

بررسی قیمت تمام شده و تعرفه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر در ایران

مهدی بریمانی^۱، دکتر عبدالرزاق کعبی نژادیان^۲

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد انرژی، شرکت برق منطقه ای مازندران، m.barimani@mazrec.co.ir

۲. سازمان انرژی های ایران (سانا)، Kaabi@iranenergy.org.ir

چکیده

خصوصی سازی و تجدید ساختار صنعت برق از اقدامات مهم تحقق توسعه پایدار شناخته شده است. همچنین جلب سرمایه گذار خصوصی به بخش تولید برق از طریق انرژی های تجدیدپذیر نیز از عوامل تحقق انرژی پایدار می باشد. با عنایت به شناخت سیاست تعرفه خرید تضمینی به عنوان کاربردی ترین سیاست جلب سرمایه گذار بخش خصوصی در بخش برق تجدیدپذیر، در این مقاله با محاسبه و تحلیل حساسیت هزینه های نهایی تولید واحد برق تجدیدپذیر در ایران با هدف جلب سرمایه گذار بخش خصوصی و به تبع آن افزایش سهم برق تجدیدپذیر در سبد انرژی ایران، تحقق انرژی پایدار و توسعه پایدار، تعرفه های خرید تضمینی بطور مجزا برای برق تجدیدپذیر (بادی، خورشیدی و برق آبی) ارائه شده است. روش تحقیق آنالیز هزینه فایده می باشد و کلیه محاسبات در این مقاله با نرم افزار ارزیابی اقتصادی پروژه های صنعتی COMFAR که یک برنامه انعطاف پذیری برای ارزیابی مالی و اقتصادی پروژه های صنعتی سرمایه ای برحسب استانداردهای ملی و بین المللی می باشد، محاسبه شده است.

کلید واژگان: برق تجدید پذیر، هزینه های نهایی تولید واحد برق تجدیدپذیر، تحلیل حساسیت، تعرفه خرید تضمینی





۱. مقدمه

در راستای اجرای اصل ۴۴ قانون اساسی ایران [۱]، اصلاح ساختار اقتصادی و مشارکت بخش خصوصی در فعالیت های زیربنایی، از اقدامات مهم و موثر شناخته شده است. لازمه انجام این مهم در صنعت برق کشور، تجدید ساختار برای ایجاد فضای سالم رقابت، خصوصی سازی، تخصیص بهینه منابع، ارتقای سطح کیفی خدمات و به تبع آن افزایش رفاه عمومی است. تغییر ساختار و خصوصی سازی صنعت برق نیز زمانی میسر می شود که بخش خصوصی علاوه بر رضایت از سود حاصل، از شرایط سرمایه گذاری در این بخش نیز مطمئن باشد. در این شرایط اجرای سیاست حمایتی تعرفه گذاری و خرید تضمینی برق از سوی دولت می تواند اصلی ترین و مهمترین ابزارهای ایجاد شرایط مطمئن سرمایه گذاری و جذب سرمایه گذار بخش خصوصی به صنعت برق باشد. در ایران منابع مالی و وجوه سرمایه گذاری مورد نیاز صنعت برق عموماً از طریق منابع داخلی صنعت، بودجه های مکمل دولتی، استقراض رسمی از سیستم بانکی داخلی، فروش اوراق مشارکت در داخل کشور، دریافت وام و اعتبار از آژانس های چند جانبه و دو جانبه بین المللی تامین می شود. هر چند به منظور ایجاد فضای مناسب برای مشارکت بخش خصوصی در حوزه صنعت برق، اقدامات متعددی همچون بستر سازی قانونی و حقوقی، تدوین و ابلاغ مقررات و آیین نامه ها و رویه های اجرایی نیز انجام شده است که سیاست حمایتی تعرفه گذاری و خرید تضمینی برق یکی از آنهاست. این سیاست از اصلی ترین و مهمترین ابزارهایی است که در ایران برای توسعه این حوزه بکار می رود، البته این سیاست تجربه موفقی نیز در کشورهای ترکیه، کانادا، آلمان، دانمارک، آمریکا، اسپانیا و دیگر کشورهای توسعه یافته بوده است. در این تحقیق با هدف جلب سرمایه گذار بخش خصوصی و به تبع آن افزایش سهم برق تجدیدپذیر در سبد انرژی ایران، تحقق انرژی پایدار و توسعه پایدار، تعرفه های خرید تضمینی مجزا برای برق تجدیدپذیر هزینه های نهایی تولید واحد برق تجدیدپذیر هر یک از انرژی های خورشیدی، بادی و برق آبی محاسبه و تحلیل حساسیت شده است.

۲. روش تحقیق

روش تحقیق آنالیز هزینه فایده می باشد که جهت محاسبه هزینه نهایی واحد تولید یا هزینه تولید واحد برق که مبنای تعیین کننده برای تعرفه های پیشنهادی خرید تضمینی برق و نهایتاً نسبت B/C برای انجام مقایسه می باشد، از روش هزینه یکنواخت سالیانه-EUAC^۶ و در این مورد LCOE^۷ استفاده می شود. در این روش همه هزینه های تمام شده در هر سال با نرخ تنزیل (i=10) به سال پایه

محاسبه می شود و سپس بطور یکنواخت در طول عمر پروژه پخش می شود.

در این روش LCOE طبق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$LCOE=AC + O\&M + P_{vf} / E_{out}$$

AC: هزینه سالیانه سرمایه گذاری (\$))

O&M: هزینه تعمیر و نگهداری سالانه (\$))

P_{vf}: هزینه سوخت مصرفی سالانه (\$))

E_{out}: کل انرژی (الکتریکی) سالیانه ناخالص تولیدی توسط نیروگاه (Kwh)

با توجه به اینکه نرخ بهره وام مهمترین عامل در تصمیم گیری های مالی می باشد کلیه محاسبات و مقایسه ها و تحلیل ها در بهره های مختلف وام (مطابق شرایط فاینانس، صندوق ذخیره ارزی ایران، بانک های دولتی و بانک های خصوصی از ۷٪ الی ۲۵٪) [۲] صورت گرفته است لازم به یادآوری است که شرایط سرمایه گذاری با سهم تسهیلات مالی بانکی معادل ۸۵٪ و سهم آورده سرمایه گذار معادل ۱۵٪ می باشد همچنین کلیه شاخص ها در این تحقیق با هدف بررسی طرح های مطلوب و جذاب برای سرمایه گذار بخش خصوصی با حداقل نرخ برگشت سرمایه IRRE=۲۰٪ محاسبه شده است (مراجعه به ضمیمه ۱). کلیه محاسبات در این مقاله با نرم افزار ارزیابی اقتصادی پروژه های صنعتی COMFAR که یک برنامه انعطاف پذیری برای ارزیابی مالی و اقتصادی پروژه های صنعتی سرمایه ای برحسب استانداردهای ملی و بین المللی می باشد محاسبه شده است. در محاسبات شاخص های NPV، IRRE، DPB، NPB، IRR، اندازه گیری شده است. (مراجعه به ضمیمه ۲)

۳. بررسی، محاسبه و پیشنهاد تعرفه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر در ایران

اولین و موفق ترین مکانیزم توسعه انرژی های تجدیدپذیر در سراسر دنیا خرید تضمینی برق تولید شده از منابع انرژی تجدیدپذیر است. زیرا سرمایه گذار بخش خصوصی می تواند بابت مبلغ فروش برق مطمئن باشد و محاسبات امکان سنجی مالی و اقتصادی را انجام دهد که آیا سرمایه گذاری در این بخش به صرفه است یا خیر.

۶. Equivalent Uniform Annual Cost

۷. Levelized Cost of Energy

جدول ۱ نحوه محاسبه برخی پارامترهای فنی و اقتصادی

پارامتر	نحوه محاسبه
انرژی تولیدی خالص سالیانه	ضریب دسترسی × مصرف داخلی - (۱) × ظرفیت اسمی × ضریب تولید × ۸۷۶۰
مالیات	(درآمد - هزینه بهره برداری - استهلاک سرمایه - بهره وام) × ضریب مالیاتی
درآمد	تعرفه × انرژی تولیدی خالص سالیانه
استهلاک سالانه	هزینه سرمایه گذاری × عمر نیروگاه / (ضریب اسقاطی - ۱)
جریان نقدی	درآمد - هزینه تعمیرات - بازپرداخت اصل وام - بهره وام
سرمایه گذاری کل	کل هزینه اولیه + بهره دوران ساخت

۱. آیا تولید برق از طریق نیروگاه خورشیدی حرارتی در ایران توجیه پذیر است؟
۲. آیا تولید برق از طریق نیروگاه بادی در ایران توجیه پذیر است؟
۳. آیا تولید برق از طریق نیروگاه برقابی کوچک در ایران توجیه پذیر است؟

ملاحظه می شود با این تعرفه تعیین شده از سوی دولت، تولید برق از طریق نیروگاه خورشیدی حرارتی توجیه اقتصادی ندارد هر چند شاید با توجه به این تعرفه و هزینه تمام شده واحد برق تولید شده از منابع تجدیدپذیر (LCOE) در سال ۱۳۹۳ نسبت B/C این منابع به شرح جدول ۲ می باشد. لازم به یادآوری است همانطور که در محاسبات آمده، تولید برق از طریق منابع تجدیدپذیر در بهره وام ۷٪ که از صندوق ذخیره ارزی تامین مالی شود مورد توجه سرمایه گذار خصوصی قرار گرفته است لذا برای بررسی توجیه پذیری اقتصادی و ارزیابی تعرفه ها، هزینه تمام شده این منابع در بهره وام ۷٪ مورد تاکید می باشد.

جدول ۲ نسبت B/C مربوط به منابع تجدیدپذیر با تعرفه ۲۰۱۴

	بادی	برق آبی کوچک	خورشیدی حرارتی
LCOE (\$¢/kWh)	۹/۴۲	۹/۴۰	۲۰/۹۶
B/C	۱/۸۰	۲/۰۳	۰/۹۱

این تعرفه برای دو گزینه دیگر مناسب باشد. نکته بسیار مهمی که باید در تعیین تعرفه خرید تضمینی برق از تکنولوژی های مختلف

در ایران اولین تعرفه خرید تضمینی برق تجدیدپذیر با هدف توسعه انرژی های تجدیدپذیر در سال ۱۳۸۷، طبق مصوبه هیئت وزیران به شماره ۱۴۲۵۵۱/ت۴۱۱۱۳ هـ مورخ ۱۳۸۷/۸/۱۵، پایه نرخ خرید برق از نیروگاهها و تولیدکنندگان بخشهای خصوصی که طبق ماده ۶۲ قانون تنظیم بخشی از مقررات مالی دولت دارای قرارداد خرید تضمینی برق تجدیدپذیر شده (برای ساعات بار اوج و عادی $13/13 \$/kWh$ و برای ساعات کم باری $9/10 \$/kWh$) [۳] جهت عقد قرار داد ۵ ساله تعیین و ابلاغ شد. شواهد نشان می دهد این تعرفه و قیمت پایه خرید تضمینی برای سرمایه گذار خصوصی جذاب نبوده است دلیل آن عدم تمایل سرمایه گذار بخش خصوصی برای سرمایه گذاری در انرژی های تجدیدپذیر می باشد. پنج سال بعد بر اساس دستورالعمل بند ب ماده ۱۳۳ قانون برنامه پنج ساله پنجم جمهوری اسلامی ایران و رویه تعیین نرخ خرید برق از منابع انرژی های نو و پاک، نرخ پایه خرید تضمینی برق از این منابع برای عقد قرار داد خرید ۵ ساله به شرح ذیل:

متوسط قیمت تبدیل انرژی در بازار برق به ازای هر Kwh
 +
 ارزش سوخت صرفه جویی شده به ازای ترکیب سوخت مایع به ازای هر Kwh
 +
 ارزش صرفه جویی ناشی از عدم انتشار آلاینده ها به ازای هر Kwh
 محاسبه شد و قیمت پایه و نرخ تعرفه خرید تضمینی برق از منابع انرژی های تجدیدپذیر $17/77 \$/kWh$ تعیین و ابلاغ شد. [۴]

جهت بررسی توجیه پذیری اقتصادی تولید برق از طریق منابع تجدیدپذیر (خورشیدی، حرارتی و برق آبی کوچک) در ایران (در سال ۱۳۹۳) و پاسخ به سه سؤال زیر به محاسبه نسبت B/C این تکنولوژی ها پرداخته می شود:





مورد توجه قرار گیرد این است که، هزینه و سرمایه گذاری تولید برق از طریق تکنولوژی های گوناگون، متفاوت است لذا نمی توان تعرفه یکسانی برای تکنولوژی های مختلف تعیین کرد. چرا که تعرفه یکسان برای تکنولوژی های مختلف مانع از توسعه متوازن این تکنولوژی های می شود، چراکه سرمایه گذار به تکنولوژی که سود بیشتری دارد تمایل بیشتر نشان می دهد و این خود مانع از توسعه دیگر گزینه ها است.

بنابراین محقق با نظر مشورتی کارشناسان دفتر مطالعات اقتصادی و استراتژیک سازمان انرژی نو ایران با توجه به هزینه تمام شده واحد برق تولید شده از منابع تجدیدپذیر (LCOE) در سال ۱۳۹۳ با هدف توجیه پذیری اقتصادی این تکنولوژی ها و ایجاد ترغیب سرمایه گذار خصوصی جهت سرمایه گذاری در این بخش تعرفه های مختلفی برای هر یک از تکنولوژی ها پیشنهاد داده که نسبت B/C این منابع به شرح جدول ۳ محاسبه شده است. (مراجعه به ضمیمه ۲)

جدول ۳ تعرفه پیشنهادی محقق و نسبت B/C مربوط به منابع تجدیدپذیر در ۲۰۱۴

بادی	برق آبی کوچک	خورشیدی حرارتی	
۹/۴۲	۹/۴۰	۲۰/۹۶	LCOE (\$€/kWh)
۱۷/۹۰	۱۲/۷۰	۴۳/۴۰	Tariff (\$€/kWh)
۱/۸۴	۱/۹۱	۲/۲۷	B/C

همانطور که دیده می شود با تعرفه پیشنهادی تولید برق از طریق سه تکنولوژی توجیه اقتصادی خواهد داشت. امید است با این تعرفه پیشنهادی برای نیروگاه خورشیدی حرارتی، که عددی است نسبتا بالا، این نیروگاه مورد توجه بیشتر قرار گیرد تا با افزایش ظرفیت نصب این نوع نیروگاه و رشد صنعت مربوطه، هزینه های سرمایه گذاری آن نیز کاهش یافته و در آینده به عنوان یک نامزد برای تولید برق ارزان مطرح شود.

درخصوص نیروگاه بادی محقق قیمت پایه خرید برق را پیشنهاد داد ولی انتظار می رود با توجه به پتانسیل بالا و شناخته شدن فن آوری و زنجیره ارزش نیروگاه بادی در ایران، تکنولوژی نیروگاه بادی از جانب دولت مورد حمایت های بیشتر قرار گیرد.

سیاست خرید تضمینی و تعرفه متاثر از عواملی چون سندهای بالادست، برنامه ریزی استراتژیک، شرایط اجتماعی و سیاسی کشور می باشد. در ایران اهداف تعیین شده در اسناد بالا دست سند چشم انداز ۲۰ ساله [۵] و قانون برنامه توسعه پنجم با تعیین سهم ۱۰٪ تولید برق از طریق انرژی های تجدیدپذیر و تعیین میزان تولید MW ۵۰۰۰۰ برق از طریق انرژی های تجدیدپذیر تا پایان سال ۱۴۰۴، اهم و دلیلی می شوند تا بانک ها و صندوق توسعه ملی با ارائه تسهیلات مناسب جهت سرمایه گذاری در این بخش و دولت نیز با پرداخت این تعرفه ها، زمینه توسعه این تکنولوژی جهت افزایش سهم این انرژی در سبد انرژی کشور را فراهم آورند.

۴. تحلیل حساسیت هزینه تمام شده تولید برق تجدیدپذیر

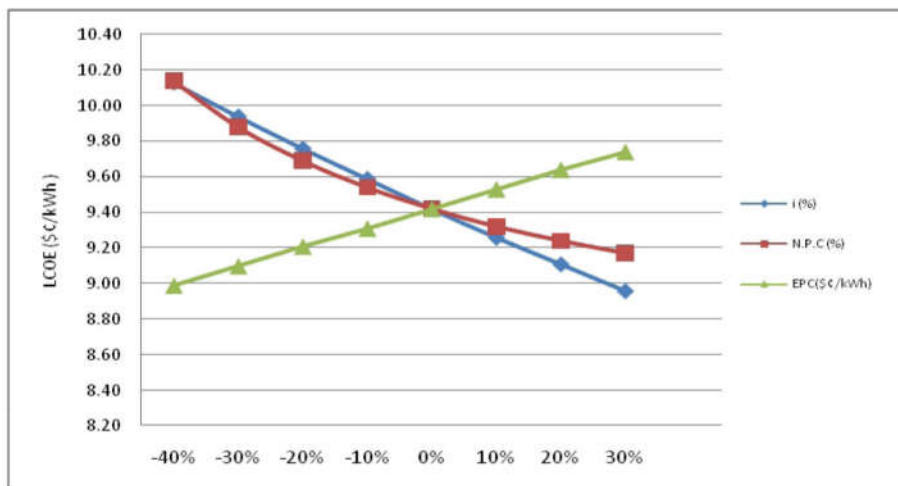
هزینه تمام شده برق تولید شده (LCOE) از طریق منابع تجدیدپذیر فقط تحت تاثیر یک متغیر مستقل قرار ندارد بلکه متاثر از تعدادی متغیر شناخته شده و شناخته نشده می باشد. سه عامل اصلی تاثیر گذار بر آن " نرخ تنزیل، هزینه سرمایه گذاری به طور EPC^۸ و ضریب تولید خالص"^۹ می باشند که برای شناسایی مهمترین عوامل تاثیرگذار بر هزینه تمام شده برق تولید شده و مقدار این تاثیر گذاری از تحلیل حساسیت استفاده شده است.

تحلیل حساسیت در واقع یک نوع بازنگری به یک ارزیابی اقتصادی است. تحلیل حساسیت عبارت است از تکرار محاسبات یک فرایند مالی با تغییر دادن پارامترهای اصلی و مقایسه نتایج حاصل از اطلاعات اولیه. اگر تغییر کوچکی در یک پارامتر منجر به تغییری چشمگیری در نتایج گردد گفته می شود که طرح نسبت به آن پارامتر حساسیت دارد و آن یک پارامتر حساس است. برای بررسی حساسیت پروژه نسبت به این تغییرات از نمودار هندسی حساسیت^{۱۰} استفاده می شود. [۶]

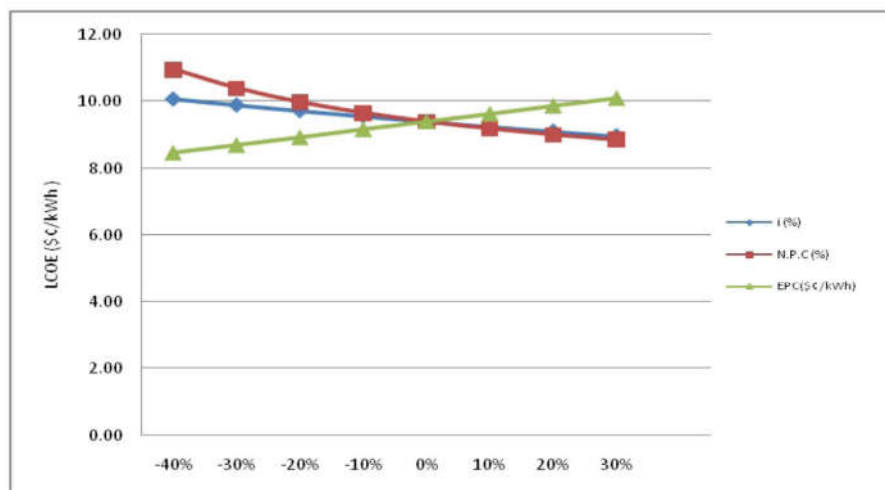
۸. Engineering, Procurement and Construction

۹. Net Production Coefficient

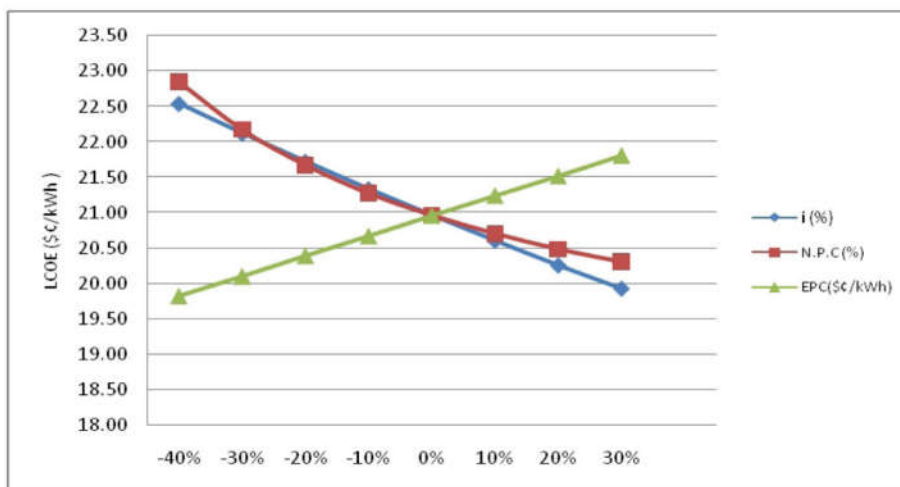
۱۰. Sensitivity Graph



شکل ۱ گراف تحلیل حساسیت LCOE نیروگاه بادی



شکل ۲ گراف تحلیل حساسیت LCOE برق آبی کوچک



شکل ۳ گراف تحلیل حساسیت LCOE نیروگاه خورشیدی حرارتی

- مقدار حساسیت هزینه تمام شده نیروگاه برق آبی نسبت به سه مولفه به ترتیب مربوط است به ضریب تولیدخالص، EPC و نرخ تنزیل
- مقدار حساسیت هزینه تمام شده نیروگاه بادی نسبت به سه مولفه به ترتیب مربوط است به نرخ تنزیل، ضریب تولیدخالص و EPC

علت اصلی حساسیت بالای هزینه تمام شده برق نیروگاه خورشیدی حرارتی نسبت به این دو مولفه نرخ تنزیل و EPC، نسبت به دو گزینه دیگر انرژی های تجدیدپذیر، میزان هزینه سرمایه گذاری و گردش مالی بالای این نیروگاه می باشد بنابراین پیشنهاد می گردد نیروگاه خورشیدی حرارتی مورد توجه بیشتر قرار گیرد تا با افزایش ظرفیت نصب این نوع نیروگاه و رشد صنعت مربوطه، هزینه های سرمایه گذاری آن نیز کاهش یافته و در آینده به عنوان یک نامزد برای تولید برق ارزان مطرح شود.

۵. جمع بندی و پیشنهادها

تغییر ساختار و خصوصی سازی صنعت برق زمانی میسر می شود که بخش خصوصی علاوه بر رضایت از سود حاصل، از شرایط سرمایه گذاری در این بخش نیز مطمئن باشد. در ایران اجرای سیاست حمایتی تعرفه گذاری و خرید تضمینی برق از سوی دولت اصلی ترین و مهمترین ابزارهای ایجاد شرایط مطمئن سرمایه گذاری و جذب سرمایه گذار بخش خصوصی به صنعت برق می باشد. همانطور که بیان شده است تعرفه کنونی برق تجدیدپذیر که تعرفه یکسانی است برای تکنولوژی های مختلف، خود مانع از توسعه متوازن این تکنولوژی ها می شود، چرا که سرمایه گذار تمایل بیشتر به بخشی نشان خواهد داد که سود بیشتری حاصل می کند. بنابراین محقق با

در شکل های ۲، ۱ و ۳ آنالیز حساسیت هزینه تمام شده برق تولید شده از طریق منابع تجدیدپذیر نسبت به سه مولفه اصلی تاثیر گذار بر آن " نرخ تنزیل، هزینه سرمایه گذاری به طور EPC و ضریب تولید خالص " محاسبه و ارائه شده است. (مراجعه به ضمیمه ۳)

از گراف تحلیل حساسیت ها در شکل های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می شود:

- هزینه تمام شده تولید برق تجدیدپذیر LCOE نیروگاه ها نسبت به مولفه EPC رابطه مستقیم و نسبت به دو مولفه دیگر (نرخ تنزیل و ضریب تولیدخالص) رابطه معکوس دارد.
- بیشترین حساسیت هزینه تمام شده تولید برق تجدیدپذیر LCOE نسبت به مولفه EPC، به ترتیب مربوط به نیروگاه خورشیدی حرارتی، برق آبی و بادی می باشد. (به ترتیب مقدار EPC آنها).
- بیشترین حساسیت هزینه تمام شده تولید برق تجدیدپذیر LCOE نسبت به مولفه نرخ تنزیل به ترتیب مربوط به نیروگاه خورشیدی حرارتی، بادی و برق آبی کوچک است. (به ترتیب گردش مالی آنها).
- بیشترین حساسیت هزینه تمام شده تولید برق تجدیدپذیر LCOE نسبت به مولفه ضریب تولید خالص، به ترتیب مربوط به نیروگاه خورشیدی حرارتی، برق آبی و بادی می باشد.
- مقدار حساسیت هزینه تمام شده نیروگاه خورشیدی حرارتی نسبت به سه مولفه به ترتیب مربوط است به نرخ تنزیل، ضریب تولیدخالص و EPC



رویکرد توجیه پذیری اقتصادی و ایجاد ترغیب سرمایه گذار خصوصی جهت سرمایه گذاری با هدف توسعه متوازن تکنولوژی های برق تجدیدپذیر تعرفه های مختلفی را مطابق جدول ۳ پیشنهاد داده است. میزان هزینه سرمایه گذاری و گردش مالی بالای نیروگاه خورشیدی حرارتی موجب حساسیت بالای هزینه تمام شده برق نیروگاه خورشیدی حرارتی نسبت به این دو مولفه نرخ تنزیل و EPC، نسبت به دو گزینه دیگر اثری های تجدیدپذیر شده است بنابراین پیشنهاد می گردد با تعیین تعرفه نسبتا بالای محقق نیروگاه خورشیدی حرارتی مورد توجه بیشتر قرار گیرد تا با افزایش ظرفیت نصب این نوع نیروگاه و رشد صنعت مربوطه، هزینه های سرمایه گذاری آن نیز کاهش یافته و در آینده به عنوان یک نامزد برای تولید برق ارزان مطرح شود.

در پایان متذکر می شود درخصوص نیروگاه بادی محقق قیمت پایه خرید برق را پیشنهاد داد ولی انتظار می رود با توجه به پتانسیل بالا و شناخته شدن فن آوری و زنجیره ارزش نیروگاه بادی در ایران، تکنولوژی نیروگاه بادی از جانب دولت مورد حمایت های بیشتر قرار گیرد.

۶. مراجع

- [1] سایت مجلس شورای اسلامی ایران/ مرکز پژوهش/ قوانین/ اصل ۴۴ قانون اساسی، ۲۰۱۴.
http://rc.majlis.ir/fa/content/iran_contitution
- [2] سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، آمار و داده ها، به آدرس اینترنتی:
http://www.cbi.ir/nonRefExRates/nonRefRates_fa.aspx
- [3] <http://privatesectors.suna.org.ir/fa/home>
- [4] http://www.suna.org.ir/suna_content/media/image/2014/07/3141_orig.pdf
- [5] سایت مجلس شورای اسلامی ایران/ مرکز پژوهش/ قوانین/ برنامه چشم انداز ۲۰ ساله ایران، ۲۰۱۴.
<http://rc.majlis.ir/fa/law/show/132295>
- [6] اسکویی نژاد، اقتصاد مهندسی با ارزیابی اقتصادی پروژه های صنعتی، تهران، انتشارات امیرکبیر، ۲۰۰۸، ۴۲۰ صفحه
- [7] سایت مجلس شورای اسلامی ایران/ مرکز پژوهش/ قوانین/ هدفمند سازی یارانه، ۲۰۱۴.
<http://rc.majlis.ir/fa/law/show/789036>

