بررسی تاثیر سیاست حمایتی تلفیقی بر نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک مقیاس خانگی

فاطمه الدورکی/دانشگاه فردوسی مشهد/ Fuadkrb86@gmail.com

حبیب رجبی مشهدی /دانشگاه فردوسی مشهد/ h-mashhadi@um.ac.ir

مسعود رضوانیان/دانشگاه فردوسی مشهد/msd.rezvanian@mail.um.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد تولید انرژی، باعث شده تغییراتی در دیدگاه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری از سیستم قدرت ایجاد شود. با استفاده از مدل نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک می‌توان به سوالاتی در حوزه برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت و طراحی سیاست‌های حمایتی پاسخ داد. هدف از مدل‌های نفوذ نوآوری، شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند اتخاذ فناوری توسط افراد جامعه است. در این مقاله تاثیر سیاست حمایتی تلفیقی (اعطای وام و خرید تضمینی) بر نفوذ نیروگاه فتوولتاییک مقیاس خانگی شبیه‌سازی شده است. تصمیم‌گیری عامل‌ها با در نظر گرفتن ریسک‌پذیری و محدودیت بودجه و ظرفیت قابل نصب، مدل‌سازی شده است. پویایی هزینه‌های احداث نیروگاه فتوولتاییک در روند شبیه‌سازی، با استفاده از مدل یادگیری فناوری لحاظ شده است. به منظور ارزیابی سیاست حمایتی تلفیقی، سناریوهای مختلفی برای وام و تعرفه خریدتضمینی بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد به منظور افزایش نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک در میان‌مدت (پنج سال آینده) بهره‌گیری از مشوق مالی (اعطای وام) تاثیر بیشتری خواهد داشت. به‌طور کلی مدل ارایه شده در این مقاله می‌تواند جهت ارزیابی اثربخشی سیاست حمایتی تلفیقی دولت به کار گرفته شود. این مدل می‌تواند تقسیم بهینه منابع بین مشوق‌های مالی متفاوت را مشخص کند. همچنین پویایی زمانی بهینه برای تلفیق سیاست‌های حمایتی مختلف را ارایه دهد.

کلمات کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، سیاست حمایتی تلفیقی، مدل نفوذ، نیروگاه فتوولتاییک.

Investigating the impact of consolidated supportive policy on the influence of home-based photovoltaic power plants

Fateme Aldorki/Ferdowsi University of Mashhad/ Fuadkrb86@gmail.com

Habib Rajabi Mashhadi/Ferdowsi University of Mashhad/ h-mashhadi@um.ac.ir

Masood Rezvanian/Ferdowsi University of Mashhad/ msd.rezvanian@mail.um.ac.ir

Abstract

In recent years, increasing share of renewable technologies in energy supply basket lead to a change of viewpoint in power system planning and operation. The aim of “diffusion of innovation” models is to predict and simulate new technology adoptions by the members of society. Questions related to policy design and power system planning can be

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

answered by utilizing diffusion of solar photovoltaic systems.

In this paper, the impact of combined politics (lending and feed in tariffs) has been simulated on the diffusion of the home-grown photovoltaic power plant. Factor decision making is modeled with regard to risk taking and budget and capacity constraints. The dynamics of the cost of building a photovoltaic power plant in the simulation process is considered using the technology learning model.

In order to evaluate the consolidation policy, various scenarios for loan and feed in tariffs payments have been investigated. The simulation results show that, in order to increase the diffusion of photovoltaic power plants in the medium term (the next five years), the use of financial incentives (lending) will be more effective. Therefore, in the medium term, lending policies will be more effective if government funding is limited. The results also show that the best diffusion in the middle (end of the fifth year) is for a scenario in which fixed tariffs and fixed loan amounts are given each year.

In general, the model presented in this paper can be used to assess the effectiveness of the consolidated support policy of the state. This model can determine the optimal allocation of resources between different financial incentives. It also provides optimal time dynamics for various incentives.

Keywords: Renewable Energies, Consolidated Supportive Policy, Influence Model, Photovoltaic Power Plant.

۱- مقدمه

محدودیت ذخایر نفتی جهان در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی باعث نگرانی دولت‌ها شد. این موضوع هم‌زمان با دوره‌ای است که سرمایه‌گذاری در بخش انرژی تجدیدپذیر آغاز شده و تلاش برای جایگزین کردن فناوری‌های تجدیدپذیر، به‌جای سوخت‌های فسیلی معمول آغاز گردید. حادثه فاجعه بار نیروگاه هسته‌ای در چرنوبیل در سال ۱۹۸۶ میلادی تاثیر زیادی در تغییر جهت برنامه‌ریزی در صنعت برق داشت. این حادثه نشان داد که انرژی هسته‌ای به طرز قابل‌توجهی خطرناک بوده و تاثیر زیادی بر سلامت انسان می‌گذارد که می‌تواند منجر به یک فاجعه شود. بعد از این حادثه، مخالفت با انرژی هسته‌ای افزایش یافت که این موضوع امتیاز جدیدی برای انرژی‌های تجدیدپذیر ایجاد کرد. بعد از حادثه فوکوشیما نیز در سال ۲۰۱۱ میلادی در ژاپن، بیشتر دولت‌ها علاقه شدیدی برای یافتن جایگزین انرژی هسته‌ای پیداکردند[۱].

توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر به واسطه ویژگی‌های خاصی که دارند (هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری، عمر بلندمدت پروژه، مزایای محیط‌زیستی و امنیت انرژی)، وابسته به سیاست‌ها و مشوق‌ها می‌باشد. مزیتی که انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به منابع فسیلی و هسته‌ای دارند این است که فناوری آن هنوز بالغ نشده و هزینه‌های سرمایه‌گذاری در این حوزه با گسترش فناوری کاهش یافتنی است[۲].

مدل‌های نفوذ نوآوری به بررسی نحوه‌ی انتشار و رشد یک پدیده‌ی جدید در جامعه می‌پردازند، روند انتشار شامل چهار عنصر کلیدی نوآوری، کانال‌های ارتباطی، زمان و سیستم اجتماعی است[۳]. با بهره‌گیری از مدل‌های نفوذ می‌توان تاثیر مشوق‌های دولتی را بر میزان نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده تحلیل کرد. پیش‌بینی نتایج سیاست‌های حمایتی برای انرژی تجدیدپذیر به علت افق زمانی بلندمدتی که دارند، پیچیده می‌باشد. از طرفی تخمین میزان نصب منابع تجدیدپذیر در آینده، در برنامه‌ریزی‌های کلان نقش به‌سزایی دارد، که با استفاده از شبیه‌سازی مدل نفوذ می‌توان ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر را تعیین کرد.

هدف اصلی این مقاله، شبیه‌سازی مدل نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک خانگی و بررسی تاثیر مشوق‌های دولتی و سیاست حمایتی تلفیقی بر نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک مقیاس خانگی می‌باشد.

این مقاله از چهار بخش تشکیل شده است. در بخش نخست به بیان‌انگیزه تحقیق و اهمیت مساله می‌پردازیم. در بخش دوم ابتدا به شرح اجزای اصلی مدل نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک پرداخته و سپس مدل جامع نفوذ فتوولتاییک، ارایه شده است. در بخش سوم شبیه‌سازی مشوق‌های مالی و قانونی بر نفوذ فتوولتاییک و نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آورده شده و در بخش چهارم، نتیجه‌گیری ارایه شده است.

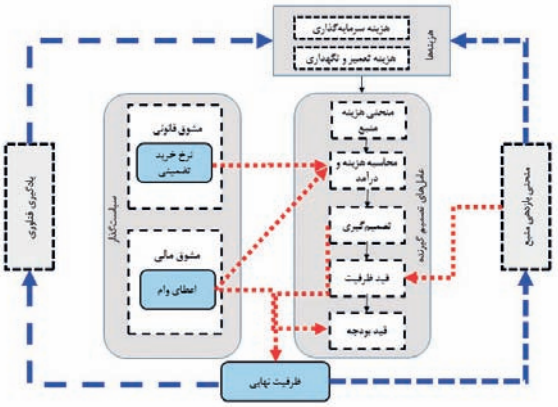
۲- تشریح مدل پیشنهادی

در این بخش از مقاله، نحوه مدل‌سازی نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک خانگی در سیستم قدرت توصیف شده است. شکل (۱) روند کلی شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. در این فرآیند، ابتدا منحنی بازدهی منبع برای گستره جغرافیایی مورد نظر برآورد می‌شود. این منحنی میزان ظرفیت کل در دسترس به ازای هر ضریب ظرفیت را نشان می‌دهد. بر اساس این منحنی و هزینه نیروگاه‌ها، منحنی هزینه‌منبع برای نیروگاه‌های فتوولتاییک مقیاس خانگی در مناطق مسکونی آورده شده است. درآمد نیروگاه‌های فتوولتاییک براساس میزان انرژی تولیدی و مشوق‌های قانونی (نرخ خریدتضمینی) تعیین می‌شود. سپس عملیات تصمیم‌گیری برای عامل‌های سرمایه‌گذار بر اساس منحنی هزینه‌منبع و میزان درآمد انجام می‌شود. هر عامل که با محدودیت بودجه مواجه شود، می‌تواند از مشوق مالی (وام) برای تکمیل بودجه کمک بگیرد. براساس ظرفیت نصب شده و نرخ یادگیری فناوری و همچنین در نظرگرفتن تاثیر مشوق مالی(وام)، هزینه‌ها به روز می‌شود، سپس منحنی بازدهی منبع براساس هزینه‌های جدید و ظرفیت نصب شده سالانه به‌روز می‌شود. بدین ترتیب حلقه شبیه‌سازی بسته شده و روند سرمایه‌گذاری عامل‌ها در هر سال تکرار می‌شود.

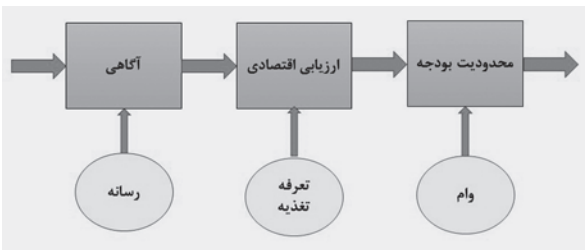
در روند شبیه‌سازی، هر عامل ابتدا از فناوری فتوولتاییک آگاه می‌شود، سپس محاسبات اقتصادی را برای احداث نیروگاه فتوولتاییک برآورد می‌کند. در صورتی‌که درآمد ماهیانه از هزینه بیشتر باشد، تصمیم به نصب نیروگاه فتوولتاییک می‌گیرد. هر فرد بعد از تصمیم‌گیری برای نصب نیروگاه فتوولتاییک، میزان ظرفیت قابل نصب خود را با توجه به بودجه در دسترس، برآورد می‌کند و اگر با محدودیت بودجه مواجه شود، از وام (عامل مالی مشوق دولت) کمک می‌گیرد. روند تصمیم‌گیری هر عامل سرمایه‌گذار در شکل (۲) نشان داده شده

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

است.



شکل ۱: فرآیند شبیه‌سازی نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک مقیاس خانگی



شکل ۲: مراحل تصمیم‌گیری عامل‌های سرمایه‌گذار

۲-۱-یادگیری فناوری

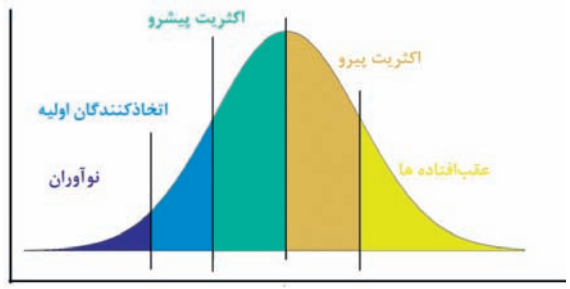
کاهش هزینه بر اثر یادگیری فناوری و گسترش استفاده از یک فناوری در طی زمان، آینده روشنی را برای توسعه و نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر رقم می‌زند. مطالعات زیادی برای بدست آوردن تابع منحنی یادگیری فناوری انجام شده است. برای هزینه‌های مربوط به انرژی فتوولتاییک، یادگیری منطقه‌ای و بین‌المللی می‌توانند بر هزینه فتوولتاییک موثر باشند. بنابراین در رابطه (۱)، رابطه ظرفیت نصب‌شده جهانی و منطقه‌ای با تابع منحنی یادگیری فتوولتاییک درنظرگرفته شده است[۴].

$$Cost_n = \alpha_{local} \times Cost_{n-1} \times \left(\frac{Q_{n-1}}{Q_{n-2}}\right)^{\frac{\ln(1-LR_{local})}{\ln 2}} + \alpha_{global} \times Cost_{n-1} \times \left(\frac{Y_{n-1}}{Y_{n-2}}\right)^{\frac{\ln(1-LR_{global})}{\ln 2}} \quad (۱)$$

در (۱) $Cost_n$ هزینه در سال n، Q_n ظرفیت نصب‌شده منطقه‌ای در سال n، ظرفیت نصب‌شده جهانی در سال n، و LR_{local} [۱] و LR_{global} [۲] به ترتیب نرخ یادگیری منطقه‌ای و بین‌المللی و α_{local} و α_{global} نیز به ترتیب بخش منطقه‌ای و بین‌المللی هزینه هستند.

۲-۲- مدل نفوذ راجرز

انتشار یک نوآوری، فرآیندی است که طی آن، نوآوری از طریق کانال‌های ارتباطی در میان اعضای یک سیستم اجتماعی منتشر می‌شود. براساس مدل راجرز افراد جامعه از نظر سرعت پذیرش فناوری با یکدیگر متفاوت هستند. همان‌طور که در شکل(۳) ملاحظه می‌شود، در این مدل افراد جامعه از نظر ریسک‌پذیری به پنج دسته تقسیم می‌شوند، افرادی که پیش از همه فناوری جدید را می‌پذیرند «نوآوران» هستند. روند نفوذ پس از این دسته، توسط دسته دیگری از جمعیت که ریسک‌پذیری کمتری داشته و فرآیند تصمیم‌گیری را با سرعت کمتری طی می‌کنند دنبال می‌شود[۵].



شکل۳: نرخ پذیرش نوآوری بر اساس مدل راجرز

۲-۳- محاسبه هزینه و درآمد

به منظور محاسبه درآمد باید میزان تولید انرژی مشخص شود که به عوامل مختلفی که در رابطه (۲) آمده است، بستگی دارد.

$$E_m = 24 \times D \times CF \times Cap \quad (۲)$$

E_m انرژی تولیدی ماهانه بر حسب کیلووات ساعت، D تعداد روزهای ماه (۳۰ روز)، CF [۳] ضریب ظرفیت و Cap توان نامی پروژه بر حسب کیلووات می‌باشد. پس از آن میزان ارزش فعلی درآمد واحد فتوولتاییک از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. ضریب تعدیل سالانه خریدتضمینی درنظر گرفته شده است. این ضریب در ۱۰ ساله دوم قرارداد خریدتضمینی برابر ۰.۷ درنظر گرفته‌شده است.

$$NPV_{Rev} = \sum_{n=1}^{n=120} E_m \times Fit \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right] + \sum_{n=121}^{n=240} E_m \times 0.7 \times Fit \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right] \quad (۳)$$

NPV_{Rev} ارزش فعلی درآمد پروژه خورشیدی، i نرخ بهره ماهیانه عامل سرمایه‌گذار و Fit [۴] نرخ خرید تضمینی می‌باشد. بخش نخست مربوط به ۱۰ ساله اول دوره خرید تضمینی و بخش دوم مربوط به ۱۰ ساله دوم دوره خرید تضمینی می‌باشد. ارزش فعلی هزینه کل واحدهای خورشیدی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$NPV_{Cost} = Cost_{inv} + Cost_{O\&M} \times \left[\frac{(1+i_a)^{20} - 1}{i_a(1+i_a)^{20}}\right] \quad (۴)$$

NPV_{Cost} هزینه فعلی کل واحد خورشیدی، $Cost_{inv}$ [۵] هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، $Cost_{O\&M}$ [۶] هزینه سالانه بهره‌برداری و نگهداری و i_a نرخ بهره سالانه عامل سرمایه‌گذار می‌باشد.
بنابراین براساس مقدار هزینه فعلی و انرژی تولیدی کل پروژه، شاخص میزان هزینه انرژی $LCOE$ [۷] برحسب IRR/kWh محاسبه می‌شود. که در رابطه (۵) آورده شده است.

$$LCOE = \frac{NPV_{Cost}}{\sum_{n=1}^{n=240} E_m} \quad (۵)$$

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

$$LROE = \frac{NPV_{Rev}}{\sum_{n=1}^{n=240} E_m} \quad (۶)$$

همچنین شاخص درآمد واحد انرژی[۸] $LROE$ براساس رابطه (۶) بدست می‌آید. برای مقایسه دقیق درآمد و هزینه بهتر است به صورت پرداخت‌های ماهانه و طی n دوره محاسبه شود.

$$c_i = LCOE \times \left[\frac{i_m (i_m+1)^n}{(i_m+1)^n - 1}\right] \quad (۷)$$

$$r_i = LROE \times \left[\frac{i_m (i_m+1)^n}{(i_m+1)^n - 1}\right] \quad (۸)$$

در رابطه (۷) و (۸) به ترتیب درآمد و هزینه ماهیانه پروژه به ازای یک کیلووات ساعت انرژی در نرخ بهره مربوط محاسبه شده است.

هزینه سرمایه‌گذاری فردی که وام نگرفته برابر با نرخ بهره در نظر گرفته فرد است، در صورتی که عامل سرمایه‌گذار وام بگیرد هزینه سرمایه‌گذاری آن فرد با توجه به میزان و نرخ وام دریافتی‌اش تغییر می‌کند. میانگین هزینه سرمایه WACC[۹] با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌شود[۶].

$$WACC = \frac{(IRR \times B_{max}) + (I_{debt} \times Di)}{B_{max} + Di} \quad (۸)$$

$WACC$ میانگین هزینه سرمایه، IRR نرخ بهره واقعی کشور، B_{max} بودجه هر فرد، I_{debt} نرخ بهره وام و Di میزان وام دریافتی هر فرد می‌باشد.

۲-۴-منحنی هزینه‌منبع

بر اساس منحنی بازدهی منبع و هزینه نیروگاه‌های فتوولتاییک می‌توان منحنی هزینه منبع را بدست آورد. منحنی هزینه منبع نشان‌دهنده هزینه تولید انرژی فتوولتاییک در یک منطقه مشخص است که بدیهی است با تفاوت‌های اقلیمی و تغییرات جغرافیایی مناطق مختلف و بر حسب بازدهی هر منطقه، این منحنی تغییر خواهد کرد. با توجه به اینکه مقیاس ما بخش خانگی است، هر عامل فقط بر روی سقف خانه خود می‌تواند سیستم فتوولتاییک نصب کند. بنابراین در یک منطقه جغرافیایی مشترک، عامل‌های سرمایه‌گذار منحنی هزینه‌منبع مشابهی را خواهند داشت[۷].

۲-۵- فرضیات شبیه‌سازی

در این مقاله سعی شده‌است فرضیات شبیه‌سازی براساس شرایط بومی ایران انجام شود. در جدول (۱) پارامترهای شبیه‌سازی و مقادیر عددی هر کدام آورده شده‌است.

در جدول (۲) میزان بازدهی و ظرفیت فتوولتاییک قابل نصب، فرض‌شده در روند شبیه‌سازی مقیاس خانگی نشان داده شده است. نرخ بهره اقتصادی بر اساس آمار حدود ۱۸٪ در نظرگرفته شده است [۸]. بر مبنای مدل راجرز هر دسته از افراد جامعه، درک متفاوتی از شرایط اقتصادی داشته و نرخ بهره را متفاوت از واقعیت درک می‌کنند. بر این اساس، هرچه میزان ریسک‌پذیری دسته‌های جمعیت راجرز کمتر باشد، درک آنها از نرخ بهره، بیشتر از واقعیت خواهد بود. جدول (۳) نرخ بهره درک‌شده هر عامل از جمعیت راجرز را نشان می‌دهد.

برای مدل‌سازی یادگیری جهانی، نیاز به پیش‌بینی ظرفیت نیروگاه‌های فتوولتاییک جهانی در افق زمانی شبیه‌سازی ۲۰ سال می‌باشد. پیش‌بینی انجام شده در [۹] که در شکل (۴) آمده است، مبنای شبیه‌سازی قرار گرفته‌است.

جدول ۱: فرضیات شبیه‌سازی در انجام محاسبات اقتصادی حالت پایه

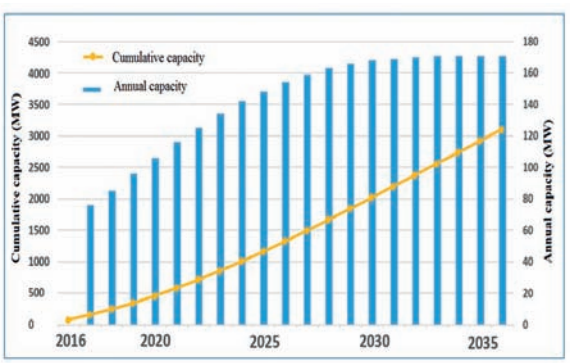
نماد	مقدار	واحد	توضیح
n	۵	#	دسته‌های راجرز
N	۸	سال	طول عمر پروژه
Fit	۸۰۰۰	IRR/Kwh	نرخ خریدتضمینی
$cost_{inv}$	۵۵	Million IRR/Kw	هزینه سرمایه‌گذاری
$Cost_{o\&m}$	۱,۱	Million IRR/Kw	هزینه تعمیر و نگهداری
LR_{local}	۲۰	٪	نرخ یادگیری منطقه‌ای
LR_{global}	۱۷	٪	نرخ یادگیری جهانی
α_{local}	۳۰	٪	درصد هزینه منطقه‌ای
α_{local}	۷۰	٪	درصد هزینه جهانی

جدول ۲: بازدهی و میزان ظرفیت فتوولتائیک قابل نصب فرض‌شده

استان	ضریب ظرفیت	مجموع ظرفیت قابل نصب (MW)
استان ۱	۰.۲۵	۷۵۰۰
استان ۲	۰.۲۳	
استان ۳	۰.۲۱	

جدول ۳: توزیع جمعیت ونرخ بهره درک‌شده در فرآیند شبیه‌سازی

نوع عامل	نرخ بهره درک‌شده (٪)	سهم جمعیت (٪)
نوآوران	۲۱	۲,۵
اتخاذکنندگان اولیه	۲۴	۱۳,۵
اکثریت پیشرو	۲۷	۳۴
اکثریت پیرو	۳۰	۳۴
عقب افتاده‌ها	۳۳	۱۶



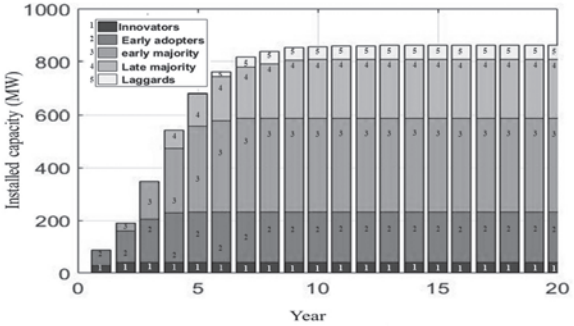
شکل ۴: پیش‌بینی ظرفیت نصب فتوولتاییک در جهان طی ۲۰ سال آینده

۳- نتایج شبیه‌سازی

بر اساس فرضیات شبیه‌سازی حالت پایه که در جدول(۱) و(۲) آمده، نتایج در شکل(۵) آمده است. در این حالت فقط مشوق قانونی در نظرگرفته‌شده است و وامی به سرمایه‌گذاران اعطا نشده است. برای نمایش بهتر حالت پایه در ۲۰ سال نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به هزینه بالای سرمایه‌گذاری، بخش کمی

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

از افـراد جامعه اقدام به نصب سیســتم فتوولتاییــک کرده‌اند. فرآیند سرمایه‌گذاری توسط دسته‌های نوآور راجرز آغاز می‌شود. سپس بر اثر افزایش ظرفیت نصب‌شده و فرآیند یادگیری فناوری، هزینه‌های پروژه کاهش می‌یابد و دســته‌های بعدی راجرز نیز اقدام به ســرمایه‌گذاری می‌کنند.



شکل ۵: نتایج شبیه‌سازی نفوذ فتوولتاییک حالت پایه

۳-۱- سیاست تلفیقی

در این بخش چهار ســناریو در نظر گرفته شده‌اســت، که در جدول (۴) آمده اســت. نتایج شبیه‌سازی چهار سناریو در شکل (۷) به‌صورت مجزا و برای نمایش بهتر تا ۲۰ سال و در شکل (۶) به صورت تجمعی نمایش داده شده‌اند.

جدول۴: سناریوهای طرح‌شده سیاست تلفیقی

سناریوها	تعرفه خرید تضمینی	نرخ بهره وام
سناریو ۱	۸۰۰۰	بدون وام
سناریو ۲	۸۰۰۰	نرخ بهره وام ۱۰٪
سناریو ۳	۹۰۰۰	بدون وام
سناریو ۴	۹۰۰۰	نرخ بهره وام ۱۰٪

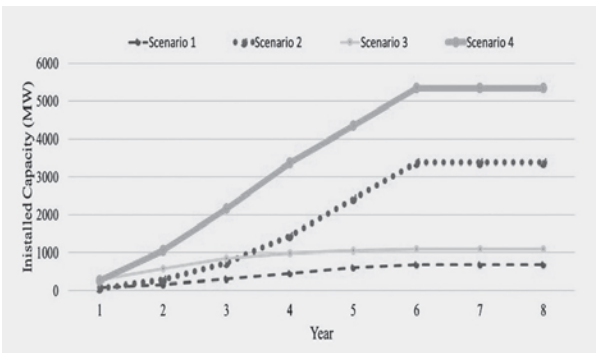
همان‌طور که در شــکل‌های(۶) و (۷) ملاحظه می‌شــود سناریوی ۴ کــه در آن نرخ خرید تضمینی بالاتر و وام اعطا شــده اســت، بهترین نتایج را داشته اســت. سناریو ۱ که در آن وامی پرداخت نشده است، نامناســب‌ترین سناریو می‌باشد. ســناریوی ۳ در مقایسه با سناریو ۲ اثربخشــی کمتری در میان مدت (۵ ســال) از خود نشــان داده است ولی تا ســال ســوم به میزان کمی از ســناریو ۲ پیشــی گرفته است. بنابرایــن می‌توان نتیجه گرفت کــه در میان‌مدت، اعطای وام کم‌بهره برای احداث نیروگاه‌های فتوولتاییک باعث افزایش نفوذ خواهد شــد. در شرایطی که منابع مالی دولت محدود است و دولت باید منابع خود را به صورت تلفیقی در مشوق‌های مالی و قانونی تقسیم کند، سیاست اعطای وام در میان‌مدت اثربخشی بیشتری در پی خواهد داشت.

۳-۲- تعرفه‌گذاری پویا و کیفیت اعطای وام

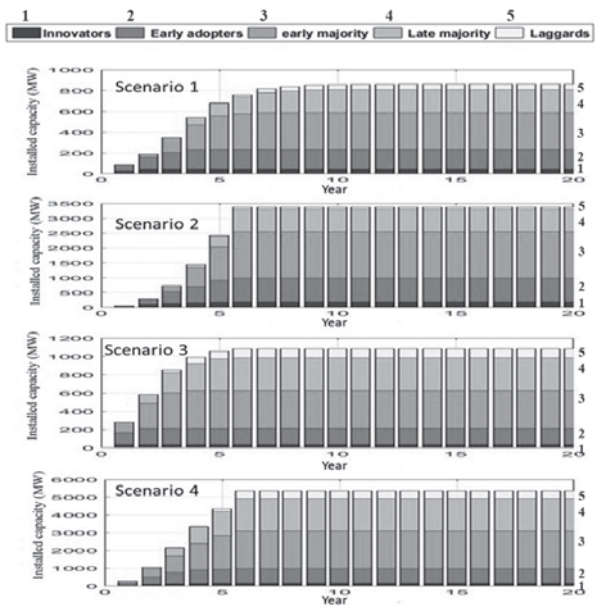
در ایــن بخش تاثیر تعرفه‌گذاری پویــا و کیفیت اعطای وام، بر میزان ظرفیت نصب شــده نهایی، بررسی شده اســت. تعرفه خرید تضمینی می‌توانــد بــه دو صورت ثابــت و یا دینامیک داده‌شــود، که در حالت دینامیــک، مقدار تعرفه خرید تضمینی با توجه به هزینه تولید انرژی الکتریکی از منابع انرژی تجدیدپذیر تعیین می‌شود. با توجه به کاهش هزینه‌ها براســاس یادگیری فناوری، تعرفه دینامیــک در ابتدا مقدار بالاتری خواهد داشــت و در ســال‌های بعد کاهــش می‌یابد. در اینجا فرض شده‌اســت که سیاست‌گذار بتواند از طریق نظارت بر روند بازار، شاخص هزینه انرژی را برآورد کند. بدین ترتیب می‌توان در هر سال، تعرفه خرید تضمینی را براساس هزینه انرژی به‌روز کرد. رابطه ۱۰ به منظور به‌روزرسانی نرخ خرید تضمینی به‌کار گرفته شده است.

$$Fit_n = Fit_{n-1} * \alpha + LCOE * (1-\alpha) \qquad (۱۰)$$

کــه در آن Fit_n نرخ تعرفه دوره n، $LCOE$ شــاخص هزینه انرژی دوره n و α ضریبی است که سیاست‌گذار تعیین می‌کند (در اینجا ۰/۹ لحاظ شده است).



شکل ۶: ظرفیت تجمعی سیاست تلفیقی



شکل۷: نتایج شبیه‌سازی نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک در سناریوهای طرح شده سیاست تلفیقی

کیفیت اعطای وام در اینجا به سه صورت ثابت، نزولی و صعودی طرح شــده است. به این صورت که در حالت نزولی، در سال‌های اول مقدار بودجه وام بیشتر و به تدریج در سال‌های بعد کم شده است. در حالت اعطای وام به صورت صعودی در سال‌های ابتدایی، بودجه وام کمتر و به تدریج در سال‌های بعدی افزایش می‌یابد. در حالت ثابت نیز مقدار بودجه وام به طور مساوی در هر سال داده شده است.

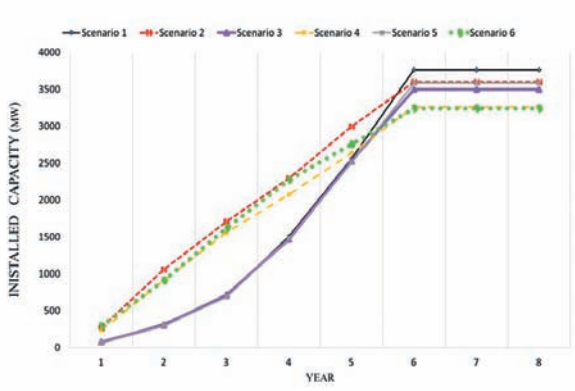
شش ســناریو درنظر گرفته شــده در این بخش در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی نیز در شکل (۸) آورده شده است.

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]

جدول ۵: سناریوهای طرح‌شده تعرفه‌گذاری پویا و کیفیت اعطای وام

سناریوها	دینامیک تعرفه	کیفیت وام
سناریو ۱	تعرفه ثابت ۸۰۰۰ ریال	وام ثابت
سناریو ۲	تعرفه دینامیک ۹۰۰۰ ریال	وام ثابت
سناریو ۳	تعرفه ثابت ۸۰۰۰ ریال	وام نزولی
سناریو ۴	تعرفه دینامیک ۹۰۰۰ ریال	وام نزولی
ستاریو ۵	تعرفه ثابت ۸۰۰۰ ریال	وام صعودی
ستاریو ۶	تعرفه دینامیک ۹۰۰۰ ریال	وام صعودی

همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود بهترین نتایج در میان‌مدت (پنج سال) در سناریوی اول که دارای تعرفه ثابت و مقدار وام ثابت در هر سال بوده‌است، بدست آمده است. نامناسب‌ترین نتایج در سناریو ۴ و سناریو ۶ ملاحظه می‌شود که دارای تعرفه دینامیک است.
البته مساله قابل توجه این است که در کوتاه مدت سناریوهایی که تعرفه دینامیک داشته‌اند، از سناریوهایی که تعرفه ثابت داشته‌اند پیشی گرفته‌اند ولی از اواسط سال چهارم به بعد ظرفیت تجمعی سناریوهایی که تعرفه ثابت داشته‌اند بیشتر شده‌است.
از نظر کیفیت اعطای وام مشخص است که اعطای وام به طور ثابت در طول پنج سال بهترین نتایج نفوذ را داشته است.



شکل ۸: نتایج تغییرات ظرفیت نصب شده انباشتی در سناریوهای طرح شده تعرفه‌گذاری پویا و کیفیت اعطای وام

۴- نتیجه‌گیری

برای بررسی تاثیر سیاست دولت بر نفوذ نیروگاه‌های فتوولتاییک مقیاس خانگی ابتدا براساس فرضیات انجام‌شده و بدون وام فقط با در نظرگرفتن سیاست فعلی (خریدتضمینی) میزان ظرفیت نصب شده بدست‌آمده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد ابتدا دسته نوآوران راجرز فرآیند سرمایه‌گذاری را آغاز کرده‌اند، سپس بر اثر افزایش ظرفیت نصب شده و فرآیند یادگیری فناوری افراد بیشتری اقدام به نصب کرده‌اند و دسته‌های بعدی راجرز نیز پروژه را سودده ارزیابی کرده‌اند. بدین ترتیب، پویایی زمانی مدل بر اساس یادگیری فناوری و دسته‌های جمعیتی راجرز شکل گرفته است.
به منظور بررسی سیاست تلفیقی مشوق قانونی (خرید تضمینی) و مشوق مالی (اعطای وام) به‌طور هم‌زمان و در کوتاه مدت، چهار سناریو در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد در میان‌مدت، اعطای وام کم بهره برای احداث نیروگاه‌های فتوولتاییک باعث افزایش نفوذ خواهد شد. بنابراین در شرایطی که منابع مالی دولت محدود است و دولت باید منابع خود را بین چند سیاست حمایتی تقسیم کند، سیاست اعطای وام در کوتاه مدت اثربخشی بیشتری در پی خواهد داشت.
در بخش انتهای مقاله نیز به منظور بررسی تاثیر تعرفه‌گذاری پویا و کیفیت اعطای وام بر میزان ظرفیت نصب‌شده، شش سناریو مطرح شده است. تعرفه‌گذاری به دو حالت ثابت و دینامیک و کیفیت اعطای وام در سه حالت ثابت، صعودی و نزولی در طول پنج سال آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان نفوذ در میان‌مدت (انتهای سال پنجم) در سناریویی رخ داده که تعرفه ثابت و مقدار وام ثابت در هر سال داده شده است. بهترین نتایج در کوتاه‌مدت (انتهای سال دوم) در سناریوهایی است که تعرفه دینامیک داده‌شده است.
به طور کلی مدل ارایه شده در این مقاله می‌تواند جهت ارزیابی اثربخشی سیاست حمایتی تلفیقی دولت به کار گرفته شود. این مدل می‌تواند تقسیم بهینه منابع بین مشوق‌های مالی متفاوت را مشخص کند. همچنین پویایی زمانی بهینه برای مشوق‌های مختلف را ارایه دهد.

پی‌نوشت‌ها

1 Local learning rate
2 Global learning rate
3 Capacity factor
4 Feed -in -tariffs
5 Investment costs
6 Operation and maintenance costs
7 Levelized cost of energy
8 Levelized revenue of energy
9 Weighted average cost of capital

مراجع

[1] X.-L. Lim, W.-H. Lam, and R. Hashim, “Feasibility of marine renewable energy to the Feed-in Tariff system in Malaysia,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 49, pp. 708–719, 2015.
[2] K. U. Rao and V. Kishore, “A review of technology diffusion models with special reference to renewable energy technologies,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, no. 3, pp. 1070–1078, 2010.
[3] S. Abolhosseini and A. Heshmati, “The main support mechanisms to finance renewable energy development,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 40, pp. 876–885, 2014.
[4] J. Huenteler, C. Niebuhr, and T. S. Schmidt, “The effect of local and global learning on the cost of renewable energy in developing countries,” Journal of Cleaner Production, vol. 128, pp. 6-21, 2016.
[5] Rogers, Everett M. Diffusion of innovations. Simon and Schuster,2010 .
[6] G .Jimenez-Estevez ,R .Palma-Behnke ,R .R .Latorre ,and L .Moran” ,Heat and Dust :The Solar Energy Challenge in Chile “,IEEE Power and Energy Magazine, vol. 13, no. 2, pp. 71–77, 2015.
[7] P. Geroski, “Models of technology diffusion,” Research Policy, vol. 29, no. 4-5, pp. 603–625, 2000.
[8] L. Dusonchet and E. Telaretti, “Comparative economic analysis of support policies for solar PV in the most representative EU countries,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 42, pp. 986–998, 2015.
[9] S. S. Müller, A. Brown, and S. Ölz, “Renewable energy: policy considerations for deploying renewables,” International Energy Agency, 2011.

***

[Downloaded from kiaeee.ir on 2026-05-19]