مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۴۰۲)
دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۲، صص. ۲۵-۳۷، (پژوهشی)

Original Article

مدل‌سازی پویای اثر مشوق‌های مالی بر نفوذ فنّاوری برق خورشیدی: شواهدی از کشور ایران

نجمه نشاط * **(استادیار)**
گروه مهندسی صنایع (سیستم‌ها)، دانشگاه میبد
هاشم محلوجی (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
میترا کبیری (کارشناس‌ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس

افزایش تقاضای جهانی انرژی، محدودیت منابع فسیلی و آلودگی کره زمین موجب شده‌اند تا استفاده از انرژی خورشیدی موردتوجه قرارگیرد. کشورهای دنباله‌رو محیط‌زیست از جمله ایران بدلیل ناکارامدی سیاست‌ها و دسترسی به سوخت‌های فسیلی ارزان قیمت (علی رغم برخورداری از پتانسیل بالا) پیشرفت‌های اندکی در این زمینه داشته اند. این مقاله میزان تأثیر سیاست‌های تشویقی دولت در راستای انتشار بیشتر این فنّاوری را به روش پویایی‌شناسی سیستم مورد تحلیل قرار داده است. نتایج این تحلیل سناریو نشان داد با اجرای سناریو پایه (ثابت در نظر گرفتن قیمت تعرفه در تغذیه بدون یارانه) میزان هزینه‌های دولت و ظرفیت نصب شده، کمترین مقدار را در مقایسه با سایر سناریوها خواهد داشت و در این سناریو، متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن بالاتر از سناریوهای ترکیبی می‌باشد اما در سناریوهای ترکیبی (ترکیب یارانه بالاتر و قیمت خرید تضمینی پایین‌تر)، علی رغم افزایش ظرفیت انباشته شده فنّاوری برق خورشیدی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، کاهش متوسط هزینه‌های دولت و مصرف خالص برق از شبکه کاملاً محسوس و قابل انتظار است.

واژگان کلیدی: پویایی‌شناسی‌سیستم، فنّاوری برق خورشیدی، سیاست گذاری، مشوق‌های مالی.

neshat@meybod.ac.ir
mahlooji@sharif.edu
m.kabiri@modares.ac.ir

۱. مقدمه

با عنایت توجه به نرخ رشد فعلی، برآورد می‌شود که مقدار مصرف برق در سال ۱۴۰۶ در کشور به مرز ۴۴۰۴۴۱ گیگاوات ساعت خواهد رسید.[۱] به‌طوری‌که بیشتر برق مورد نیاز، توسط منابع منتشرکننده کربن، مانند سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. از این رو، مدیریت تقاضای انرژی به یک مسأله مهم از تصمیمات نه تنها در ایران، بلکه در جهان برای تعیین روند آینده تبدیل شده است. این مسأله، سیاست‌گذاران در سراسر جهان را به سمت استفاده بیشتر از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی و بادی سوق داده است. استفاده از این منابع، علاوه بر پاسخگویی تقاضای انرژی به‌طور پایدار، به کاهش خطرات اقلیمی جهان نیز کمک می‌کند.[۲و۳] توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان از دهه نود میلادی آغاز شد و در دهه ابتدایی قرن بیست‌ویکم به شدت سرعت گرفت. هم‌اکنون بسیاری از کشورها طبق توافق‌نامه پاریس، متعهد شده‌اند که میزان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر خود را تا سال ۲۰۲۵ دو برابر کنند. محرک‌های این رشد می‌توانند عواملی همچون توسعه حمایت‌ها و سیاست‌های دولتی، افزایش قیمت حامل‌های انرژی تجدیدناپذیر، کاهش قابل توجه هزینه فنّاوری‌های تجدیدپذیر و وجود صرفه به‌مقیاس در تولید این تجهیزات باشد. از میان تمامی منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی منحصربه‌فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین می‌باشد. چراکه این انرژی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. مطابق با گزارش REN ۲۱،[۱] ظرفیت جهانی تولید انرژی خورشیدی فتوولتاییک‌های خورشیدی[۲] به ۱۷۵ گیگاوات در سال ۲۰۲۱ رسیده است. به گونه‌ای که بسیاری از کشورهای دوستدار محیط‌زیست[۳] مانند چین، آمریکا، ژاپن، آلمان و هند هم‌اکنون ۱۰ درصد از برق مصرفی خود را از این طریق تأمین می‌کنند.[۴] این در حالی است که اغلب کشورهای دنباله‌رو در این فنّاوری[۴] دارای پتانسیل عظیمی از این

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۹/۹، اصلاحیه ۱۴۰۱/۵/۲۹، پذیرش ۱۴۰۱/۶/۲۸.

استناد به این مقاله:
نشاط، نجمه، محلوجی، هاشم و کبیری، میترا، ۱۴۰۲. مدل‌سازی پویای اثر مشوق‌های مالی بر نفوذ فنّاوری برق خورشیدی: شواهدی از کشور ایران. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۳۹(۲)، صص.۲۵-۳۷. DOI:10.24200/J65.2022.59933.2287

انرژی می‌باشند. کشور ایران یکی از نمونه‌های بارز این موضوع می‌باشد. منبع انرژی خورشیدی در ایران بالاتر از بسیاری از کشورهای موفق و پیشرو در این زمینه است. اما با توجه به غنای منابع هیدروکربنی، بهره‌برداری از انرژی خورشیدی مغفول واقع شده‌است.[۵] توجه به این نکته ضروری است که توسعه این انرژی به راحتی امکان‌پذیر نیست. زیرا میان این انرژی‌ها و انرژی‌های فسیلی به دلیل سیاست‌های موجود، رقابت نابرابری در راه توسعه وجود دارد.

مطابق با آمار برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد،[۵] حدود ۶۰ درصد برق کشورهای در حال توسعه توسط ساختمان‌های مسکونی و تجاری مصرف می‌شود. براساس گزارش بین‌المللی انرژی، مصرف انرژی در این بخش‌ها از سال ۲۰۱۲ تا سال ۲۰۴۰ به‌طور متوسط ۱/۵ درصد در سال افزایش خواهد یافت.[۶] محققان عوامل متعددی از جمله بهبود کارایی پنل‌های خورشیدی، اجرای طیف گسترده‌ای از برنامه‌های انگیزشی نظیر تعرفه تغذیه و استانداردهای پورتفولیو برای تحریک سرمایه‌گذاری و بهبود کارایی سیستم ذخیره‌سازی را بر افزایش سرعت نفوذ سیستم‌های برق خورشیدی در بخش خانگی موثر می‌دانند.[۷] مدل‌سازی و ارزیابی اثربخشی سیاست‌های تشویقی در سیستم پیچیده اقتصادی، اجتماعی و مالی نفوذ فنّاوری خورشیدی خانگی نیازمند توجه به دینامیک‌های موجود در سیستم است. زیرا هرگونه مداخله در سیستم، اثر نهایی خود را با گذر زمان بر آن سیستم مشخص خواهد نمود. مطالعاتی که تاکنون در این حوزه برای کشور ایران انجام شده است، محدود به مطالعاتی است که متکی بر روش‌های ایستا برای ارزیابی اثربخشی سیاست‌های تشویقی بوده‌اند.[۸و۹]

بنابراین، تحقیق پیش‌رو به بررسی عوامل و فاکتورهای تأثیرگذار بر افزایش نرخ نفوذ این فنّاوری در بخش خانگی در کشورهای دوست‌دار و کم‌بهره از این فنّاوری می‌پردازد. برای این منظور، مدل پویایی‌شناسی سیستم[۶] و حلقه‌های بازخورد علت ـ معلولی ایجاد می‌شود تا نحوه تأثیرگذاری این مولفه‌ها و اثرات متقابل آنها با شبیه‌سازی سیستم، ترسیم شود. مدل پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای شبیه‌سازی تغییرات در شاخص‌های فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی و ارزیابی سیاسست‌های مختلف در درازمدت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این مطالعه، سیستم برق خانگی ایران به‌عنوان نمونه‌ای بارز از کشورهای دنباله‌رو از این فنّاوری با هدف موردکاوی انتخاب می‌شود تا تأثیر سیاست‌های تشویقی و حمایتی پیشنهادی بر نفوذ این فنّاوری در این نمونه مورد بررسی قرارگیرد.

در ادامه، پژوهش حاضر در سه بخش مشوق‌ها، محرک‌ها و موانع نفوذ فنّاوری، موردکاوی شده، روش تحقیق تهیه شده و به تشریح هر یک از آنها پرداخته شده است. در بخش اول، مشوق‌هایی که در بسیاری از کشورها جهت توسعه این نوع انرژی به کار گرفته شده تشریح شده است. سپس، در بخش دوم، به موردکاوی و دلایل انتخاب دو مورد از مشوق‌ها در رابطه با کشور ایران پرداخته شده است. در نهایت، در بخش سوم، با توسعه یک مدل پویایی‌شناسی سیستمی به بررسی سیاست‌ها و سناریوهای مختلف پرداخته شده و نتایج برای هر سناریو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲. مشوق‌ها/محرک‌ها و موانع نفوذ فنّاوری

براساس مطالعات قبلی صورت گرفته، سیاست‌ها و اقدامات تشویقی و تقویتی در خصوص نفوذ فنّاوری‌های خورشیدی در بخش خانگی را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی کرد.

۱.۲. تعرفه در تغذیه

تعرفه در تغذیه[۷] به‌صورت پول نقدی از طرف شرکت تامین‌کننده انرژی یا متولی شبکه برق یک کشور به تولیدکننده برق از منابع تجدیدپذیر پرداخت می‌شود. در واقع، این روش نسبت به روش‌های تشویقی دیگر پرکاربردتر و کارآمدتر می‌باشد؛ چرا که این سیاست تعادل پایدار طولانی‌مدت را برای سرمایه‌گذاران ایجاد می‌کند.[۱۰] این تعرفه یکی از مناسب‌ترین و به‌صرفه‌ترین راه‌هایی است که می‌تواند از تولیدکننده‌های انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت کند. چراکه یک تولیدکننده مستقل خصوصی می‌تواند براساس یک قیمت ثابت مستقل از قیمت بازار، برق تولیدی خود را به فروش برساند.[۱۰-۱۲] این سیاست به‌عنوان یک سیاست پرکاربرد در حمایت از این انرژی، توسط کشورهای اتحادیه اروپا،[۱۳و۱۴] نیوزلند،[۱۵] چین،[۱۶] فیلیپین،[۱۷] ژاپن،[۱۸] تایلند[۱۹] و آرژانتین[۲۰] استفاده می‌شود. در ادامه، پژوهش‌هایی که به بررسی تأثیر این سیاست بر نفوذ فنّاوری خورشیدی پرداخته‌اند، تشریح شده است. در پژوهشی با هدف ارزیابی اثر سیاست‌های حمایتی تعرفه در تغذیه و استاندارد سبد انرژی[۸] بر انتشار دی‌اکسیدکربن، هزینه‌های نامشهود زیست‌محیطی و قیمت انرژی از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم استفاده شد. پس از اجرای مدل و بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی، سیاست تعرفه در تغذیه برای کاهش هزینه‌های نامشهود زیست‌محیطی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، سیاست کاراتری شناخته شده است. اگرچه به واسطه ماهیت آن که یک سیاست تشویقی است (برخلاف استاندارد سهم انرژی تجدیدپذیر در سبد انرژی یک کشور که یک سیاست الزامی است) هزینه بیشتری به دولت تحمیل می‌کند.[۲۱] محققان در پژوهشی دیگر با کمک یک مدل دینامیکی، تأثیر اعمال سیاست تشویقی (تعرفه در تغذیه[۹]) بر سیستم‌های تولید برق از طریق فنّاوری سلول خورشیدی را ارزیابی کردند. این محققان نشان داده‌اند که پیاده‌سازی یک سیاست تعرفه در تغذیه درکوتاه‌مدت تا چه اندازه بر توسعه تولید برق از طریق پنل‌های خورشیدی در ایالت نیوسرث ولز استرالیا موثر بوده است. در عین حال، این پژوهش بر این نکته اشاره دارد که فقدان یک ارزیابی بلندمدت در بررسی آثار سیاست‌های حمایتی همیشه بزرگ‌ترین نقطه ضعف این گونه پژوهش‌ها می‌تواند باشد. چرا که پیاده‌سازی این سیاست‌ها در صورت عدم وجود نظارت مناسب و تغییرات لازم در بازه‌های زمانی معین حتی می‌تواند به ایجاد خلل در توسعه پایدار منتج شود.[۲۲] پژوهشی دیگر با اشاره به گسترش زیاد سلول‌های خورشیدی به‌صورت پیوسته و در حال رشد، از اصلی‌ترین دلایل آن را به کارگیری سیاست تعرفه بر تغذیه بر شمرده است. این محققان پویایی‌های نرخ تغذیه در تعرفه، تاخیر در ساخت نیروگاه‌های خورشیدی، سرمایه‌گذاری و یادگیری فنّاوری را به‌صورت یکپارچه مدل سازی کرده اند. خروجی‌های این مدل، پیش‌بینی ظرفیت عملیاتی سلول‌های خورشیدی، میزان بودجه مورد نیاز برای پیاده‌سازی این سیاست و صرفه‌جویی‌های زیست‌محیطی بوده است.[۲۳] شاه محمدی و همکارانش، در پژوهشی به بررسی تأثیر سیاست حمایتی تعرفه بر تغذیه بر فرآیند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر پرداختند. آنها با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها، به محاسبه زمان اقتصادی شدن انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در این پژوهش پرداخته‌اند. آنها ده زیرسیستم تأثیرگذار[۱۰] اعم از زیرسیستم صندوق بودجه انرژی‌های تجدیدپذیر، هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر، گازهای گلخانه‌ای، زیرسیستم هزینه واحد برق، تولید، درآمد، مصرف سوخت، زیرسیستم سرمایه‌گذاری و زیرسیستم شغل را شناسایی کردند. در این مطالعه، ده سناریوی مختلف برای پرداخت مبلغ تعرفه تغذیه مورد بررسی قرارگرفت. نتایج این پژوهش نشان دهنده‌ی این امر است که لزوما پرداخت بیشتر تغذیه بر تعرفه از لحاظ اقتصادی به صرفه نخواهد بود.[۲۴] مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۷ با هدف ارزیابی

سیاست‌های حمایتی تعرفه در تغذیه و استاندارد سبد انرژی جهت ارتقا ظرفیت نصب پنل‌های خورشیدی در چین انجام گرفت، چهار سناریو شبیه‌سازی شد تا اثرات مختلف سیاست‌های مذکور را بر روی ظرفیت نصب شده، هزینه‌های دولت و کاهش انتشار آلاینده‌ها بررسی کند.[۲۵] جگر و همکاران، اثر اعمال سیاست تعرفه بر تغذیه بر قیمت نهایی برق و میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را در کوتاه‌مدت مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. لازم به ذکر است که این پژوهشگران در کوتاه‌مدت، اعمال سیاست تعرفه بر تغذیه را بعد از عوامل دیگری همچون محدودیت‌های زیست‌محیطی، قیمت‌حامل‌های انرژی و تقاضای برق بر میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن موثر دانستند.[۲۶]

۲.۲. یارانه‌های سرمایه‌ای

با عنایت به ملاحظات فنی از جمله محدودیت‌های زمانی اتصال به شبکه، عدم بلوغ فنّاوری برق خورشیدی و ظرفیت اسمی به نسبت پایین این نیروگاه‌ها در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی، نیروگاه‌های خورشیدی دارای هزینه بالایی برای سرمایه‌گذار هستند.[۱۱] به همین علت، دولت‌ها سیاست تشویقی خرید تضمینی برق (تعرفه بر تغذیه) از این نیروگاه‌ها را در نظر گرفته‌اند. اما این سیاست به تنهایی نمی‌تواند رشد قابل توجهی بر توسعه این فنّاوری داشته باشد. به‌عنوان مثال، در کشورهای اتحادیه اروپا، سیاست‌های تشویقی دیگر شامل یارانه‌ها،[۱۲] مشوق‌های مالیات بر دارایی، وام‌ها و تخفیف‌های مالیاتی نیز به‌صورت ترکیبی در نظرگرفته می‌شوند.[۲۷] یارانه‌ها، برنامه‌های کمک هزینه و برنامه‌های تخفیفی و معافیت‌ها از جمله پرکاربردترین سیاست‌های حمایتی دولت‌ها برای سرمایه‌گذاری در انرژی خورشیدی هستند. یارانه‌ها به‌صورت پرداخت‌های مستقیم و غیرمستقیم برای توسعه برق خورشیدی به کار گرفته شده‌اند تا بخشی از هزینه‌های سرمایه‌ای را جبران کند.[۲۸و۲۹] در ادامه، به تشریح پژوهش‌هایی که به بررسی اثر این سیاست به‌عنوان یک سیاست ترکیبی با سیاست‌های دیگر پرداخته‌اند، می‌پردازیم:

حسینی و همکارانش، با اشاره به اینکه از ۱۸۶ تراوات ساعت برق تولید شده در ایران، تنها ۰/۲ تراوات ساعت توسط انرژی‌های تجدیدپذیر (به غیر از برق‌آبی) تولید شده است و هدف‌گذاری برنامه پنجم توسعه، افزایش ظرفیت تولید ۵ گیگاواتی فنّاوری‌های تجدیدپذیر می‌باشد، ضرورت وجود سیاست‌های حمایتی بسیار پررنگی (یارانه سرمایه‌ای) را برای نیل به هدف مطرح کردند. ضرورت وجود نگاه کل‌نگر، فهم پیچیدگی‌های تعامل بین اجزای سیستم‌های انرژی و تفکر در طول زمان از جمله مولفه‌هایی است که استفاده از رویکرد سیستمی برای تحلیل مسئله این پژوهش را اجتناب‌ناپذیر دانستند.[۳۰] چیونگ ون، با توجه به هدف‌گذاری بلندمدت کشور تایوان برای کاهش تولید سالانه گازهای گلخانه‌ای و مخصوصا دی‌اکسیدکربن، در نظرگرفتن یارانه برای کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در کنار سیاست حمایتی تعرفه بر تغذیه را از راه‌های موثر رسیدن به اهداف کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌داند؛ که دولت تایوان آنها را به کار گرفته است.[۱۰]

۳.۲. اندازه‌گیری خالص

این مکانیسم به‌عنوان یک سیاست تعادلی استفاده شده که در آن تفاوت میان انرژی الکتریکی تولید شده توسط کاربر و انرژی الکتریکی مصرف شده که از طریق شبکه توزیع تأمین شده است را محاسبه می‌کند. در حال حاضر، مکانیسم اندازه‌گیری خالص[۱۳] در بسیاری از کشورها مانند ایالات متحده،[۱۷] استرالیا[۳۱و۳۲] و دانمارک[۳۳و۳۴] در حال اجرا و استفاده می‌باشد.

۴.۲. خالص فروش

سیاست خالص فروش[۱۴] در واقع به این صورت است که مشتریان انرژی تولیدی خودشان را مصرف کرده و از این طریق در هزینه‌ها صرفه جویی می‌کنند. مابقی انرژی که در محل مصرف نمی‌شود، به شبکه برق صادرکرده و با نرخ معینی محاسبه می‌شود. به این ترتیب، ارزش نهایی که توسط کاربر جمع آوری یا پرداخت خواهد شد، تفاوت میان مقادیر پولی انرژی مصرف شده و انرژی تزریق شده به شبکه خواهد بود. اگر مازاد پولی به نفع کاربر وجود داشته باشد، در قبض برق محاسبه و پرداخت خواهد شد. این سیاست اکنون در کشور آرژانتین به‌عنوان یک طرح تشویقی در نظر گرفته شده است.[۲۰]

۵.۲. استاندارد تجدیدپذیر سبد انرژی

این سیاست که در اکثر کشورهای دنیا یک سیاست اجباری محسوب می‌شود، تولیدکننده، شرکت انتقال، شرکت توزیع یا حتی خرده‌فروشان برق را مجبور می‌کند که سهم مشخصی از برق تولیدی خود را از انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کرده و مابقی را از شبکه‌های توزیع سراسری تأمین نمایند. این سازوکار در کشورهای مختلف دنیا تحت عناوین مختلفی مانند استاندارد سبد تجدیدپذیر شناخته شده که با وجود تفاوت‌های جزیی در اجرا ساختار کلی مشابهی دارند.

۶.۲. موانع انتشار فنّاوری

تجربه کشورهای دوست‌دار محیط زیست از جمله آلمان و اسپانیا نشان می‌دهد که یکی از بزرگ‌ترین موانع این نوع انرژی، هزینه بالای این سیستم‌ها می‌باشد. اما همانطورکه در هزینه پایه نیروگاه‌های برق خورشیدی ایالات متحده آمریکا نشان داده شد، این هزینه به‌طور قابل توجهی کاهش یافته‌است.[۳۲] بنابراین، از بین سیاست‌های انگیزشی و مکانیسم‌های قانونی برای تشویق و گسترش این فنّاوری، می‌توان به مکانیسم تعرفه بر تغذیه، اندازه‌گیری خالص و خالص فروش اشاره کرد. در یک جمع‌بندی کلی، می‌توان گفت که در کشورهای دنباله‌رو در حوزه محیط زیست، به دلیل هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و عدم وجود فنّاوری‌های مرتبطی که باعث شود مصرف‌کنندگان خانگی انرژی مصرفی خود را از انرژی تولیدی خود برداشته و مازاد آن را به شبکه تزریق کنند، تأثیر سیاست‌های اندازه‌گیری خالص و خالص فروش کمتر بوده است. به کارگرفتن سیاست‌های یارانه و تعرفه بر تغذیه نسبت به سیاست‌های دیگر، تأثیر بیشتری بر نرخ نفوذ این فنّاوری داشته‌اند.

۳. موردکاوی

ایران با عرض جغرافیایی ۲۵ الی ۴۵ درجه شمالی، در منطقه‌ای از کره زمین واقع شده است که با داشتن میانگین بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در بسیاری از مناطق به غیر از سواحل دریای خزر (میانگین تابش خورشیدی پنج کیلووات ساعت بر متر مربع در روز)، از ظرفیت بالایی برای استفاده از انرژی خورشیدی برخوردار است و از نظر مقدار دریافت انرژی تابشی خورشیدی، از جمله بهترین کشورها محسوب می‌شود.[۳۵] متأسفانه، با توجه به سیاست حمایتی تعرفه بر تغذیه که از طرف دولت ایران از سال ۹۴ تاکنون برای پنل‌های خورشیدی در بخش خانگی در نظرگرفته شده است، ظرفیت نصب شده این سیستم‌ها به کمتر از ۱۲ مگاوات در پایان سال ۹۶ رسیده است. چرا که به دلیل بالا بودن هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عدم در نظر

گرفتن یارانه‌های سرمایه‌ای، استقبال چندانی از این سیستم‌ها صورت نگرفته است. در صورتی که در دراز مدت، این سیستم‌ها بسیار مقرون به صرفه بوده و تأثیر به‌سزایی در کم کردن آلودگی هوا خواهند داشت.

البته عوامل متعددی در سهم پایین این فنّاوری در سبد انرژی کشور ایران وجود دارد که عبارتند از اعمال سوبسید بر روی حامل‌های انرژی از طرف دولت، فقدان برنامه‌ریزی موثر در بخش‌های اجرایی، عدم شفافیت و تفکیک وظایف بین سازمان‌ها در سیاست‌های اداری و اجرایی خود، فقدان همکاری بین متخصصان فعال در صنعت و سازمان‌های متولی و عدم استفاده مناسب از متخصصان و تکنسین‌ها در کشور، عدم وجود قیمت رقابتی در بازار داخلی برای این سیستم‌ها، محدود بودن مشاوران و پیمانکاران و ناظران شایسته و عدم وجود مراکز تست و استاندارد داخلی که منجر به کاهش کیفیت پنل‌های تولیدی در کشور می‌شود، تأثیرات منفی تورم بالا بر روی هزینه و بازگشت سرمایه، بالا بودن هزینه تمام شده سیستم‌های برق خورشیدی نسبت به سیستم‌های تجدیدپذیر رایج و عدم وجود قوانین و سیاست‌های قوی حمایتی جهت برنامه‌ریزی استفاده از سیستم‌های برق خورشیدی.[۶،۳۶،۳۷]

در این راستا، سیاست‌های مهمی در توسعه منابع انرژی تجدیدپذیر در ایران اجرا شده است. یکی از این سیاست‌ها این است که وزارت نیرو برق تولیدی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر را براساس تعرفه‌های جدید که با توجه‌به منابع مختلف نرخ‌های متفاوت دارد، خریداری می‌نماید. گفتنی است که مدت زمان خرید برق نیز به ۲۰ سال افزایش یافته است.

دیگر سیاست این است که دولت ایران موظف است برای تأمین بخشی از منابع لازم جهت اجرای طرح‌های توسعه و تولید برق تجدیدپذیر و پاک، عوارض مصرف هر کیلووات ساعت برق را در بودجه سالانه پیش‌بینی نماید. وجوه حاصل شده به حساب شرکت توانیر نزد خزانه داری کل کشور واریز و ۱۰۰ درصد آن تنها بابت کمک به اجرای طرح‌های مذکور هزینه می‌شود.[۳۸] با این وجود، سازوکارهای تشویقی به اندازه‌ای که باید باعث نشده که در ایران و در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر اتفاق قابل توجهی رخ دهد. چرا که تعرفه‌های مصرف انرژی فاصله زیادی با قیمت تمام شده انرژی در این کشور دارد و همچنان فنّاوری‌های و زیرساخت‌های مرتبط با حوزه انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی قیمت گران‌تری داشته و نیاز به سرمایه‌گذاری و حمایت‌های دولتی دارد.

نتایج الگوبرداری[15] حاکی از آن است که جهت دستیابی به ظرفیت بالای سیستم‌های خورشیدی در بخش خانگی، در نظرگرفتن یارانه از طرف دولت در کنار سیاست حمایتی تعرفه بر تغذیه می‌تواند تمایل مصرف‌کنندگان را به سمت استفاده بیشتر از این سیستم‌ها سوق داده، ظرفیت نصب شده آنها را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد و تأثیر بسزایی در کم کردن میزان انتشار دی‌اکسیدکربن داشته باشد. بنابراین، سیاست‌های زیر برای توسعه نفوذ فنّاوری خورشیدی در ایران پیشنهاد می‌شود:

۱. تعرفه بر تغذیه: به دلیل آنکه این سیاست از سال ۹۴ تاکنون در کشور ایران پیاده‌سازی شده و به دلیل عدم وجود فنّاوری‌ها و زیرساخت‌های مرتبطی که باعث شود مصرف‌کنندگان خانگی انرژی مصرفی خود را از انرژی تولیدی خود برداشته و مازاد آن را به شبکه تزریق کنند، به کارگیری سیاست‌های اندازه‌گیری خالص و خالص فروش در ایران قابلیت اجرا نداشته و عملا غیرممکن خواهد بود؛

۲. اعمال یارانه برای سرمایه‌گذاری خرید تجهیزات: با توجه به اینکه ایران یک کشور در حال توسعه می‌باشد، نرخ تورم بالا، وابستگی شدید به منابع نفتی و قیمت پایین برق حاصل از سوخت‌های فسیلی موجب پایین آمدن جذابیت سرمایه‌گذاری در حوزه تولید برق خورشیدی شده و هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری را به همراه داشته است. به همین دلیل، در نظرگرفتن یارانه از طرف دولت ایران در کنار سیاست حمایتی تعرفه بر تغذیه می‌تواند جذابیت سرمایه‌گذاری را بالا برده و باعث کاهش در هزینه‌های آن شود.

۴. متدولوژی تحقیق

توانایی پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای بررسی، مطالعه و درک رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان، از اصلی‌ترین دلایل انتخاب تکنیک پویایی‌شناسی سیستم در این مطالعه است. پویایی‌شناسی سیستم، ساختار و پویایی سیستم‌های پیچیده را بهتر درک کرده و برای طراحی سناریوها و سیاست‌های کاراتر استفاده می‌شود.[۳۹] استفاده از این حلقه‌های بازخوردی، نرخ‌ها و حالت‌ها در مدل‌سازی، خصوصیت بارز پویایی‌شناسی‌سیستم‌ها نسبت به مدل‌های ریاضی، آماری و ... است.[۲۸] به همین دلیل، این پژوهش، با استفاده از یک مدل پویایی‌شناسی‌سیستم‌ها و حلقه‌های بازخورد علت ـ معلولی، به بررسی عوامل و فاکتورهای تأثیرگذار بر افزایش نرخ نفوذ این فنّاوری در بخش خانگی می‌پردازد تا نحوه تأثیرگذاری این مولفه‌ها و اثرات متقابل آنها را ترسیم کند.

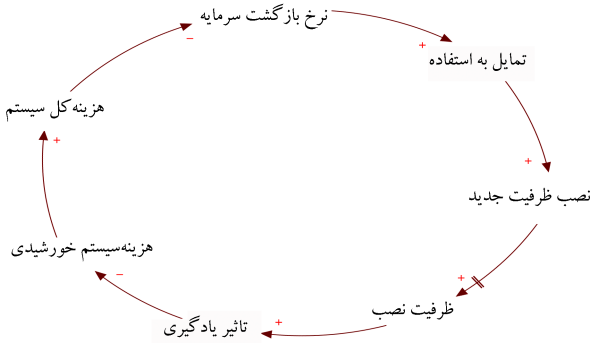
۱.۴. پویایی‌شناسی سیستم

این تکنیک، تعاملات پیچیده درون سیستم را به‌طور واضح توسط نمودارهای علی و معلولی و نمودار سطح جریان مدل‌سازی می‌کند. نمودارهای علی ـ معلولی، ارتباط بین متغیرها را مشخص کرده، طریقه اثرگذاری آنها بر یکدیگر و حلقه‌های بازخوردی را نشان می‌دهد. این نمودار، ارتباطات علی بین مجموعه‌ای از متغیرهای درگیر در داخل یک سیستم را ترسیم کرده، کمان‌ها در نمودارهای علی ـ معلولی جهت ارتباط بین متغیرها را مشخص می‌کند. هنگامی که گروهی از متغیرها در یک حلقه متصل بسته به یکدیگر وصل می‌شوند، یک حلقه علی تشکیل می‌شود. به‌این ترتیب، در یک حلقه علی با تغییر یک متغیر باید اثر این تغییر بر روی خودش بازگشته و این حلقه بسته نقش مهمی را در ساختار سیستم به وجود می‌آورد که به آن بازخورد می‌گویند. بازخورد، در برگیرنده این مفهوم است که تغییرات یک متغیر در نهایت بر مقدار آن در آینده نیز تأثیر خواهد داشت.

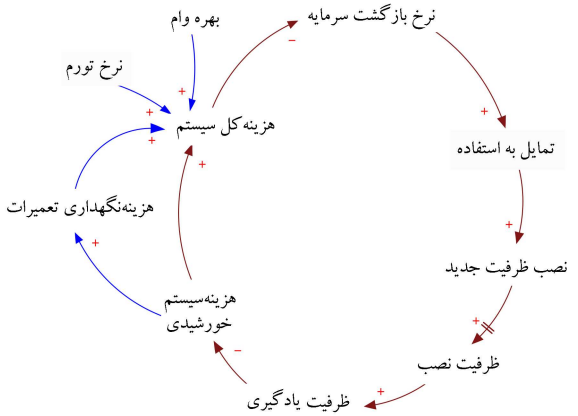
در این قسمت به بررسی نمودار علی ـ معلولی مدل پرداخته می‌شود. برای ترسیم این نمودار، ابتدا باید به تفصیل به بررسی حلقه‌های موجود در این نمودار پرداخته شود. بدین گونه که از یک حلقه علی پایه‌ای در مدل شروع کرده و در نهایت نمودار علی ـ معلولی مدل مربوطه به طور کامل ترسیم می‌شود.

۱.۱.۴. حلقه جذابیت

سیاست‌هایی که باعث گسترش فنّاوری‌های برق خورشیدی می‌شوند را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم بندی کرد. گروه اول سیاست‌هایی هستند که عموم را تشویق به استفاده از این فنّاوری‌های می‌کنند. گروه دوم آنهایی هستند که استفاده از دیگر فنّاوری‌های تولید انرژی الکتریکی را محدود می‌کنند تا عموم به استفاده از انرژی‌های خورشیدی روی بیاورند. همانطور که در شکل ۱ مشخص است، فاکتور کلیدی در این بخش، افزایش جذابیت انرژی خورشیدی و یا به عبارتی افزایش تمایل عموم به استفاده از این فنّاوری است. زمانی که این جذابیت افزایش پیدا می‌کند، در نتیجه، کل تأسیسات PV [16] افزایش پیدا می‌کند. این افزایش به این معنا است که تولیدکننده‌ها، سیستم‌های PV بیشتری تولید می‌نمایند. بنابراین، در نتیجه تولید



شکل ۱. حلقه جذابیت مدل.



شکل ۲. حلقه اصلی به همراه هزینه‌های نرخ سود، نرخ تورم و هزینه نگهداری تعمیرات.

بیشتر، یادگیری بیشتر شده و سبب کاهش هزینه‌های نصب و خرید سیستم‌های PV شده و در صورت ثابت ماندن سود، نرخ بازگشت سرمایه افزایش پیدا خواهد کرد. این امر موجب افزایش جذابیت شده، عموم تمایل بیشتری به استفاده از این فنّاوری‌ها خواهند داشت و این حلقه به همین صورت ادامه خواهد داشت. در واقع، این حلقه، حلقه اصلی و پایه‌ای مدل است.[۱۰]

در جهت تکمیل حلقه علی جذابیت ذکر این نکته لازم است که هزینه کلی نصب و استفاده از سیستم‌های خورشیدی علاوه بر هزینه‌های خرید و نصب، شامل هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، هزینه نرخ سود و هزینه نرخ تورم برای خرید تجهیزات سیستم نیز شده چرا که در کشور ایران به دلیل نرخ تورم بالا هزینه خرید تجهیزات سالانه بالاتر رفته و باعث افزایش هزینه کل سیستم می‌شود. هرچند که این هزینه‌ها به‌اندازه هزینه خرید و نصب مهم نبوده اما کاهش آن‌ها، نرخ بازگشت سرمایه را برای عموم افزایش می‌دهد. از این جهت، مطابق شکل ۲، جذابیت سیستم به حلقه اضافه خواهد شد.

۲.۱.۴. حلقه سیاست‌های تشویقی

سود اصلی ناشی از نصب سیستم‌های PV از طریق سیاست‌های تعرفه بر تغذیه که از طرف دولت پیشنهاد می‌شود، به دست می‌آید. بنابراین، افزایش در قیمت‌های تعرفه‌ای، نرخ بازگشت سرمایه را برای عموم مردم افزایش می‌دهد. علاوه بر این، اگر تولید سالانه برق از این سیستم‌ها افزایش یابد، تولیدکنندگان مستقل، سود بیشتر و نرخ بازگشت سرمایه بالاتری را به‌دست می‌آورند. زمانی‌که دولت، یارانه‌ای را جهت تأسیسات خورشیدی در نظر بگیرد، موجب کاهش هزینه‌های نصب و استفاده شده و نرخ بازگشت سرمایه را برای مصرف‌کنندگان افزایش می‌دهد. با افزایش تعداد کل سیستم‌های خورشیدی، برق تولید شده توسط سوخت‌های فسیلی می‌تواند با برق خورشیدی جایگزین شده که باعث تولید کم‌تر دی‌اکسیدکربن شده و منجر به کاهش کل انتشار گاز گلخانه‌ای می‌شود.

جهت به کارگیری سازوکارهای تعرفه بر تغذیه و یارانه‌های پیشنهادی برای نصب این سیستم‌ها، احتیاج به سرمایه‌گذاری عظیم دولت است. این دو سیاست، به تأمین بخشی از هزینه‌های مورد نیاز سیستم‌های برق خورشیدی کمک می‌کند. از طرف دیگر، این سیاست‌ها موجب افزایش هزینه‌هایی می‌شود که دولت باید متقبل شود و هزینه کلی سیاست را مشخص می‌کند. به‌طوری‌که با افزایش تعداد کل سیستم‌های خورشیدی، هزینه تعرفه بر تغذیه و هزینه یارانه نصب افزایش پیدا کرده است، به گونه‌ای که براساس هزینه کل سیاست‌های تشویقی و میزان کل کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، می‌توان هزینه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن را محاسبه کرد (هزینه کل سیاست به ازای هر واحد کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن).

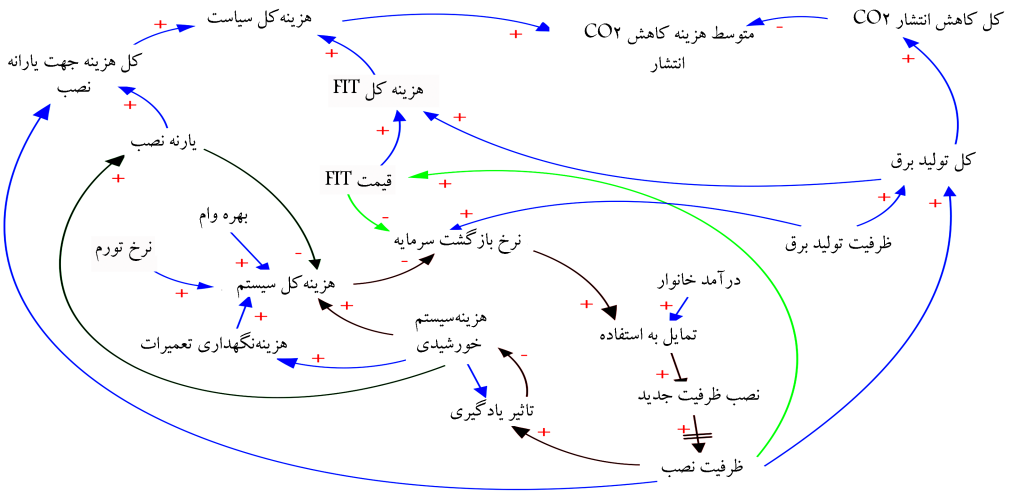
در نمودار علی سیستم مورد نظر، نرخ بازگشت سرمایه، یک نیروی محرک با رشد پیوسته می‌باشد. همانطورکه هزینه‌ی نصب سیستم‌های خورشیدی به‌صورت پیوسته کاهش می‌یابد، تعرفه بر تغذیه افزایش یافته و سبب افزایش نرخ بازگشت سرمایه می‌شود. این موضوع سبب افزایش نصب سیستم‌های PV می‌شود که باعث بالا رفتن هزینه کل یارانه تعلق گرفته به آنها شده و در نتیجه باعث بالارفتن هزینه‌های دولت می‌شود. به همین دلیل، یک سناریو عملی و واقع‌بینانه این است که وقتی نرخ بازگشت سرمایه به حد مطلوب مورد نظر دولت رسید، دولت تلاش می‌نماید که قیمت تعرفه بر تغذیه را ثابت نگه داشته و یا کاهش دهد. این کار سبب کاهش رشد بیش از حد تعداد نصب سیستم‌های خورشیدی در سال می‌شود. در شکل ۳، مدل علی ـ معلولی تکامل یافته تجهیزات سیستم‌های برق خورشیدی و روابط میان آنها به طورکامل نشان داده شده است.

۳.۱.۴. حلقه مصرف برق در بخش خانگی

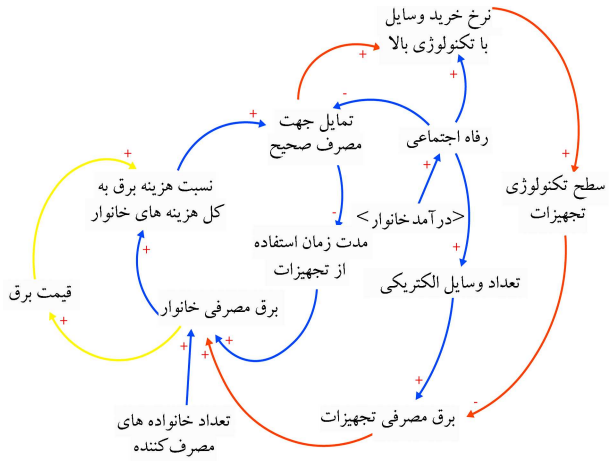
از آنجا که سیستم‌های برق خورشیدی که در این پژوهش بررسی می‌شوند، متصل به شبکه هستند، تمامی برق تولید شده توسط این سیستم‌ها وارد شبکه توزیع شده و تولیدکننده خانگی به هیچ وجه امکان مصرف این انرژی پاک را نداشته و تمامی انرژی مورد نیاز جهت تجهیزات برقی خود را از شبکه سراسری تأمین می‌کند. به همین دلیل، زیرسیستم مصرف برق در بخش خانگی مستقل از زیر سیستم تجهیزات برق خورشیدی می‌باشد.

عوامل اقتصادی مانند قیمت برق و درآمد خانوارها در اکثر مطالعات به‌عنوان پارامترهای موثر لحاظ شده‌اند. در این تحقیق، فاکتورهای تأثیرگذار در مسئله، به چهار دسته فرهنگی ـ اجتماعی، اقتصادی، فنّاوری تجهیزات خانگی تقسیم شده است. بر این مبنا، پارامترهای مهم شناسایی شده در مدل عبارتند از: درآمد خانوار، قیمت برق، فنّاوری تجهیزات خانگی، فرهنگ مصرف مردم و رفاه اجتماعی.[۴۰]

همان‌طورکه مشخص است، مصرف برق هر خانوار براساس میزان استفاده از تجهیزات برقی مشخص می‌شود. به گونه‌ای که هرچه مدت زمان استفاده از این تجهیزات بیشتر شود، انرژی مصرفی خانوار را افزایش می‌دهد. این افزایش انرژی مصرفی، به دلیل تأثیر مثبت آن بر فاکتور قیمت برق و نسبت هزینه برق به کل هزینه‌های خانوار، تمایل خانواده‌ها را به مصرف صحیح افزایش می‌دهد. با افزایش تمایل به مصرف صحیح و وجود عواملی چون سطح رفاه اجتماعی و متوسط درآمد خانوارها، خانواده‌ها به سمت خرید و استفاده از تجهیزات با فنّاوری بالا می‌روند. افزایش سطح فنّاوری، باعث کاهش مصرف برق تجهیزات می‌شود. در نتیجه، کل انرژی مصرفی خانوار کاهش می‌یابد. این کاهش انرژی مصرفی، موجب کاهش



شکل ۳. مدل علی ـ معلولی تجهیزات سیستم‌های برق خورشیدی.



شکل ۴. مدل علی-معلولی مصرف برق در بخش خانگی.

نسبت هزینه برق در سبد هزینه‌ای خانوار می‌شود و تمایل جهت مصرف صحیح را کاهش می‌دهد. با توجه به آنچه گفته شد، مدل علی ـ معلولی مصارف برق خانگی در شکل ۴ نشان داده شده است.

۴.۱.۴. مدل علی ـ معلولی یکپارچه سازی شده

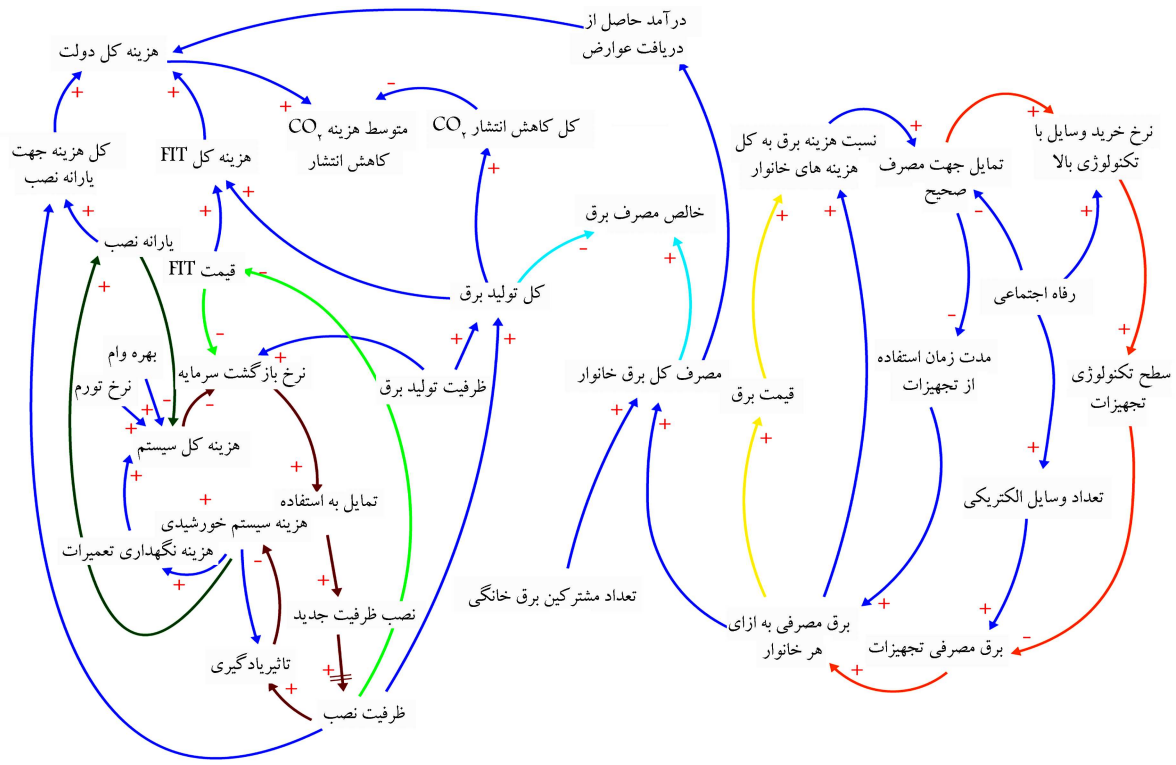
زیرسیستم مصرف برق در بخش خانگی و زیرسیستم تولید برق توسط تجهیزات برق خورشیدی مستقل از یکدیگر هستند. زیرا تمامی برق تولید شده توسط این سیستم‌ها وارد شبکه توزیع شده و تولیدکننده خانگی این انرژی پاک را تولید و به شبکه توزیع وارد می‌نماید. با توجه به پایین بودن قیمت برق سراسری، مصرف‌کننده خانگی ترجیح می‌دهد برق مصرفی خود را از شبکه تأمین نموده و برقی را که توسط سیستم‌های خورشیدی تولید می‌شود، به دلیل بالا بودن نرخ خرید تضمینی برق توسط دولت، به شبکه تزریق نماید و کل انرژی مورد نیاز جهت تجهیزات برقی خود را از شبکه سراسری تأمین کند. بنابراین در این مدل، خروجی هر دو زیرسیستم برای تعیین میزان مصرف خالص برق از شبکه در مدل لحاظ شده است. به این گونه که میزان کل تولید برق توسط این سیستم‌ها را از میزان مصرف کل برق توسط مشترکین خانگی کم کرده تا مصرف خالص به دست آید. طبق ماده ۵ قانون حمایت از صنعت برق، دولت موظف است برای تأمین بخشی از منابع لازم جهت اجرای طرح‌های توسعه و تولید برق تجدیدپذیر و پاک، عوارض مصرف هر کیلووات ساعت برق را در بودجه سالانه پیش‌بینی نماید و وجوه حاصله را به حساب شرکت توانیر نزد خزانه‌داری کل کشور واریز کرده و ۱۰۰ درصد آن را تنها بابت کمک به اجرای طرح‌های مذکور هزینه کند (ساتبا). از این رو، با توجه به نرخ عوارض برق در طول سال‌های مختلف، تعداد مشترکین برق خانگی و کل مصرف برق توسط مشترکین، می‌توان مبلغ این وجوه را به‌دست آورده و از کل هزینه‌هایی که دولت بابت پیاده‌سازی سیاست‌های حمایتی تعرفه بر تغذیه و یارانه نصب متقبل می‌شود، کم کرده و هزینه کل دولت را محاسبه نمود. با وارد کردن تمامی متغیرهایی که به آن‌ها اشاره شد، مدل کلی و یکپارچه تحقیق پیش رو در شکل ۵ ارائه شده است.

۵.۱.۴. مدل جریان انباشت یکپارچه تحقیق

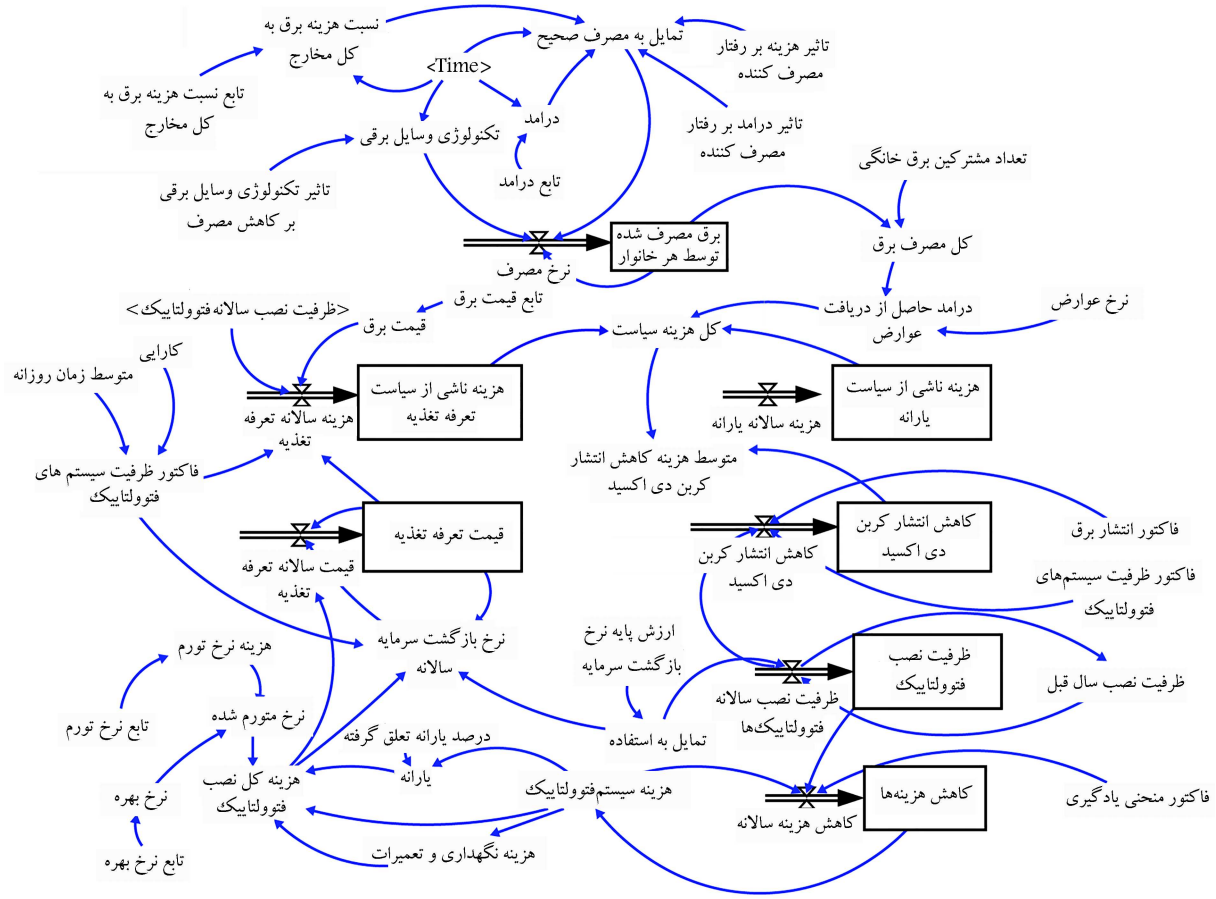
در این قسمت با استفاده از نمودار علی ـ معلولی مسئله، مدل جریان انباشت مسئله ارائه شده است. برای شبیه‌سازی نمودارها و حلقه‌های علی ـ معلولی، متغیرهای نرخ و انباشت از یکدیگر تفکیک شده و مدل جریان انباشت شکل می‌گیرد. در نمودار جریان انباشت، سه نوع متغیر حالت یا انباشت، نرخ و کمکی وجود دارد. متغیر حالت[۱۷] در جریان یک دوره زمانی شکل می‌گیرد. متغیرهای نرخ[۱۸] موجب تغییر در مقدار متغیرهای حالت می‌شود و متغیرهای کمکی[۱۹] به‌صورت ضرایبی که رابطه بین متغیرهای دیگر را تعیین می‌کنند، مشخص می‌شوند.[۲۰] به‌طور معمول، متغیرهای برون در سیستم توسط این متغیرها نشان داده می‌شوند. در این مدل، ارتباط میان تأسیسات سیستم‌های برق خورشیدی، کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و سیاست‌های مدنظر و مصرف برق در بخش خانگی، با استفاده از فرمول‌های ریاضی در نرم‌افزار ونسیم ایجاد شد. در شکل ۶، مدل جریان انباشت نشان داده شده است.

۵. اعتبارسنجی مدل

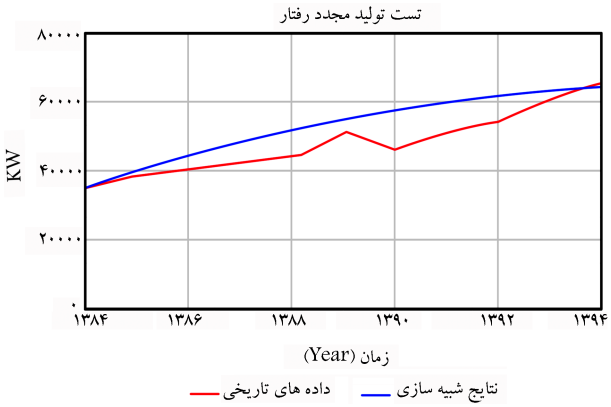
پس از توسعه مدل و قبل از آنکه از مدل برای تحلیل نتایج و سناریو پردازی استفاده شود، همواره برخی از تست‌های اعتبارسنجی بر روی مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم‌ها انجام می‌شود تا از اعتبار و صحت مدل تحت شرایط مختلف اطمینان حاصل گردد. در این پژوهش از تست تحلیل حساسیت و تولید مجدد رفتار برای اعتبار سنجی استفاده شده است.



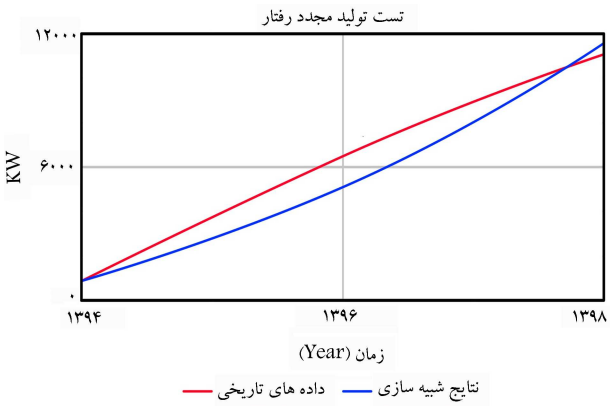
شکل ۵. مدل علی ـ معلولی یکپارچه تحقیق.



شکل ۶. مدل جریان انباشت تحقیق.



شکل ۷. نتایج شبیه‌سازی میزان مصرف انرژی به ازای هر خانوار طی سالهای ۹۴ ـ ۸۶.



شکل ۸. نتایج شبیه‌سازی ظرفیت نصب سیستم‌های خورشیدی.

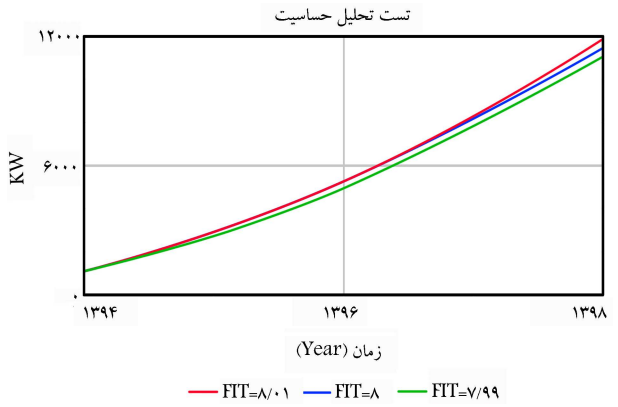
۱.۵. تولید مجدد رفتار

یکی از مهم‌ترین تست‌های موجود، تست تولید مجدد رفتار (مقایسه با داده‌های تاریخی) است. تقریبا در تمامی مدل‌های پژوهش‌های صورت گرفته، از این تست در اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. این امر نشان دهنده اهمیت این تست می‌باشد. بنابراین، اولین تست انجام شده در این تحقیق نیز مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با داده‌های تاریخی است. با در نظر داشتن داده‌های تاریخی مربوط به میزان مصرف انرژی به ازای هرخانوار، مدل برای سال‌های ۹۸ ـ ۸۶ شبیه‌سازی شد. متوسط درصد خطای مطلق (MAPE) [۲۱] برابر با ۰/۰۳ به‌دست آمد که نشان‌دهنده صحت نسبی مدل می‌باشد. شکل ۷ نشان دهنده نتایج مقایسه با داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده است.

با توجه به اینکه طرح نیروگاه‌های خانگی از سال ۱۳۹۴ اجرا شده است، داده‌های مربوط به ظرفیت نصب پنل‌های خورشیدی در طی سال‌های ۹۸ ـ ۹۴ در دسترس می‌باشد. به همین دلیل، مدل با استفاده از داده‌های تاریخی موجود در طی این پنج سال شبیه‌سازی شده است. متوسط درصد خطای مطلق برابر با ۰/۰۷ به‌دست آورده شد که نشان‌دهنده صحت نسبی مدل می‌باشد. شکل ۸ نشان‌دهنده نتایج مقایسه با داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی شده است.

۲.۵. تحلیل حساسیت

جهت حصول اطمینان بیشتر از مدل و با توجه به آنچه که در قسمت‌های قبلی



شکل ۹. نتایج تست تحلیل حساسیت به‌ازای سه مقدار تعرفه بر تغذیه (۹۹ /۷، ۸، ۸/۰۱) در ظرفیت نصب.

جدول ۱. سناریوهای اجرایی.

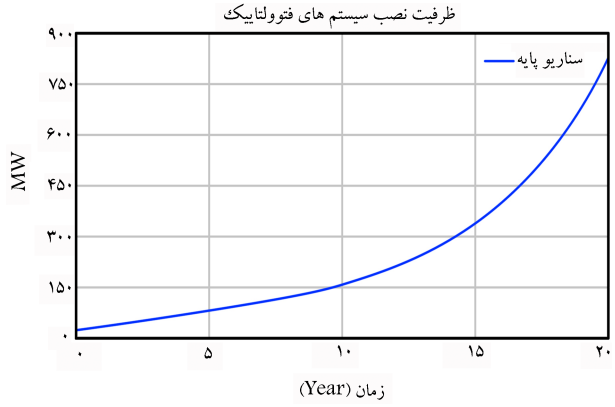
سناریو	قیمت تعرفه در تغذیه (هزار ریال / کیلووات ساعت)	درصد یارانه (٪)
سناریو پایه	۸	۰
S_1	۱۰	۰
S_2	۶	۱۰
S_3	۴	۲۰

گفته شد، تست تحلیل حساسیت برای تعیین میزان ظرفیت نصب در طی سه سال شبیه‌سازی انجام شد. با توجه به اینکه در اولین سال شبیه‌سازی (سال ۱۳۹۴)، دولت به ازای هرکیلووات تولید برق از این سیستم‌ها مبلغ ۸ هزار ریال پرداخت کرده است، سه مقدار مختلف، ۷/۹۹، ۸ و ۸/۰۱ هزار ریال برای قیمت اولیه تعرفه بر تغذیه در نظرگرفته شد. نتایج شبیه‌سازی به ازای این سه مقدار حاکی از آن بود زمانی‌که قیمت اولیه برابر با ۷/۹۹ هزار ریال باشد، ظرفیت نصب سیستم‌های خورشیدی تا پایان سال ۹۸ به ۱۰۴۷۲ کیلووات خواهد رسید. هنگامی‌که این قیمت به ۸ هزار ریال تغییر پیدا می‌کند، ظرفیت نصب تا پایان سال ۹۸ به ۱۱۹۸۶/۲ کیلووات می‌رسد که نشان‌دهنده این است که به ازای ۰/۰۱ هزار ریال افزایش در قیمت، ظرفیت به میزان ۱۵۱۴/۲ کیلووات افزایش پیدا می‌کند. در نهایت، زمانی‌که قیمت به ۸/۰۱ هزار ریال افزایش می‌یابد، ظرفیت تا پایان سال ۹۸ به ۱۲۵۶۹ کیلووات افزایش پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهد با تغییر در متغیر قیمت تعرفه، تغییرات قابل توجهی در مقادیر مربوط به ظرفیت نصب مشاهده می‌شود. شکل ۹ این نتایج را به ازای سه مقدار مختلف نشان می‌دهد.

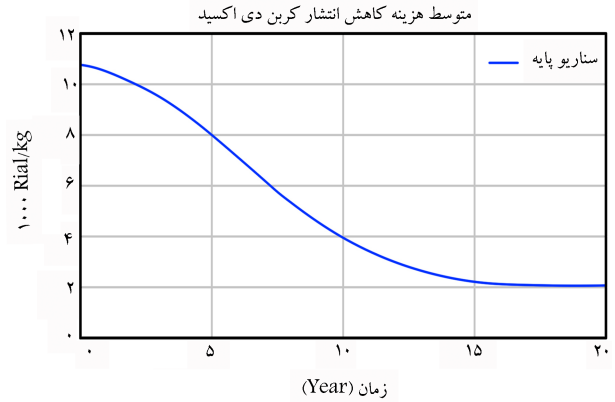
۶. تنظیم سناریو

باتوجه به مطالعات انجام شده در این زمینه و استفاده از نظرات خبرگان (مشاوران مالی، مهندسین، طراحان سیستم‌های تولید برق خورشیدی در بخش خانگی و متخصصین سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر) در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و سیاست‌های قابل اجرا، سناریوهای محتمل برای سیستم‌های تولید برق خورشیدی در بخش خانگی به‌صورت زیر تعریف شده و خلاصه آن در جدول ۱ ارائه شده است.

ـ سناریو پایه (S_B): ثابت در نظرگرفتن قیمت تعرفه بر تغذیه و برابر با ۸ هزار ریال طی ۲۰ سال آینده بدون یارانه؛



شکل ۱۰. ظرفیت انباشته شده سیستم‌های تولید برق خورشیدی در طی ۲۰ سال آینده (۱۴۱۷ – ۱۳۹۸) تحت سناریو پایه.

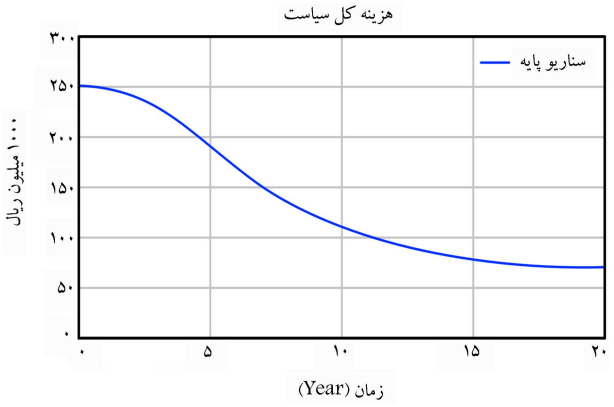


شکل ۱۱. متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در طی ۲۰ سال آینده (۱۴۱۷ – ۱۳۹۸) تحت سناریو پایه.

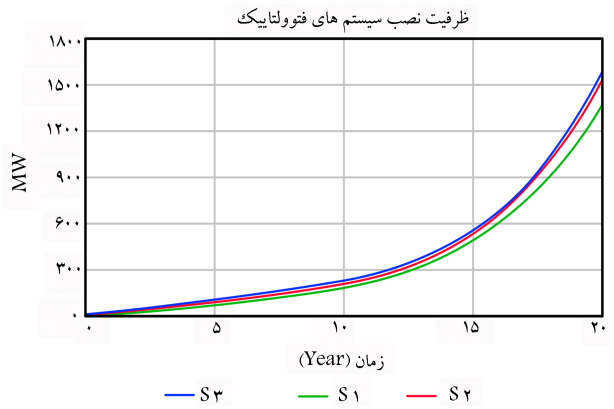
- سناریو ترکیبی اول (S_1): در نظر نگرفتن یارانه و افزایش قیمت تعرفه بر تغذیه و برابر با ۱۰ هزار ریال طی ۲۰ سال آینده؛
- سناریو ترکیبی دوم (S_2): تعلق‌گرفتن مقدار پایین یارانه (۱۰ درصد) به سیستم‌های تولید برق خورشیدی و کاهش مقدار کمی در قیمت تعرفه بر تغذیه و برابر با ۶ هزار ریال طی ۲۰ سال آینده؛
- سناریو ترکیبی سوم (S_3): در نظرگرفتن مقدار بالای یارانه (۲۰ درصد) برای سیستم‌های تولید برق خورشیدی و کاهش بسیار در قیمت تعرفه در تغذیه و برابر با ۴ هزار ریال طی ۲۰ سال آینده.

۱.۶. سناریو پایه

این سناریو همان سناریوی اجرایی شده توسط دولت است. با توجه به متوسط عمر ۲۰ ساله سیستم‌های خورشیدی، شبیه‌سازی‌های برای این سناریو انجام شد. همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشخص است، تحت تأثیر این سناریو، ظرفیت انباشته شده سیستم‌های خورشیدی رشد نمایی به خود گرفته و تا پایان سال ۱۴۱۷ به ۸۲۵ مگاوات می‌رسد. با مشاهده شکل ۱۱ این نتیجه حاصل می‌شود که با اجرای این سیاست، متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن روند کاهشی به خود گرفته و در ابتدا به دلیل بالا بودن هزینه دولت در ابتدای اجرای سیاست و میزان کاهش کمی که در انتشار دی‌اکسیدکربن وجود دارد، متوسط هزینه کاهش انتشار بالا بوده و سپس کاهش پیدا می‌کند. به گونه‌ای که تا پایان سال ۱۴۱۷ برابر



شکل ۱۲. هزینه کل سیاست در طی ۲۰ سال آینده (۱۴۱۷ – ۱۳۹۸) تحت سناریو پایه.



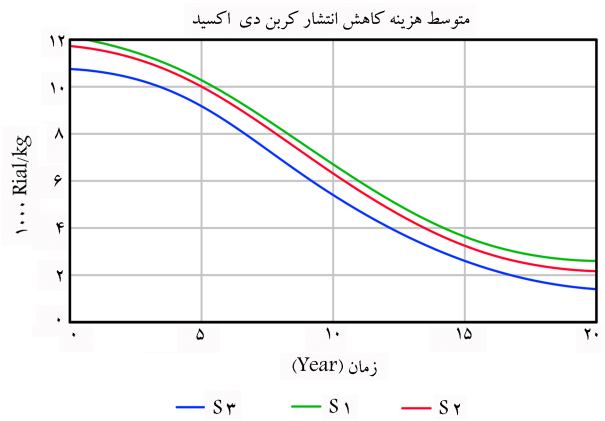
شکل ۱۳. ظرفیت نصب سیستم‌های تولید برق خورشیدی در طی ۲۰ سال آینده (۱۳۹۸ – ۱۴۱۷) تحت سناریوهای ترکیبی.

با ۲/۰۱ می‌باشد. هزینه کل سیاست با اجرای این سناریو روند کاهشی پیدا کرده به گونه‌ای که در سال‌های ابتدایی بالا بوده و سپس با یک شیب تند کاهش پیدا کرده و بعد از آن با شیب بسیار کمی به کاهش خود ادامه می‌دهد. به‌طوری‌که در سال ۱۴۱۸، هزینه کل سیاست به ۷۱/۵۱۶ هزار میلیون ریال می‌رسد (شکل ۱۲).

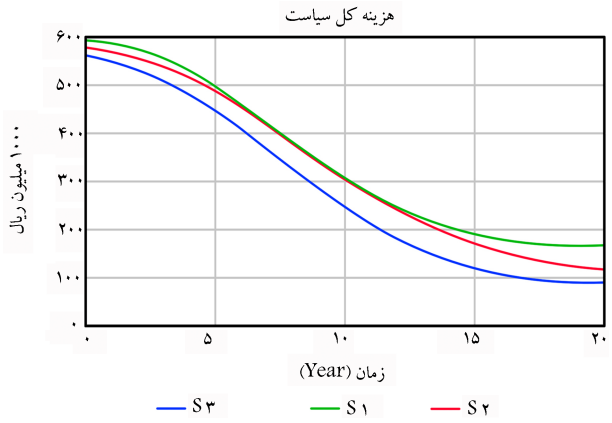
۲.۶. سناریوهای ترکیبی

در عمل، دولت‌ها سیاستی که ترکیبی از سازوکار تعرفه بر تغذیه و یارانه است در نظر می‌گیرند. اما متأسفانه در کشور ایران، سیاست تعرفه بر تغذیه به تنهایی اجرا شده که اثرات مختلف این سیاست در سناریو پایه بررسی شده است. بنابراین، تجزیه و تحلیل اثر سیاست‌های ترکیبی مختلف بر ظرفیت انباشته شده سیستم‌های خورشیدی و هزینه ناشی از اجرای آن، برای یافتن سیاست ترکیبی بهینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه، سه سناریو ترکیبی در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی، اثرات مختلف این سه سیاست را بر ظرفیت انباشته شده سیستم‌های خورشیدی، متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، مصرف خالص برق در بخش خانگی و هزینه کل سیاست در طی ۲۰ سال آینده نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل ۱۳ مشخص است، اثر سه سناریو بر ظرفیت انباشته شده سیستم‌های خورشیدی نشان می‌دهد که تقریبا هر سه سیاست روند مشابهی



شکل ۱۴. متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در طی ۲۰ سال آینده (۱۴۱۷ – ۱۳۹۸) تحت سناریوهای ترکیبی.



شکل ۱۵. هزینه کل سیاست در طی ۲۰ سال آینده (۱۴۱۷ – ۱۳۹۸) تحت سناریوهای ترکیبی.

را طی می‌کنند و تقریبا با یکدیگر همپوشانی دارند. اما در سناریو شماره سه، این ظرفیت در سال ۱۴۱۷ به ۱۵۴۲ مگاوات رسیده و نسبت به سناریو اول و دوم نتیجه بهتری را در بر خواهد داشت. چرا که این ظرفیت برای سناریو اول برابر با ۱۴۵۱ مگاوات و برای سناریو دوم برابر با ۱۵۰۸ مگاوات می‌باشد.

در شکل ۱۴ اثر این سیاست‌ها بر متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، تمامی سیاست‌های ترکیبی اثرکاهشی بر متوسط هزینه‌ها داشته اما به ازای سناریو سوم تا پایان سال ۱۴۱۷، متوسط هزینه کاهش یک کیلوگرم دی‌اکسید کربن برابر با ۱/۴۱ می‌باشد که نسبت به سناریوهای دیگر بهتر است.

هزینه کل دولت جهت انتشار و تشویق مردم به استفاده از این سیستم‌ها روند کاهشی به خود گرفته و حلقه تعدیل‌کننده جهت کنترل هزینه‌های دولت ایجاد شد که به محض افزایش و ایجاد رشد نمایی، هزینه‌ها را در سطح مطلوبی کاهش دهد. همان‌گونه که در شکل ۱۵ مشخص است، این هزینه‌ها با اجرای سناریو سوم وضعیت مطلوب‌تری داشته و برابر با ۸۹/۱۸۳ هزار میلیون ریال می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۳، مصرف خالص برق از شبکه تحت هر چهار سناریو با یکدیگر همپوشانی داشته است. زیرا واحد ظرفیت تولید برق مگاوات و ظرفیت مصرف برق گیگاوات می‌باشد. اما در پایان سال ۱۴۱۷ و تحت سناریو سوم، این مصرف به ۷۰/۲۴۵ (هزارگیگاوات) رسیده و مقدارکمتری نسبت به همه سناریوها دارد.

۷. نتیجه‌گیری

کشورهای دنباله‌رو محیط زیست اگرچه غالبا دارای پتانسیل بالایی برای تولید برق خورشیدی می‌باشند، اما پیشرفت‌های اندکی در این زمینه داشته‌اند. از دلایل اصلی این امر می‌توان به ناکارامدی سیاست‌های موجود، دسترسی به انرژی‌های فسیلی ارزان قیمت، عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی و عدم بلوغ فنّاوری‌های و زیرساخت‌های مرتبط اشاره کرد. زیرا ایران از منبع انرژی خورشیدی بالایی برخوردار بوده اما در بهره‌برداری از آن ضعیف عمل کرده است. بنابراین، جهت دستیابی به ظرفیت بالای سیستم‌های خورشیدی در بخش خانگی، در نظرگرفتن یارانه از طرف دولت درکنار سیاست حمایتی تعرفه برتغذیه می‌تواند تمایل مصرف‌کنندگان را به سمت استفاده بیشتر از این سیستم‌ها سوق داده و ظرفیت نصب شده آنها را به مقدار قابل توجهی افزایش داده و تأثیر به‌سزایی درکم کردن میزان انتشار دی‌اکسید کربن داشته باشد. با اجرای سناریو پایه، اگرچه میزان هزینه‌های دولت در مجموع کمتر است، اما متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن بالا بوده و میزان ظرفیت نصب شده تا پایان سال ۱۴۱۷ بسیارکمتر از سناریوهای ترکیبی می‌باشد. در نتیجه، ظرفیت کمترکاهش کمتری در انتشار دی‌اکسید کربن خواهیم داشت و تا پایان سال ۱۴۱۷ این کاهش به مقدار ۳۵/۶۱ میلیون تن گاز دی‌اکسیدکربن می‌رسد. در سناریوهای ترکیبی اگرچه ترکیب سیاست‌های تشویقی یارانه و تعرفه بر تغذیه بر تعداد ظرفیت سیستم‌های خورشیدی به‌طور تقریبی نتیجه مشابهی در بر دارد، اما سیاست ترکیبی یارانه بالاتر و قیمت تعرفه بر تغذیه پایین‌تر، متوسط هزینه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن کمتری را نتیجه می‌دهد. این نتیجه می‌تواند با قدرت سرمایه‌گذاری خانوارها و تورم نسبتا بالا درکشور دنباله‌رو محیط زیست توجیه شود. بنابراین، به منظور دستیابی به ظرفیت بالای سیستم‌های خورشیدی در درازمدت، ترکیب یارانه بالاتر با قیمت خرید تضمینی پایین‌تر می‌تواند هزینه‌های دولت و مصرف خالص برق از شبکه را به نسبت سناریوهای دیگر به مقدار قابل توجهی کاهش داده و میزان ظرفیت انباشته شده وکاهش انتشار دی‌اکسید کربن را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد. بنابراین، سناریو سوم می‌تواند به سیاست‌گذاران در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر پیشنهاد شود. علی‌رغم اینکه برای سیستم مورد نظر در هیچ یک از سناریوها نقطه هدفی (برای مثال بودجه دولت برای توسعه انرژی خورشیدی یا ظرفیت تولیدی نصب شده) تعیین نشده است، سیستم رشد نمایی به خود گرفته و در یک حلقه بازخوردی مثبت افزایش پیدا می‌کند. غلاوه بر آن، رشد نمایی هزینه‌های دولت، کاهش S به خود گرفته که یکی از رایج‌ترین رفتارهای موجود برای شبیه‌سازی سیستم‌های واقعی می‌باشد. در این نوع رفتار، ابتدا سیستم با شیب تندی کاهش پیدا کرده و سپس به سمت یک مقدار تعادل حرکت می‌کند. به این ترتیب که در ابتدا بازخورد منفی در سیستم غالب استولی پس از مدتی حلقه غالب به سمت بازخورد مثبت منتقل شده که این نقطه عطف جایی است که انتقال صورت می‌گیرد.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که سیاست‌گذاران درکشورهای دنباله‌رو محیط زیست، با استفاده از سیاست‌های افزایش جذابیت سرمایه‌گذاری، ایجاد آگاهی در مصرف‌کنندگان خانگی از طریق تبلیغات عمومی و برنامه‌های مدون، در نظرگرفتن یارانه‌های سرمایه‌ای با دقت مناسب، سیاست تعرفه بر تغذیه، بالا بردن قیمت برق و نرخ عوارض حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی، می‌توانند تمایل مصرف‌کنندگان را جهت نصب سیستم‌های خورشیدی افزایش دهند.

پانوشت‌ها

1. Renewables Global Status Report
2. Solar Photovoltaic
3. Most Environmentally Friendly
4. Least Environmentally Friendly
5. United Nations Environment Program
6. System Dynamic
7. Feed-in-Tariff
8. Renewable Portfolio Standards

۹. به پرداخت نقدی دولت به تولید کننده خانگی برق خورشیدی به عنوان یک سیاست تشویقی گویند.

۱۰. در روش پویایی شناسی سیستم ها با تمرکز بر حلقه‌های تأثیر گذار درون سیستم، تأثیرات غیرخطی و تأخیرهای زمانی در میان متغیرها و همچنین ماهیت انباشتی یا جریانی متغیرها، رفتار یک سیستم مورد بررسی قرار می گیرد.

۱۱. لازم به ذکر می باشد که علی رغم نکات ذکر شده، هزینه سرمایه گذاری برای نیروگاه های خورشیدی ۸۶۰ دلار به ازای هر کیلو وات و برای نیروگاه های سیکل ترکیبی ۱۰۰۰ دلار به ازای هر کیلو وات می باشد.[۲]

12. Subsidy
13. Net-Metering
14. Net-Belling
15. Benchmarking
16. Photovoltaic
17. Level or Stock Variable
18. Rate Variables
19. Auxilary Variables

۲۰. روابط ریاضی مابین در پیوست به صورت مبسوط تشریح شده است.

21. Mean Absolute Percentage Error

منابع (References)

1. https://b2n.ir/j96767 (accessed Jul. 08, 2022).
2. Hong, Jinglan., 2018. Uncertainty propagation in life cycle assessment l warming and non-renewable of biodiesel versus diesel: Globa energy. *Bioresource Technology*, *113*, pp.3-7. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.107.
3. Arent, Douglas, J., Alison, Wise. and Rachel, Gelman., 2019. The status and prospects of renewable energy for combating global warming. *Energy Economics*, *33*(4), pp.584-593. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.11.003.
4. Renewables 2022 Global Status Report — Globalabc [WWW Document], n.d. URL https://globalabc.org/resources/publications/renewables-2022-global-status-repor t (accessed 7.9.22).
5. Fadai, Dawud., Zahra, Shams, Esfandabadi. and Azadeh, Abbasi., 2018. Analyzing the causes of non-development of renewable energy-related industries in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(6) pp.2690-2695. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.03.001.
6. Sadid, Waselul Haque., Prianka Islam., and Kowshik Das., 2019. *Optimum Power Control of Household Appliances Using IoT In Smart Buildings*. Handbook of Research on the IoT, Cloud Computing, and Wireless Network Optimization. IGI Global, pp.259-279. DOI:10.4018/978-1-5225-7335-7.ch013.
7. Cory, Karlynn., Toby, Couture. and Claire, Kreycik., 2019. Feed-in tariff policy: Design, implementation, and RPS policy interactions. No. NREL/TP-6A2-45549. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
8. Mostafaeipour, Ali., Marzieh, Alvandimanesh., Fatemeh, Najafi. and Alibek, Issakhov., 2021. Identifying challenges and barriers for development of solar energy by using fuzzy best-worst method: A case study. *Energy*, *226*, p.120355. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120355.
9. Firoozi, Elham. and Mahmood, Eghtesadifard. 2021. Identifying and assessing risks affecting the development of Iranian low-and medium-voltage solar photovoltaic power plants: Using incentive schemes for risk mitigation. *International Journal of Ambient Energy*, pp.1-17. https://doi.org/10.1080/01430750.2021.1953587.
10. Hsu, Chiung-Wen., 2012. Using a system dynamics model to assess the effects of capital subsidies and feed-in tariffs on solar PV installations. *Applied Energy 100*, pp.205-217. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.02.039.
11. Lesser, Jonathan, A. and Xuejuan, Su., 2008. Design of an economically efficient feed-in tariff structure for renewable energy development. *Energy Policy*, *36*(3), pp.981-990. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.007.
12. Midttun, Atle. and Kristian Gautesen., 2007. Feed in or certificates, competition or complementarity? Combining a static efficiency and a dynamic innovation perspective on the greening of the energy industry. *Energy Policy*, *35*(3), pp.1419-1422. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.008.
13. Pyrgou, Andri, Angeliki Kylili, and Paris A. Fokaides., 2014. The future of the Feed-in Tariff (FiT) scheme in Europe: The case of photovoltaics. *Energy Policy 95*, pp.94-102. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.048.
14. Campoccia, Angelo. and et al., 2014. An analysis of feed'in tariffs for solar PV in six representative countries of the European Union. *Solar Energy 107*, pp.530-542. https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.05.047.
15. White, Lee V., Bob Lloyd, and Sarah J. Wakes., 2013. Are Feed-in Tariffs suitable for promoting solar PV in New Zealand cities? *Energy Policy 60*, pp.167-178. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.079.
16. Wang, Hongwei. and et al., Analysis of the policy effects of downstream Feed-In Tariff on China's solar photovoltaic industry. *Energy Policy 95*, pp.479-488. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.026.
17. Farias-Rocha, Ana Paula. and et al. Solar photovoltaic policy review and economic analysis for on-grid residential installations in the Philippines. *Journal of Cleaner Production*, *223*, pp.45-56. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.085.
18. Muhammad-Sukki, Firdaus. and et al., 2014. Feed-in tariff for solar photovoltaic: The rise of Japan. *Renewable Energy 68*, pp.636-643. https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.012.
19. Tongsopit, Sopitsuda. and Chris Greacen., 2013. An assessment of thailand's feed-in tariff program. *Renewable Energy 60*, pp.439-445. https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.05.036.
20. Coria, Gustavo, Franco Penizzotto. and Rolando Pringles., 2019. Economic analysis of photovoltaic

30. Hosseini, Seyed Hossein, G., Hamed Shakouri. and FA Roozbeh Akhlaghi., 2012. A study on the near future of wind power development in Iran: A system dynamics approach. *Second Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation*. IEEE. http://dx.doi.org/10.1109/ICREDG.2012.6190459.

31. Martin, Nigel. and John Rice., 2013. The solar photovoltaic feed-in tariff scheme in New South Wales Australia. *Energy Policy 61*, pp.697-706. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.038.

32. Zahedi, Ahmad., 2010. A review on feed-in tariff in Australia, what it is now and what it should be. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(9), pp.3252-3255. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.033.

33. Poullikkas, Andreas, George Kourtis, and Ioannis Hadjipaschalis. 2012. An overview of the EU Member states support schemes for the promotion of renewable energy sources. *International Journal of Energy and Environment*, *3*(4), pp.553-566.

34. Poullikkas, Andreas., 2019. A comparative assessment of net metering and feed in tariff schemes for residential PV systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *3*, pp.1-8. https://doi.org/10.1016/j.seta.2013.04.001.

35. http://www.moe.gov.ir/.

36. Ghaemi Rad, Mojtaba and Shahin, Arash., 2019. Perspective analysis of development of solar energy technologies in Iran by combining SWOT and DEMATEL. *Journal of Energy Policy & Planning Research*, *2*(5), pp.97-130. [In Persian].

37. Nicknam, Neda et al., 1394. Opportunities and challenges of sustainable development of photovoltaic systems in Iran. *Sustainability, Development and the Environment*, *2*(1), pp.17-19. [In Persian].

38. http://www.satba.gov.ir/.

39. Sterman, J.D.J.D., 2000. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world (No. HD30. 2 S7835 2000).

40. Ahmadvand, A. M., S. F. Ghaderi, and H.R. Boustanpour. The analysis of residential energy consumption in Iran using system dynamic. *2018 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*, *3*, IEEE, 2018. http://dx.doi.org/10.1109/ICCMS.2010.431.

projects: The argentinian renewable generation policy for residential sectors. *Renewable Energy 133*, pp.1167-1177. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.098.

21. Lin, L.C. and Cheng, M.N., 2010. Evaluation using system dynamics for renewable energy mechanism effect on electricity sector. *Energy policy*, *36*, pp.981-990.

22. Oliva, Sebastián, and Iain MacGill., 2013. Dynamic model approach to assess feed-in tariffs for residential PV systems. Energy transition and policy challenges, *36th IAEE International Conference*, June 16-20, 2013. International Association for Energy Economics, http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5174.1522.

23. Ahmad, Salman. and et al., 2015. Role of feed-in tariff policy in promoting solar photovoltaic investments in Malaysia: A system dynamics approach. *Energy 84*, pp.808-815. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.047.

24. Shahmohammadi, M., Sadegh, et al., 2015. A decision support system for evaluating effects of feed-in tariff mechanism: Dynamic modeling of Malaysia's electricity generation mix. *Applied Energy 146*, pp.217-229. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.076.

25. Lyu, Haifang. and et al., 2017. Research on Chinese Solar photovoltaic development based on green-trading mechanisms in power system by using a system dynamics model. *Energy Procedia*, *105*, pp.3960-3965. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.823.

26. Jäger, T., Schmidt, S. and Karl, U., 2010. A system dynamics model for the german electricity market. *In International Conference on Policy Modeling*. Ottawa, Canada.

27. Dusonchet, Luigi, and Enrico Telaretti., 2010. Economic analysis of different supporting policies for the production of electrical energy by solar photovoltaics in western European Union countries. *Energy Policy*, *38*(7), pp.3297-3308. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.053.

28. Gipe, Paul., 2006. Renewable energy policy mechanisms. Renewable Energy.

29. Talavera, D.L., G. Nofuentes. and J. Aguilera., 2010. The internal rate of return of photovoltaic grid-connected systems: A comprehensive sensitivity analysis. *Renewable Energy*, *35*(1), pp.101-111. httpp://doi.org/10.1016/j.renene.2009.07.006.

پیوست

الف) برای نمایش مدل به‌صورت ریاضی، رابطه بین متغیرهای حالت و متغیرهای جریان به‌صورت یک تابع تعریف می‌شود:

$$x_i(t+dt) = x_{i۱}t_۱ + dt(RI_i(t) - RD_i(t))$$

$$RI_i(t) = f_i(x_۱, x_۲, \ldots, x_n, y_۱, y_۲, \ldots, y_n)$$

$$RD_i(t) = g_t(x_۱, x_۲, \ldots, x_n, y_۱, y_۲, \ldots, y_n)$$

به طوری‌که $x_۱, x_۲, \ldots, x_n$ بیانگر متغیرهای حالت، $y_۱, y_۲, \ldots, y_n$ بیانگر متغیر های کمکی و $RI_۱, RI_۲, \ldots, RI_n$ به $RD_۱, RD_۲, \ldots, RD_n$ ترتیب متغیر های جریان های افزایشی و کاهشی را نمایندگی می‌کنند.

به‌این ترتیب با توجه به روابط بالا در صورتی که مقادیر اولیه متغیرهای حالت و متغیرهای کمکی در زمان t مشخص شود و همچنین توابع g_i، f_i نیز x_i تعریف گردند، می‌توان مقادیر را در زمان‌های بعدی محاسبه نمود.

ب)

۱. هزینه سالانه تعرفه تغذیه= ظرفیت نصب سالانه پنل‌ها* فاکتور ظرفیت سیستم‌های فتوولتاییک* (قیمت برق ـ قیمت تعرفه تغذیه)* ۳۶۵*۲۰؛

۲. ظرفیت نصب سالانه فتوولتاییک‌ها= تمایل به استفاده * ظرفیت نصب سال قبل؛

۳. ظرفیت نصب سال قبل= Delay FixED (مقدار اولیه ظرفیت نصب فتوولتاییک، ۱، ظرفیت نصب سالانه پنل‌ها)؛

۴. تمایل به استفاده=نرخ بازگشت سرمایه سالانه/ارزش پایه نرخ بازگشت سرمایه؛

۵. نرخ بازگشت سرمایه سالانه= فاکتور ظرفیت سیستم‌های فتوولتاییک* قیمت تعرفه تغذیه* ۳۶۵/هزینه کل نصب فتوولتاییک؛

۶. هزینه کل نصب فتوولتاییک= هزینه سیستم فتوولتاییک ـ یارانه+ نرخ متورم شده+ هزینه نگهداری و تعمیرات؛

۷. هزینه نگهداری و تعمیرات= هزینه سیستم فتولتاییک* ۰/۰۵؛

۸. کاهش انتشار سالانه کربن دی‌اکسید= ظرفیت نصب سالانه فتوولتاییک‌ها* فاکتور ظرفیت سیستم‌های فتوولتاییک* فاکتور انتشار برق* ۳۶۵*۲۰؛

۹. فاکتور انتشار برق= ۰/۶۹؛

۱۰. متوسط هزینه کاهش انتشارکربن دی‌اکسید= هزینه کل سیاست /کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید؛

۱۱. هزینه کل سیاست= هزینه ناشی از سیاست یارانه+ هزینه ناشی از سیاست تعرفه تغذیه - درآمد حاصل از دریافت عوارض؛

۱۲. تمایل به مصرف صحیح= (نسبت هزینه برق به کل مخارج) تأثیر هزینه بر رفتار مصرف‌کننده))+ (درآمد) تأثیر درامد بر رفتار مصرف‌کننده)؛

۱۳. فناوری وسایل برقی= تأثیر فناوری وسایل برقی بر کاهش مصرف (Time)؛

۱۴. درآمد حاصل از دریافت عوارض= کل مصرف برق+ نرخ عوارض