوب و غیره) برق آبی، انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشید و باد) و در آینده نزدیک انرژی هسته‌ای است.

نمودار ۱ نشان می‌دهد که ۹۸ درصد انرژی تولید شده در ایران متعلق به نفت و گاز طبیعی است. قسمتی از این تولیدات، به خارج صادر می‌شود و در عین حال مقادیری انرژی (فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی) نیز وارد کشور می‌گردد.

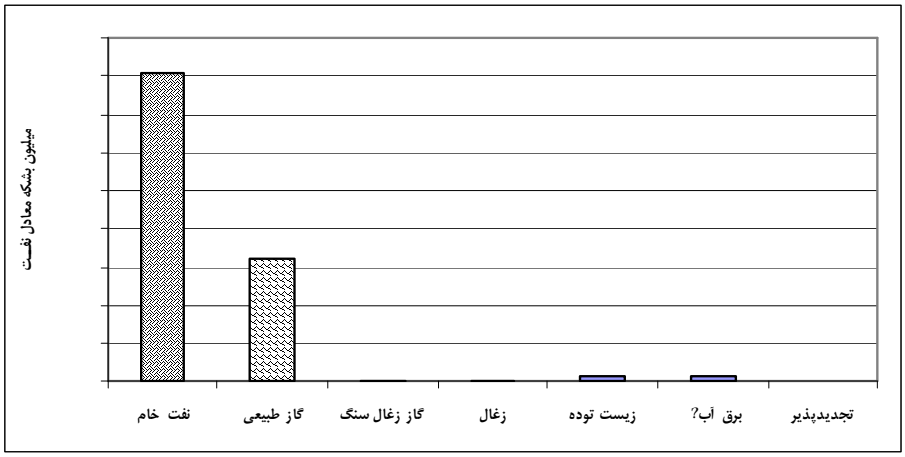
همانطوری‌که نمودار ۲ نشان می‌دهد عرضه انرژی اولیه‌خالص به‌داخل برای مصارف داخلی عمدتا نفت و گاز است و گاز سهم بالاتری را به خود اختصاص داده است.عرضه انرژی اولیه به داخل در حدود ۱۲۵۵/۸ میلیون بشکه معادل نفت (۳/۴ میلیون بشکه معادل نفت در روز) است. عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر فقط در حدود ۰/۱ میلیون بشکه معادل نفت در سال ۱۳۸۴ بوده است.

1 . Accounting
2. Net Present Value (NPV)
3. Internal Rate of Return (IRR)
4. Bionas

www.SID.ir

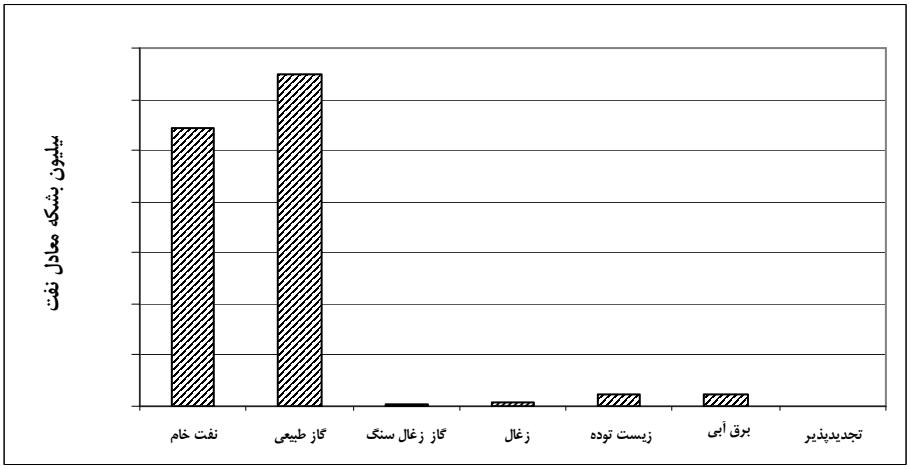
Archive of SID

نمودار ۱. تولید حامل‌های انرژی در سال ۱۳۸۴



منبع : وزارت نیرو، ترازنامه انرژی ایران سال ۱۳۸۵

نمودار ۲. عرضه انرژی اولیه به داخل در سال ۱۳۸۴



منبع : وزارت نیرو، ترازنامه انرژی ایران سال۱۳۸۵

۲ـ۲. تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران

در گروه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران می‌توان از انرژی خورشیدی، برق آبی، برق بادی و زمین گرمایی نام برد. جدول ۱ پروژه‌های خورشیدی برای تولید برق،

www.SID.ir

Archive of SID

و جدول ۲ اطلاعات مربوط به تولید برق خورشیدی را از ابتدا تاکنون نشان می‌دهد.

جدول ۱. پروژه‌های تولید برق خورشیدی در ایران

پروژه	ظرفیت کیلووات	تکنولوژی	تولید برق کیلووات ساعت	سال ساخت	اتصال شبکه
تهران	۵	فتوولتاییک	۶۷۰۰	۲۰۰۲	متصل
تهران	۳۰	فتوولتاییک	۱۲۲۰۰۰	۲۰۰۲	متصل
دربید یزد	۵	فتوولتاییک		۱۹۹۳	غیرمتصل
سمنان –سرکویر	۲۷	فتوولتاییک		۱۹۹۴	غیرمتصل
دربید یزد فاز ۲	۱۲	فتوولتاییک	۱۲		غیرمتصل
سمنان سرکویر فاز۲	۹۷	فتوولتاییک	۹۷		متصل
طالقان	۴۵	فتوولتاییک	۴۵	۲۰۰۰	غیرمتصل
شیراز	۲۵۰	سهموی‌خطی‌حرارتی	۲۵۰	۲۰۰۶	متصل

ماخذ: وزارت نیرو، ترازنامه انرژی، ۱۳۸۵

جدول ۲. تولید برق خورشیدی در ایران از سال ۱۹۷۷ تا ۲۰۰۵

سال	۵ کیلووات فتوولتاییک	۳۰ کیلووات فتوولتاییک	دربید یزد	سمنان	کل
۱۹۷۷				۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰
۱۹۹۸				۲۱۰۰۰	۲۱۰۰۰
۱۹۹۹				۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
۲۰۰۰			۱۲۴۰۰	۷۳۰۰۰	۸۵۴۰۰
۲۰۰۱			۱۴۱۰۰	۹۶۰۰۰	۱۱۰۱۰۰
۲۰۰۲	۱۵۰۰	۲۲۰۰۰	۱۱۱۰۰	۱۴۵۰۰	۴۹۱۰۰
۲۰۰۳	۲۲۰۰	۴۵۰۰۰	۱۰۸۰۰	۶۳۴۵۰	۱۲۱۴۵۰
۲۰۰۴	۳۰۰۰	۴۵۰۰۰	۸۹۰۰	۸۳۳۰۰	۱۴۰۲۰۰
۲۰۰۵		۱۰۰۰۰	۱۸۰۰۰	۲۵۰۰۰	۵۳۰۰۰

ماخذ: وزارت نیرو، ترازنامه انرژی، ۱۳۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

از سیستم‌های خورشیدی برای مقاصد گرمایشی نیز استفاده می‌شود. سیستم‌های خورشیدی برای ایجاد حمام‌های خورشیدی ، و نیز پیش گرمایش آب برای سیستم‌های هیبردی (تلفیقی) در واحدها و ساختمان‌های تجاری و همینطور برای گرمایش خانه‌ها استفاده می‌شود. جدول ۳ اطلاعات مربوط به تعداد واحدهای گرمایشی خورشیدی نصب شده توسط وزارت نیرو در شهرهای مختلف برحسب تکنولوژی‌های مختلف را در بر دارد. وزارت نفت و وزارت نیرو به‌ترتیب ۱۰۴۱ و ۲۷۴۰ واحد گرمایش خورشیدی را تاکنون نصب کرده‌اند. جدول ۴ اطلاعات مربوط به حمام‌های خورشیدی عمومی و خانگی را که توسط وزارت نفت نصب شده‌اند، نشان می‌دهد. این وزارت‌خانه ۲۱۵ هزار حمام خورشیدی خانگی را که هریک برای ۴ نفر در روز مناسب باشند و ۱۰۰۰ حمام خورشیدی عمومی مناسب برای ۱۰۰ نفر در روز را نصب نماید.

جدول ۳. حمام‌های خورشیدی نصب شده در ایران بوسیله وزارت نیرو

پروژه	تعداد حمام‌های نصب شده	مساحت کلکتور (متر مربع)	تکنولوژی
زاهدان	۱۰۰	۴۰۰	ترموسیفون (لوله مسی)
	۱۱۵	۴۶۰	ترموسیفون (لوله آلومینیومی)
	۱۱۸	۴۷۲	ترموسیفون (لوله مسی)
یزد	۵۰	۲۰۰	ترموسیفون (لوله مسی)
	۵۰	۲۰۰	ترموسیفون (لوله آلومینیومی)
	۵۷	۲۲۸	پمپی
	۵۰	۲۰۰	لوله شیشه ای
خراسان	۱۰۰	۴۰۰	ترموسیفون (لوله مسی)
	۳۰	۱۲۰	ترموسیفون (لوله آلومینیومی)
سمنان	۲۱	۸۴	پمپی
یزد، طبس، بجنورد، زاهدان، بوشهر*	۳۵۰	۱۴۰۰	ترموسیفون

* این واحدها دارای دو جمع کننده خورشیدی مسطح به مساحت ۲ متر مربع هستند و ۲۰۰ متر مربع آب را در خود جای می‌دهند، همچنین دارای تانکر ذخیره آب و ترموسیفون برای کنترل جریان آب می‌باشند.

مأخذ : ترازنامه انرژی ، وزارت نیرو ، سال ۱۳۸۴

www.SID.ir

Archive of SID

۲ـ۳. سیاست‌های تشویقی دولت

برمبنای چهارمین برنامه پنج ساله توسعه اقتصادی سهم انرژی‌های تجدید پذیردر کل ظرفیت نصب‌شده برق باید به‌سطح ۱٪ تا سال ۱۳۸۸ برسد. اگر کل‌ظرفیت برق نصب شده به حدود ۵۰،۰۰۰ مگاوات برسد سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نیز باید به ۵۰ مگاوات برسد.

میزان درخواست برای نصب انرژی‌های تجدید پذیر از طرف بخش خصوصی به سطح ۱،۷۰۰ مگا وات رسیده است و تاکنون به ۳۵۰ مگاوات آن اجازه نصب داده شده است (آرمودلی، ۱۳۸۶).

کار روی انرژی‌های تجدید پذیر اولین بار در ایران در سال ۱۳۵۴ توسط وزارت نیرو با اقدام روی پروژهٔ زمین گرمایی آغاز شد. به‌همین منظور ادارهٔ انرژی‌های تجدیدپذیر توسط وزارت نیرو در سال ۱۳۷۲ برای توسعهٔ این انرژی‌ها راه‌اندازی شد. سه سال بعد یک شرکت دولتی با نام سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر(سانا) زیرنظر وزارت نیرو به بهره‌برداری رسید (سانا، ۱۳۸۷). این شرکت مانند یک شرکت خصوصی عمل نموده و در سال ۱۳۷۹ حدود ۵۰ شرکت خصوصی را برای کار در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر ترغیب نمود.

در سومین برنامه توسعه اقتصادی پنج ساله که در سال ۱۳۸۳ تصویب شد، تبصره ۶۵ مقرراتی را برای تولید برق از منابع تجدید پذیر در نظر گرفت. این تبصره در برنامهٔ توسعه اقتصادی چهارم مجدداً تکرار شد (۱۳۸۸ ـ ۱۳۸۳). بر مبنای این تبصره قانونی، وزارت نیرو موظف است برق تولید شده توسط نیروگاههای برق انرژی‌های تجدید پذیر را بر مبنای یک قیمت تضمین شده خریداری نماید.این قیمت‌ها بالاتر از سطح قیمت‌های یارانه‌ای رایج تعیین شده‌اند تا سود اقتصادی برای بخش خصوصی را تضمین کند. قیمت‌های تصویب شده به شرح جدول ۴ می‌باشند.

جدول ۴. قیمت های مصوب تبصره ۶۵ برنامه سوم توسعه برای تولید برق از منابع تجدید پذیر

دوره	ریال / کیلو وات ساعت	سنت آمریکا / کیلووات ساعت
حداکثر بار	۶۵۰	۷/۲۲
بارمعمولی	۶۵۰	۷/۲۲
بار پایین	۴۵۰	۵

1. Peak
2. Off peak

www.SID.ir

Archive of SID

تبصره ۶۵، تولید برق از منابع تجدیدپذیر را پشتیبانی می‌کند ولی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای منظورهای دیگر مانند گرم کردن آب (حمام‌های خورشیدی و گرم‌کننده‌های آب خورشیدی) توسط سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور مورد حمایت قرار می‌گیرد. این سازمان کمک‌های مالی بلاعوض برای نصب حمام‌های خورشیدی روستایی پرداخت می‌نماید.

جدول ۵. حمام‌های خورشیدی عمومی و آبگرمکن‌های خورشیدی در ایران

استان	تعداد آبگرمن‌های خورشیدی / خانگی	تعداد حمام‌های خورشیدی عمومی	سطح کلکتور خورشیدی (مترمربع)
اصفهان	۲۰	۲۰	۱۸۴۰
بوشهر	–	۱	۹۲
تهران	۲۰۲۹	۱	۹۲
خراسان شمالی	–	۳۲	۲۹۴۴
خراسان رضوی	۲۹۷	۱۵۴	۱۴۱۵۶
خراسان جنوبی	۸۰	۴۳	۳۹۵۶
خوزستان	۱۵۷	–	–
سمنان	۵	۲۷	۲۴۸۴
سیستان و بلوچستان	۲۰	–	–
فارس	۱	–	–
قزوین	–	۱	۹۲
کردستان	۲	–	–
کرمان	۴۰	–	–
مازندران	۴۸	–	–
هرمزگان	۱۲	–	–
همدان	۱	–	–
یزد	۲۸	۱۵	۱۳۸۰
کل	۲۷۴۰	۲۹۴	–

مأخذ: ترازنامه انرژی ایران، وزارت نیرو، سال ۱۳۸۵

www.SID.ir

Archive of SID

گر چه سیاست‌های حمایتی و تشویقی برای به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد اما یک روش بازار محور مورد نیاز است که بر اساس آن قیمت سوخت‌های فسیلی افزایش یابند و یارانه‌های آنها حذف شود. در عین حال بر اساس این روش بازار محور، وام‌ها و کمک‌های مالی برای پروژه‌های انرژی‌های تجدید پذیر در نرخ‌های ترجیحی پرداخت گردند.

در بخش بعدی پتانسیل انرژی خورشیدی حرارتی در ایران برآورد می‌شود. در این بخش نشان داده می‌شود که قیمت‌های جاری سوخت‌های فسیلی بر پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی اثر می‌گذارد. همچنین نشان داده می‌شود که با نرخ بهره پایین‌تر برای پروژه‌های خورشیدی و نیز قیمت‌های بالاتر برای سوخت‌های فسیلی ، پتانسیل اقتصادی افزایش می‌یابد.

۳. پتانسیل خورشیدی حرارتی در ایران

۳-۱. روش شناسی

برای محاسبه پتانسیل انرژی حرارتی خورشیدی در ایران لازم است تفکیکی بین پتانسیل فنی و اقتصادی صورت گیرد. بدین منظور از یک روش حسابداری برای محاسبه پتانسیل فنی استفاده شده و سپس از کل مساحت کشور، محدودیت‌های طبیعی، بیابان‌ها، دریاها، کوهها و مراتع و جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی کسر می‌گردد تا مساحت‌هایی که بطور فنی می‌توان واحدهای خورشیدی را نصب نمود، حاصل گردد. این مساحت در میزان متوسط تابش خورشیدی در سال ضرب و دوباره در ضریب راندمان واحد خورشیدی ضرب می‌گردد تا پتانسیل فنی حاصل گردد.

پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی تحت تاثیر متغیرهای زیادی از جمله قیمت سوخت‌های فسیلی، نرخ بهره بانکی برای پروژه‌های خورشیدی، دسترسی به تکنولوژی واحدهای خورشیدی و راندمان آنها قرار دارد. با در نظر گرفتن قیمت برق در بخش تجاری، ارزش حال خالص یک سیستم حرارتی خورشیدی در تهران محاسبه شده و نشان داده می‌شود که این سیستم حتی در نرخ‌بهره سالیانه ۱۴٪ از لحاظ اقتصادی با صرفه است. این امر نشان می‌دهد که انرژی حرارتی خورشیدی به راحتی می‌تواند در بخش تجاری یک انرژی رقابتی تلقی شود. مصرف انرژی حرارتی این بخش از کل انرژی مصرفی در همین بخش برای برآورد میزان پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲. برآورد پتانسیل انرژی حرارتی خورشیدی در ایران

پتانسیل فنی انرژی حرارتی خورشیدی عبارت است از کل امکانات بهره‌گیری از تابش خورشید با استفاده از تکنولوژی فعلی در دسترس با راندمان مشخص بدون در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و نزدیکی به بازار مصرف.

مقدار خالص کل پتانسیل فنی، مقداری است که موانع طبیعی را در محاسبات کسر می‌نماید. مثلاً مساحت کوهها، جنگل‌ها، بیابان‌ها، دشت‌ها، مزارع کشاورزی، مراتع، رودخانه و غیره از کل مساحت قابل استفاده برای نصب واحدهای خورشیدی کسر می‌شود. اما پتانسیل اقتصادی انرژی حرارتی خورشیدی آن بخش از پتانسیل فنی است که به لحاظ اقتصادی دارای صرفه است و در نزدیکی بازار مصرف قرار دارد.

۳-۳. برآورد پتانسیل فنی

برای محاسبه پتانسیل فنی از مفروضات و اطلاعات مربوط به ایران به شرح زیر استفاده می‌شود:

- تابش سالیانه خورشیدی (مناطق مرکزی ایران): ۷/۷ ساعت در روز یا ۲۸۰۰ ساعت در سال.
- متوسط تابش خورشید : ۱۹/۲۳ مگا ژول در متر مربع در روز (۵/۳ کیلو وات متر مربع در روز)
- متوسط تابش خورشیدی سالیانه: ۲۰۰۰ کیلو وات ساعت در متر مربع
- راندمان واحد حرارتی خورشیدی ۳۵٪
- پتانسیل فنی انرژی حرارتی خورشیدی بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S = h' f.sqm$$

که در آن S میزان تابش خورشیدی جذب شده توسط واحد حرارتی خورشیدی در سال است و مبین پتانسیل فنی انرژی حرارتی خورشید است. ضریب h متوسط راندمان انرژی برای دستگاه انرژی خورشیدی حرارتی مورد استفاده(۳۵٪) و f میزان تابش خورشیدی در هر متر مربع(۵/۳ کیلووات متر مربع در روز) است. همچنین Sqm بیانگر مساحت قابل استفاده برای نصب سیستم‌های خورشیدی حرارتی است.

مساحت قابل دسترس برای نصب سیستم‌های حرارتی خورشیدی را می‌توان براساس جدول ۶، برآورد کرد. در واقع پتانسیل فنی ناخالص با لحاظ کل مساحت کشور برآورد می‌شود. اما پتانسیل خالص فنی فقط، مساحت‌های ممکن برای استفاده از

www.SID.ir

Archive of SID

سیستم‌های خورشیدی را در نظر می گیرد.

جدول ۷ با در نظر گرفتن کلیه مفروضات و ملاحظات ذکر شده پتانسیل فنی انرژی خورشیدی حرارتی را برآورد می‌نماید.

میزان کل پتانسیل فنی خالص انرژی حرارتی خالص در ایران برابر با ۹۱۰۰۰ تراوات است، در حالی که کل ظرفیت نصب شده نیروگاههای کشور در سال ۱۳۸۴ برابر با ۴۱ تراوات می‌باشد. ملاحظه می‌شود که پتانسیل فنی قابل استفاده در سطح بسیار بالایی قرار دارد.

جدول ۶. برآورد مساحت قابل استفاده برای نصب سیستم‌های خورشیدی

واحد : هزار کیلومتر مربع

	کل ایران	زمین کشاورزی	جنگل	مرتع	بیابان	دریاها	بقیه
مساحت	۱۶۴۸	۱۷۶	۱۴۲	۸۶۱	۳۲۵	۱۲	۱۳۰
سهم ٪	۱۰۰	۱۰/۷	۸/۶	۵۲/۲	۱۹/۸	۰/۷	۷/۹

مأخذ : مرکز آمار ایران ، سال ۱۳۸۶ www.sci.org.ir

جدول ۷. برآورد پتانسیل فنی انرژی حرارتی خورشیدی

پتانسیل فنی	میلیون تراوات
کل پتانسیل ناخالص : ۱۰۰٪ راندمان دستگاه خورشیدی	۳/۳
پتانسیل خورشیدی خالص با کسر موانع طبیعی، زمین‌های کشاورزی،... و فرض راندمان ۳۵٪ برای دستگاههای خورشیدی	۰/۰۹۱

۳-۴. برآورد پتانسیل اقتصادی

جهت برآورد میزان پتانسیل اقتصادی قابل دسترس از انرژی حرارتی خورشیدی، از تحلیل اقتصادی برای به‌کارگیری یک واحد حرارتی خورشیدی در تهران برای یک واحد مسکونی به‌همراه سایر مفروضات یعنی نرخ جاری بهره بانکی و قیمت‌های فعلی سوخت‌های فسیلی، استفاده می‌شود.

یک سیستم خورشیدی حرارتی با مساحت کل ۹ متر مربع برای یک واحد مسکونی دو طبقه با ظرفیت ۴۰۰ لیتر آب در تهران در نظر گرفته‌شده است. جدول ۸ فرض مربوط به‌این سیستم خورشیدی را به‌همراه سایر اطلاعات ارائه می‌نماید.

بر اساس اطلاعات جدول ۸ خالص ارزش حال (NPV) و نرخ بازده داخلی (IRR)

www.SID.ir

Archive of SID

این سیستم خورشیدی محاسبه شده است. نرخ بهره سالیانه در حد نرخ بهره‌جاری بانکی در سطح ۱۴درصد در نظر گرفته شده‌است. نمودارهای ۳ و ۴ مقدار NPV و IRR این سیستم خورشیدی را با در نظر گرفتن قیمت‌های مختلف برق نشان می‌دهد.

قیمت برق در بخش‌های مختلف ایران متفاوت است. ارزانترین قیمت برای بخش کشاورزی است که معادل ۲ سنت در هر کیلووات ساعت است و بیشترین قیمت برای مصارف تجاری است که برابر با ۵ سنت در هر کیلو وات ساعت است. همانگونه که نمودار ۳ نشان می‌دهد، در این دامنهٔ قیمت برق، پروژه‌های انرژی خورشیدی حرارتی فقط در قیمت‌های بالای ۳/۵ سنت در هر کیلو وات ساعت اقتصادی است.

نمودار ۴ مقدار نرخ بازده داخلی طرح را در قیمت‌های برق نشان می‌دهد. برای قیمت‌های برق بالاتر از ۳/۵ سنت در هرکیلو وات ساعت نرخ بازده داخلی بیشتر از بهرهٔ بانکی‌است. اگر چنانچه بالاترین قیمت‌برق در ایران که مربوط به‌بخش تجاری است (یعنی ۵ سنت در هر کیلو وات ساعت) را در نظر بگیریم، نرخ بازده داخلی ۲۳٪ برآورد می‌شود.

جدول ۸. مفروضات مربوط به یک سیستم خورشیدی حرارتی

شرح	مقدار	واحد
هزینه سرمایه گذاری	۱۵۸۸	دلار
عمر مفید سیستم	۲۵	سال
نرخ بهره بانکی	۱۴	درصد
هزینه‌های عملیاتی*	۱	درصد از سرمایه‌گذاری اولیه
نرخ تبدیل دلار / ریال	۹۰۰۰	ریال برای هر دلار آمریکا
سه کلکتور خورشیدی با سطح ۹ متر مربع و ظرفیت ۴۰۰ لیتر آب	۶/۳۱	مگاوات ساعت در سال
قیمت برق: برای مقاصد تجاری	۵	سنت در کیلووات ساعت
قیمت برق : برای مقاصد عمومی	۲	سنت در کیلووات ساعت
قیمت برق : برای مقاصد خانگی	۱/۱	سنت در کیلووات ساعت
قیمت برق : متوسط کل	۱/۷	سنت در کیلووات ساعت

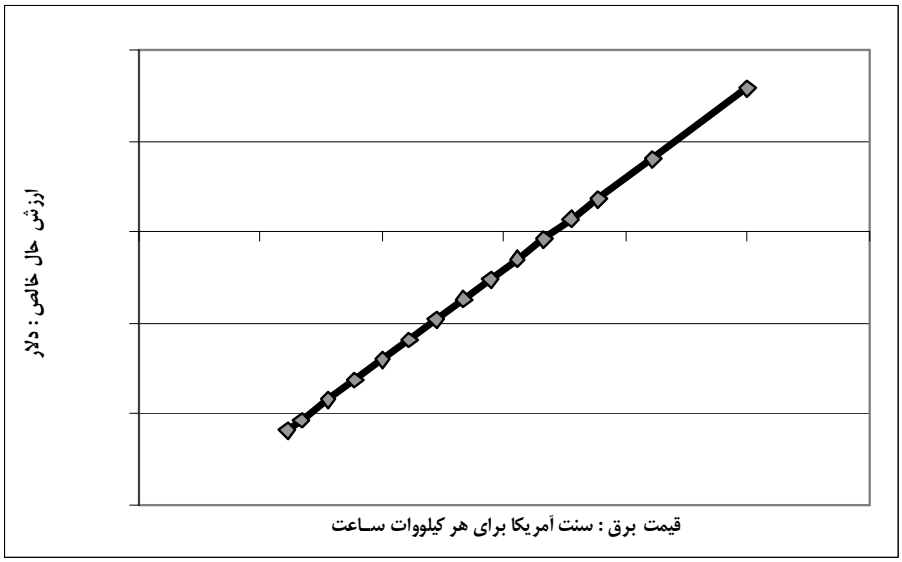
ماخذ: وازرت نیرو،سال ۱۳۸۷، ۲۰۰۵ CEERS،توانیر ۲۰۰۸

* هزینه‌های عملیاتی با توجه به نیاز برای پاک کردن کلکتورهای خورشیدی، رسوب‌گیری احتمالی، تعمیرات احتمالی و ...در مواردی می‌تواند بیش از یک درصد سرمایه‌گذاری اولیه باشد. اثر این متغیر در نمودار تارعنکبوتی قابل بررسی است. در ضمن به‌دلیل وجود تورم پولی در ایران، قیمت برق و نیز نرخ بهره به‌صورت اسمی در نظر گرفته شده‌اند. این نکته هم قابل ذکر است که چون سیستم آب‌گرم‌کن خورشیدی در فاصله زمانی کوتاهی نصب‌و راه‌اندازی می‌شود، نیازی به‌لحاظ کردن نرخ تورم درمحاسبات هزینه نیست.

www.SID.ir

Archive of SID

نمودار ۳. ارزش حال خالص سیستم خورشیدی حرارتی در ایران



نمودار ۴. نرخ بازده داخلی برای پروژه حرارتی خورشیدی در ایران

www.SID.ir

Archive of SID

با این تفاسیر سیستم‌های حرارتی خورشیدی در ایران برای همه بخش‌های اقتصادی صرفه اقتصادی ندارد. چرا که قیمت حامل‌های انرژی در بخش‌های اقتصادی دارای یارانه بالایی هستند . فقط در بخش تجاری که قیمت برق در سطح بالاتری قرار دارد، تولید انرژی از سیستم خورشیدی به‌صرفه‌تر است. البته با این فرض ضمنی که در شرایطی که گرمایش آب با برق تولیدی از سوخت فسیلی صورت پذیرد، سیستم خورشیدی نیز قابلیت رقابت در بخش تجاری را دارد.

به همین دلیل با در نظر گرفتن مقدار انرژی مصرفی برای مقاصد گرمایشی در بخش تجاری می‌توان میزان پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران را برآورد نمود.

کل مصرف فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی در بخش خانگی تجاری که عمدتاً برای مصارف گرمایشی استفاه می‌شود برابر با ۳۱۳/۲ میلیون بشکه معادل نفت در سال ۱۳۸۴ بوده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۵) که این برابر با ۶۰/۷ میلیون کیلووات (ظرفیت معادل برق) در سال است. این مقدار معادل ۰/۰۶۷ درصد از کل پتانسیل فنی برآورد شده در ایران است. به عبارت دیگر، کل پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی گرمایشی در ایران در شرایط کنونی و با مفروضات ذکر شده، معادل حدود ۶۰ میلیون کیلو وات ظرفیت معادل برق است.

سیاستگذاران انرژی کشور می‌توانند توسعه سیستم‌های خورشیدی حرارتی را با تخصیص کمک‌های مالی از طریق اعطای وام‌های با بهره پایین تشویق نمایند.

با تخصیص نرخ‌های پائین بهره برای سیستم‌های حرارتی خورشیدی، پتانسیل اقتصادی بهره‌گیری از انرژی خورشیدی افزایش می‌یابد.

نمودارهای ۵ و ۶ اثر نرخ بهره بر NPV پروژه خورشیدی حرارتی را در ایران نشان می‌دهند. نمودار ۵ نشان‌دهنده این است که نرخ بهره از سمت چپ به راست کاهش می‌یابد و در همین راستا ارزش حال خالص افزایش می‌یابد.

همانگونه که مشاهده می‌شود، در قیمت‌های جاری برق برای مقاصد عمومی (یعنی ۲ سنت در کیلو وات ساعت) و نرخ بهره جاری بانکی (۱۴٪)، مقدار ارزش حال خالص سیستم منفی است.

مقدار ارزش حال خالص پروژه در نرخ بهره ۵/۶٪ به صفر نزدیک می‌شود. در هر نرخ بهره‌ای پایین تر از این نرخ بهره ، مقدار NPV مثبت می‌شود و سیستم‌های گرمایشی

www.SID.ir

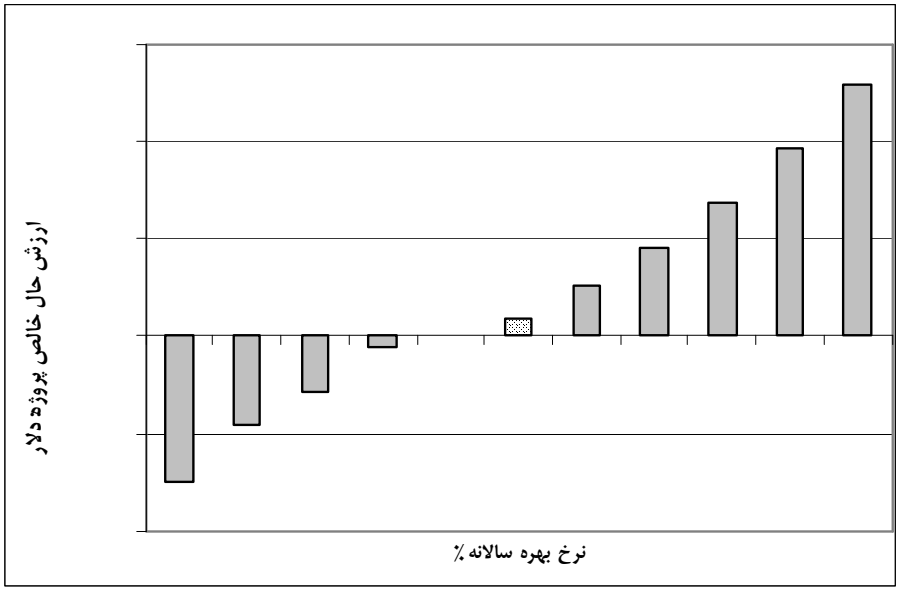
Archive of SID

خورشیدی بصورت اقتصادی توجیه پذیر می‌گردند. بنابر این سیستم‌های خورشیدی حتی برای بخش عمومی که قیمت برق در آن یارانه‌ای است می‌تواند توجیه اقتصادی داشته باشد که این در جای خود باعث افزایش پتانسیل اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در کشور می‌شود.

اگر به دلایل سیاسی ـ اجتماعی حذف یارانه انرژی‌های فسیلی برای تشویق بیشتر انرژی‌های تجدید پذیر در شرایط کنونی ممکن نیست، پس می‌توان نرخ‌های ترجیحی بهره به این پروژه‌ها اختصاص داد. بنابراین حتی در شرایط یارانه‌ای بودن قیمت انرژی‌های فسیلی، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر امکان‌پذیر است.

نمودار تارعنکبوتی برای نمایش درصد تغییر در ارزش حال خالص پروژه در شکل ۷ ارائه شده است. اثر ۱۰ درصد افزایش و کاهش در مقدار متغیرهای مهم همچون نرخ بهره، هزینه سرمایه‌گذاری، قیمت برق و هزینه‌های متغیر پروژه بر ارزش حال خالص پروژه نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که قیمت برق بیشترین اثر و هزینه‌های متغیر پروژه کمترین اثر را داشته‌اند. همچنین متغیرهای هزینه سرمایه گذاری و نرخ بهره نیز اثرات بالایی بر ارزش حال خالص پروژه دارند.

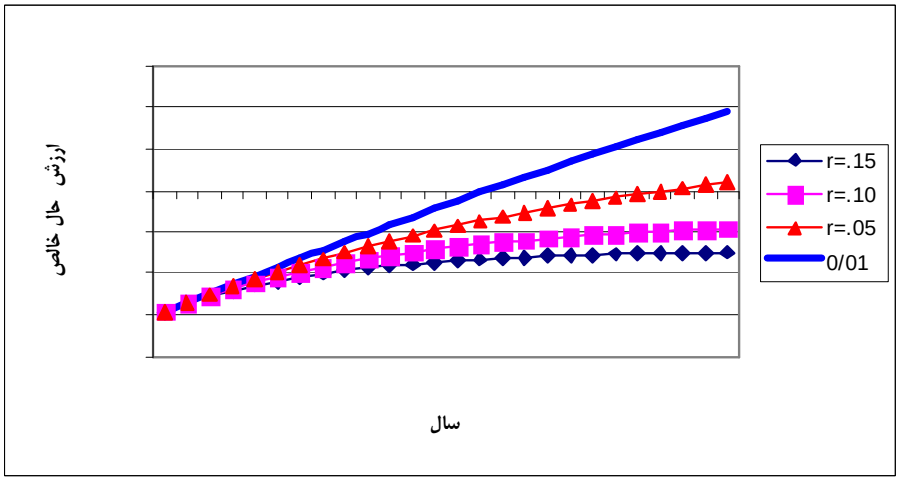
نمودار ۵. اثرات نرخ بهره بر خالص ارزش حال سیستم‌های خورشیدی حرارتی در ایران



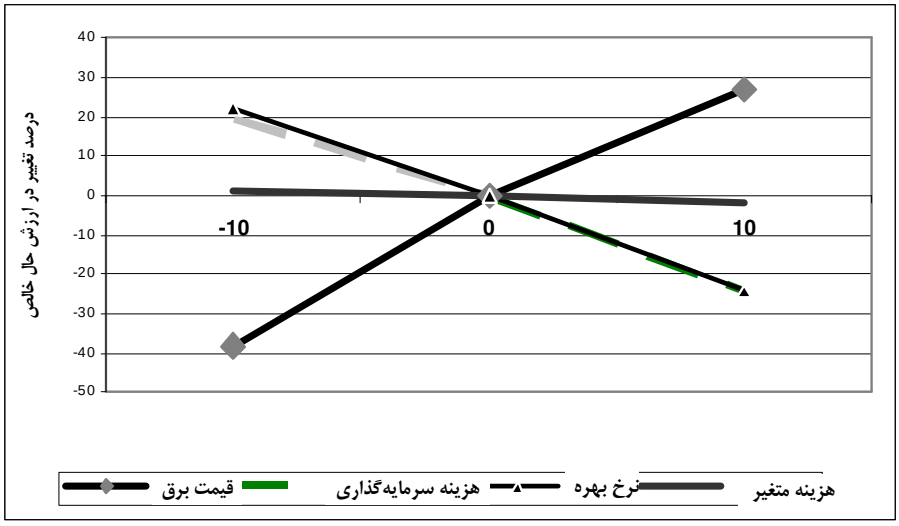
www.SID.ir

Archive of SID

نمودار ۶. مقدار انباشتی خالص ارزش حال در واکنش به تغییرات نرخ بهره برای سیستم‌های خورشیدی حرارتی در ایران



نمودار ۷. نمودار تارعنکبوتی برای تحلیل حساسیت



۴. نتیجه‌گیری

گر چه ایران به عنوان یک کشور پیشرو در بین کشورهای صادرکننده نفت حوزه خلیج فارس در زمینه توسعه انرژی‌های تجدید پذیر تلقی می‌شود، اما همچنان از بسیاری از

www.SID.ir

Archive of SID

کشورهای موفق در این زمینه فاصله دارد.

در حال حاضر ایران از انرژی‌های باد، خورشیدی (برق و حرارتی)، زیست‌توده و برق آبی استفاده می‌نماید و در تلاش است که از انرژی زمین گرمایی نیز بهره‌گیرد. همچنین در زمینه دیگر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر نیز کارهای مطالعاتی و تحقیقاتی را در دست دارد. اما به‌دلیل اینکه بازار انرژی در ایران یک بازار کنترل شده است، انرژی‌های فسیلی از یارانه بالایی برخوردار هستند که همین امر یکی از موانع اصلی برسر راه توسعه انرژی‌های تجدید پذیر است.

به هر جهت سیاستگذاران انرژی یک راه حل بهینه دوم را در شرایط وجود یارانه انرژی‌های فسیلی ارایه نموده‌اند که بر اساس آن می‌توان تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر را با شرایط موجود در کشور بومی‌سازی کرد تا بعدا در شرایط آزادسازی قیمت سوخت‌های فسیلی، کشور از لحاظ تکنولوژیکی آمادگی توسعه سریع این نوع انرژی‌ها را داشته باشد. خرید برق در قیمت‌های تضمینی و نیز پرداخت کمک‌های بلاعوض برای پروژه‌های خورشیدی حرارتی از جمله این سیاست‌های حمایتی است.

ایران دارای پتانسیل فنی زیادی از انرژی‌های تجدیپذیر است. ولی برای تبدیل شدن این پتانسیل فنی به پتانسیل اقتصادی لازم است یک راهکار بازار ـ محور ارایه شود که در آن توسعه انرژی‌های تجدید پذیر به‌صورت پایدار و توسط بخش‌های خصوصی و دولتی توسعه یابد.

بنابر این سیاستگذاران انرژی به منظور تقویت امنیت عرضه انرژی کشور باید در چارچوب راهکار بازار محور ، به تدریج یارانه‌های سوخت‌های فسیلی را حذف نموده و بعلاوه مالیات بر مصرف این سوخت‌ها را (حتی در سطح پائین) وضع نمایند و از طرف دیگر نرخ بهرهٔ ترجیحی را برای پروژه‌های تجدید پذیر در نظر گیرند. در چنین شرایطی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت پایدار خواهد شد و در جای خود باعث می‌شود تا نفت و گاز بیشتری برای صادرات و کسب درآمدهای فروش انرژی فراهم گردد. لازم است مطالعات بیشتری برای برآورد دقیقتر پتانسیل‌های فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی صورت پذیرد. با روش مدل‌سازی پائین ـ به بالا[1] که کلیه آپارتمان‌های دو طبقه و خانه‌های مسکونی و واحدهای تجاری در مناطق روستایی و شهری شامل آن می‌شود، می‌توان پتانسیل فنی و اقتصادی را به‌طور دقیق‌تری تخمین زد.

1 . Bottom-UP

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

۱. آرمودلی یوسف، ۱۳۸۶ ، انرژی تجدیدپذیر راه‌حل بشر برای آینده، *اقتصادی انرژی* شماره ۹۷ ، انجمن اقتصاد انرژی ایران.

۲. بانک مرکزی ج. ا. ا. ، ۱۳۸۷، بانک اطلاعات اقتصادی، www.cbi.ir

۳. توانیر ۱۳۸۷، قیمت برق بر حسب بخش‌های مختلف، www.tavanir.org.ir

۴. رازدان، مهسا، ۱۳۸۵، سیاست‌های بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر غیر برق آبی در کشورهای منتخب و جایگاه ایران. *فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۱ فصل سوم (www.iice.org)

۵. سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور ۱۳۷۶، www.ifco.ir

۶. سانا، ۱۳۸۷، www.Suna.org.ir

۷. مرکز آمار ایران، ۱۳۸۷، سالنامه آماری ایران در سال ۱۳۸۶، www.sci.org.ir

۸. وزارت نیرو، ۱۳۸۵، ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۸۴

9. BP, 2006, Statistical Review of world Energy.

10. CEERS "Center for environment and energy research and studies", 2005, Climate Poling and sustainable development. Opportunities for Iranian – German Cooperation.

11. Maztraati Mohammad, 2007, oil demand in Transportation sector in Iran: on efficiency and income. Asymmetric Modeling approach, OPEC Review, Vol. 31, No. 4 , PP 261-280.

www.SID.ir