پژوهشگاه نیرو

NRI-ER-1018-PNEPN35-00-L



بررسی راه‌کارهای توسعه و سیاست‌گذاری‌های حمایتی انرژی‌های تجدیدپذیر ایران

نقشه راه توسعه مدل تحلیل جریان انرژی کشور و آینده‌پژوهی در حوزه توسعه بخش انرژی‌های تجدیدپذیر

مدیر پروژه: دکتر محسن سلیمی

واحد مجری: گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

DOI: 10.30503/nripress.2020.289


بسم الله الرحمن الرحيم

بررسی راه‌کارهای توسعه و سیاست‌گذاری‌های حمایتی انرژی‌های تجدیدپذیر ایران

نقشه راه توسعه مدل تحلیل جریان انرژی کشور و آینده پژوهی در حوزه توسعه بخش انرژی های تجدیدپذیر

مدیر پروژه: دکتر محسن سلیمی

گروه پژوهشی پشتیبان: انرژی‌های تجدیدپذیر

واحد مجری: گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

انتشارات پژوهشگاه نیرو

شهریور ۱۴۰۱

کد ثبت گزارش: NRI-ER-1018-PNEPN35-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر.

بررسی راه‌کارهای توسعه و سیاست‌گذاری‌های حمایتی انرژی‌های تجدیدپذیر ایران: طراحی سناریوهای آینده برای امنیت انرژی / مدیر پروژه: سلیمی، محسن. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۴۱ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. سلیمی، محسن، همکار پروژه. ۲. لاری، حمیدرضا، مدیر واحد مجری. ۳. گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر. ۴. انرژی‌های تجدیدپذیر

انتشارات پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی انرژی‌های تجدیدپذیر

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به پژوهشگاه نیرو و نشر مطالب در حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب محسن سلیمی، مدیر پروژه بررسی راه‌کارهای توسعه و سیاست‌گذاری‌های حمایتی انرژی‌های تجدیدپذیر است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن‌ها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

☐ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

☐ گزارش حاصل انجام ..... مرحله از ..... مرحله پروژه است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۲- ابزارهای مدل‌سازی انرژی ۲

۳- ایجاد جریان انرژی کشور از طریق تشکیل سامانه انرژی مرجع ۲

۴- تعیین پتانسیل تولید و واردات منابع انرژی اولیه در کشور ۵

۵- جمع‌آوری اطلاعات انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر کشور ۹

۶- جمع‌آوری اطلاعات شبکه برق کشور و انواع مصرف‌کننده‌ها ۱۸

۷- تعیین هزینه انرژی حامل‌های مختلف ۱۹

۸- تعیین چالش‌های زیست‌محیطی ۲۷

۹- استفاده از چشم‌اندازهای انرژی ۲۸

۱۰- اجرای مدل و سناریوها، تحلیل نتایج خروجی و تدوین سیاست‌های متناسب ۲۹

۱۱- نیازمندی‌های اجرای مدل آینده‌پژوهی انرژی کشور ۳۰

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

فهرست اشکال

شکل ۱. اهداف سه‌گانه توسعه سیستم انرژی کشور ۱

شکل ۲. نمودار سنکی انرژی ایران- (الف) تراز انرژی ۳

شکل ۲. نمودار سنکی انرژی ایران- (ب) مصارف نهایی ۴

شکل ۳. نمودار جریان انرژی ایران ۵

شکل ۴. نقشه پتانسیل انرژی بادی و خورشیدی در کشور ۷

شکل ۵. ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر به تفکیک استان به مگاوات ۹

شکل ۶. منابع و شبکه انتقال گاز طبیعی ایران ۱۰

شکل ۷. شبکه انتقال برق کشور ۱۹

شکل ۸. قیمت تمام شده برق تجدیدپذیر در سطح جهان ۲۰

شکل ۹. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش‌های مختلف اقتصاد ایران ۲۸

شکل ۱۰. میزان انتشار کربن و دی‌اکسیدکربن فناوری‌های مختلف نیروگاهی در ایران ۲۸

شکل ۱۱. خروجی نرم‌افزار اسموسیس برای تولید برق در (الف) سناریو سوخت فسیلی ۳۰

شکل ۱۱. خروجی نرم‌افزار اسموسیس برای تولید برق در (ب) سناریو کمترین هزینه ۳۰

فهرست جدول

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

جدول ۱. میزان و نوع سیستم عرضه برق نمونه – ورودی نرم‌افزار ۱۰

جدول ۲. سبد سیستم عرضه برق ایران در حال حاضر ۱۲

جدول ۳. سبد سیستم عرضه برق خارج شبکه ۱۳

جدول ۴. بازدهی انتقال و توزیع در حاضر و پیش‌بینی آن ۱۵

جدول ۵. تخمین ظرفیت پالایشگاهی ۱۷

جدول ۶. طراحی سناریو برای تقاضای برق ۱۹

جدول ۷. هزینه سرمایه‌ای مورد نیاز منابع مختلف (دلار به کیلووات) ۲۱

جدول ۸. داده‌های قابل استفاده برای محاسبه هزینه همتراز شده انرژی ۲۲

جدول ۹. عمر اقتصادی فناوری‌های مختلف نیروگاه ۲۲

جدول ۱۰. ضریب ظرفیت فناوری‌های مختلف تولید توان (به درصد) ۲۳

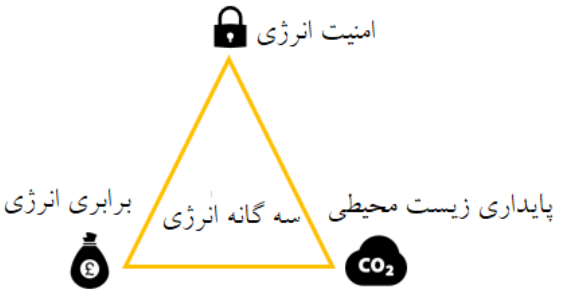
جدول ۱۱. ضریب ظرفیت تخمینی برای تولید برقابی، فتوولتائیک و بادی ۲۴

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

۱- مقدمه

توسعه بخش انرژی‌های تجدیدپذیر کشور نیازمند انجام مطالعات و بررسی‌های متعدد بر روی ساختار موجود بخش انرژی کشور و شناخت دقیق شرایط موجود آن است. بدین ترتیب می‌توان چالش‌ها و نقاط ضعف بخش انرژی در حوزه سه رکن سه گانه انرژی شامل امنیت انرژی، برابری انرژی و پایداری زیست‌محیطی احصا نمود.

در این راستا، بخش انرژی کشور با استفاده از شاخص‌های دسترس‌پذیری، قابلیت دستیابی، توانمندی مالی، قابلیت پذیرش، دسترسی به انرژی و میزان آلایندگی بررسی می‌شود. با استفاده از نتایج حاصله می‌توان به چالش‌های اصلی و فرعی در شرایط موجود بخش انرژی کشور پی برد و سیاست‌های مورد نیاز برای توسعه آینده آن را تعیین نمود. در شکل ۱، اهداف سه‌گانه توسعه سیستم انرژی کشور که سیاستگذاری باید بر دستیابی به آنها انجام شود، به نمایش در آمده است.



شکل ۱. اهداف سه‌گانه توسعه سیستم انرژی کشور

بخش تجدیدپذیر می‌تواند در دستیابی به اهداف کلان انرژی کشور (متناسب با ارکان سه گانه انرژی) نقش تاثیرگذاری داشته باشد. این مهم مستلزم انجام مطالعات آینده‌پژوهانه در خصوص نحوه توسعه این بخش در برنامه‌های کلان انرژی کشور است. بدین منظور می‌بایست اثرگذاری افزایش نفوذ منابع تجدیدپذیر در سبد انرژی و تولید برق کشور به درستی ارزیابی شود.

ابزارهای مدل‌سازی انرژی می‌توانند با محاسبه اثرات افزایش سهم هر یک از حامل‌های انرژی بر شرایط تولید و مصرف سوخت و برق، سیاست‌گذاران را در تدوین سیاست‌های متناسب با شرایط و مطلوبیت‌های کشور یاری رسانند. لذا انتخاب مدل مناسب، مهم‌ترین بخش در ایجاد ساز و کار مطالعات آینده‌پژوهی انرژی کشور می‌باشد.

در این نوشتار شرحی کلی از ابزارها، اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای توسعه مدل آینده‌پژوهی انرژی کشور با هدف تبیین سیاست‌های مورد نیاز برای توسعه بخش تجدیدپذیر، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

۲- ابزارهای مدل‌سازی انرژی

ابزارهای متعددی برای مدل‌سازی انرژی توسط نهادها و موسسات دولتی، خصوصی، بین‌المللی و پژوهشی برای تحلیل جریان انرژی توسعه داده شده است. پاره‌ای از این ابزارها رایگان و متن باز بوده و استفاده از سایر آنها مستلزم صرف هزینه است.

با بررسی موارد موجود، سه ابزار به شرح زیر به عنوان موارد مطلوب انتخاب شده‌اند:

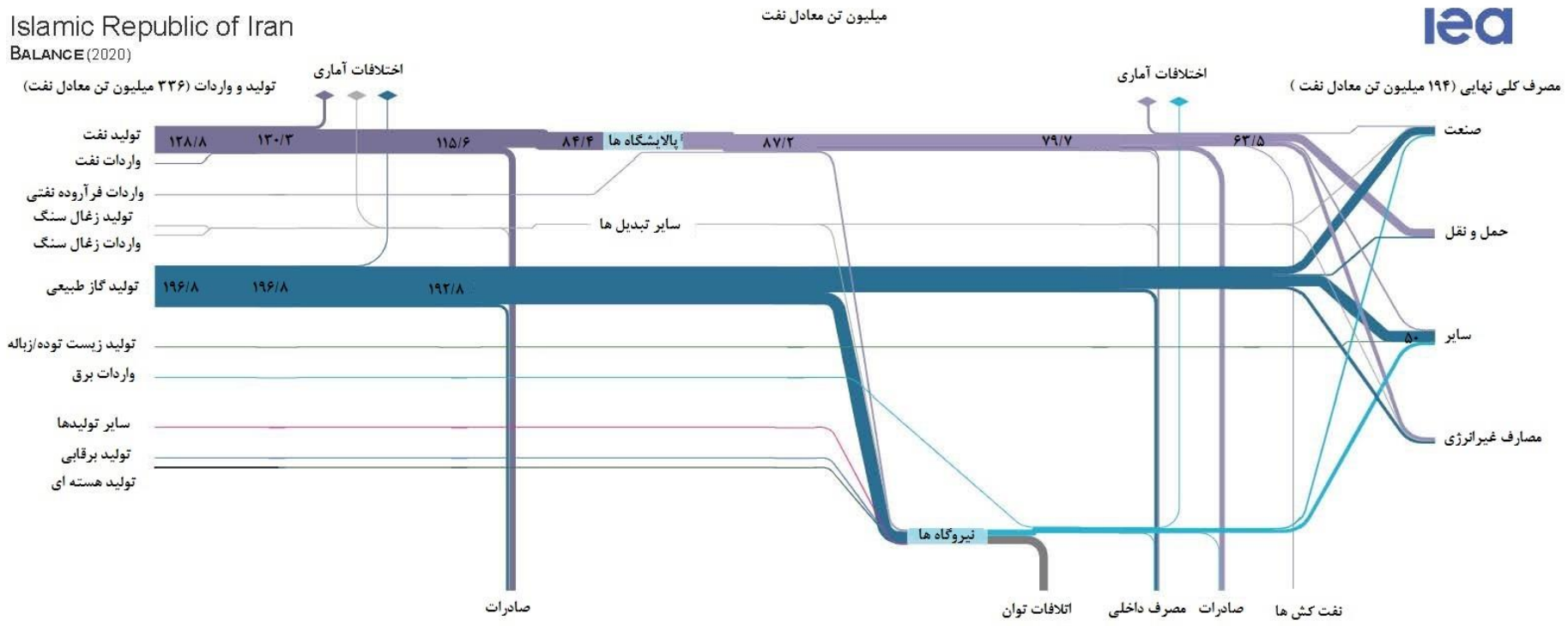
- *Osemosys*
- *LEAP*
- *NEMO*

ابزار اوسموسیس به صورت متن‌باز و رایگان در دسترس عموم قرار داشته و برای تحلیل ساختار انرژی بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. ابزار لیپ به صورت رایگان یکساله و با ثبت نام به صورت فردی قابل تهیه است. اما با توجه به تحریم‌های بین‌المللی دسترسی ایرانیان برای آن امکان پذیر نیست. ابزار نمو نیز شرایط مشابهی با ابزار لیپ را داراست. در شرایط موجود استفاده از ابزار اوسموسیس به دلیل دسترسی آن بهترین گزینه موجود است. به علاوه ویژگی متن‌باز بودن آن باعث می‌شود تا در میان‌مدت بتوان مدل انرژی مختص ایران را با استفاده ازآن تولید نمود. سایر ابزارهای بیان شده را می‌توان برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از اوسموسیس استفاده نمود. برای راه‌اندازی اوسموسیس، مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز است که به ترتیب در ادامه این نوشتار به آن اشاره می‌شود.

۳- ایجاد جریان انرژی کشور از طریق تشکیل سامانه انرژی مرجع

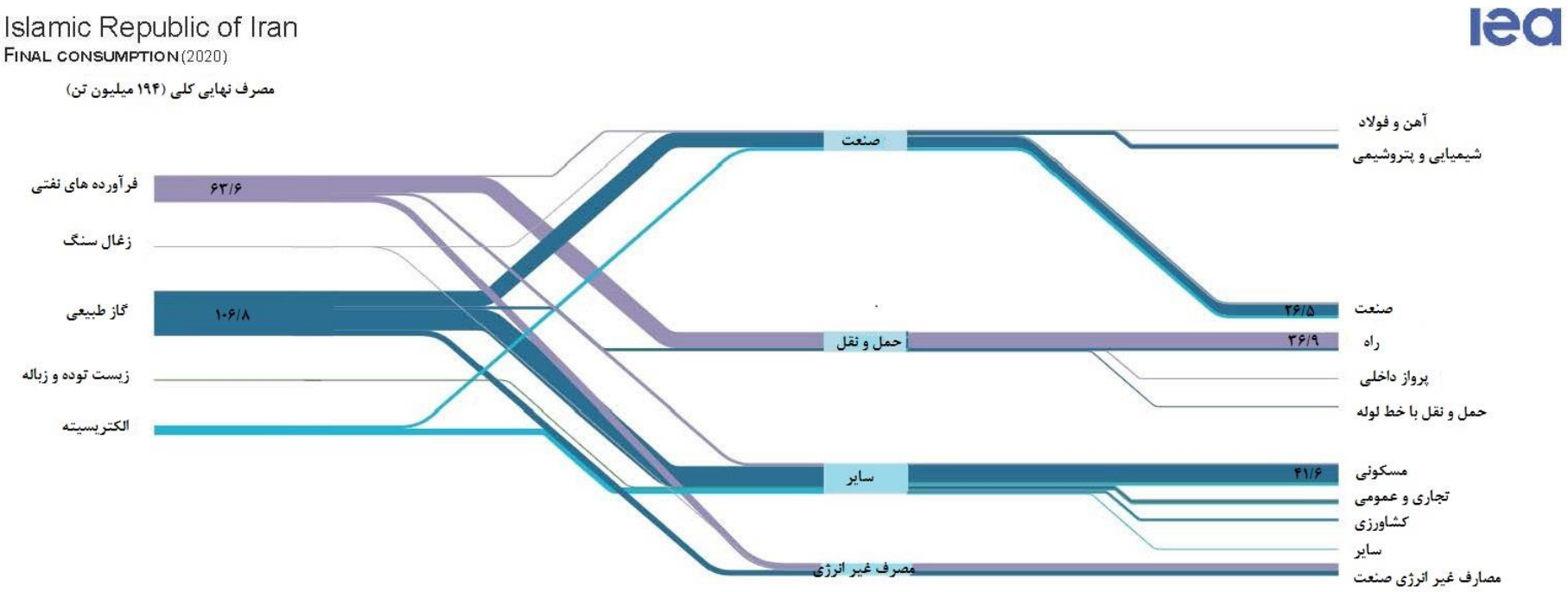
در مرحله اول می‌بابست ساختار جریان انرژی کشور و در اصطلاح سامانه مرجع انرژی را ایجاد نمود. در این بخش کلیه حامل‌های انرژی کشور و فناوری تولید و استخراج یا واردات آنها در کنار فناوری‌های تبدیل آنها با انرژی‌های ثانویه و نهایی مشخص می‌شوند. در اصل ساختار تولید و مصرف انرژی در کشور از این طریق حاصل می‌شود. در شکل ۲ نمودار سنکی انرژی ایران مستخرج از سایت آژانس بین‌المللی انرژی قابل مشاهده است. همان طور که در اشکال مشاهده می‌شود، اقتصاد ایران، برخلاف تصور اقتصادی گازمحور است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289



شکل ۲. نمودار سنکی انرژی ایران- (الف) تراز انرژی

DOI: 10.30503/nripress.2020.289



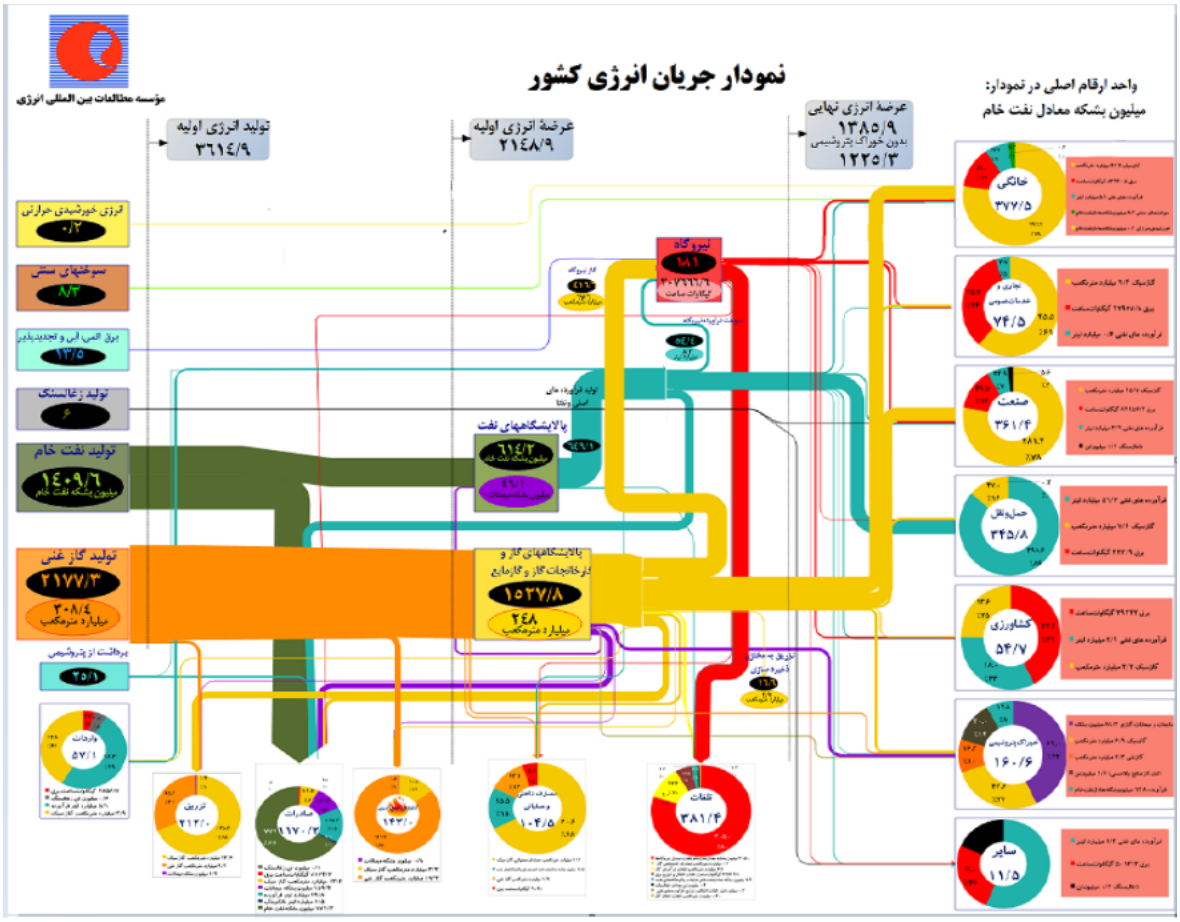
شکل ۲. نمودار سنکی انرژی ایران- (ب) مصارف نهایی

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

برای ایجاد ساختار مذکور می‌توان از منابع زیر استفاده نمود:

- مطالعات پیشین در خصوص سامانه مرجع انرژی ایران
- ترازنامه انرژی کشور مندرج در سازمان‌های بین‌المللی همانند آژانس جهانی انرژی
- ترازنامه انرژی کشور که توسط نهادهای ملی تهیه شده است.

در شکل ۳، نمودار جریان انرژی ایران، مستخرج از ترازنامه هیدروکربوری کشور که شامل تولید انرژی اولیه، عرضه انرژی اولیه و عرضه انرژی نهایی است، نمایش داده شده است.

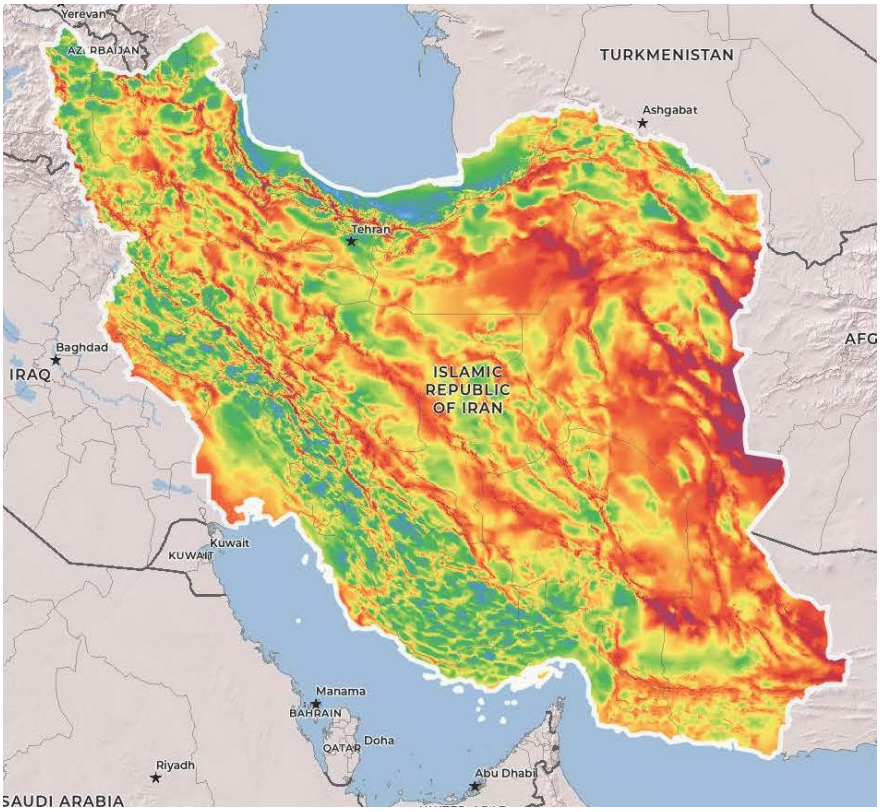


شکل ۳. نمودار جریان انرژی ایران

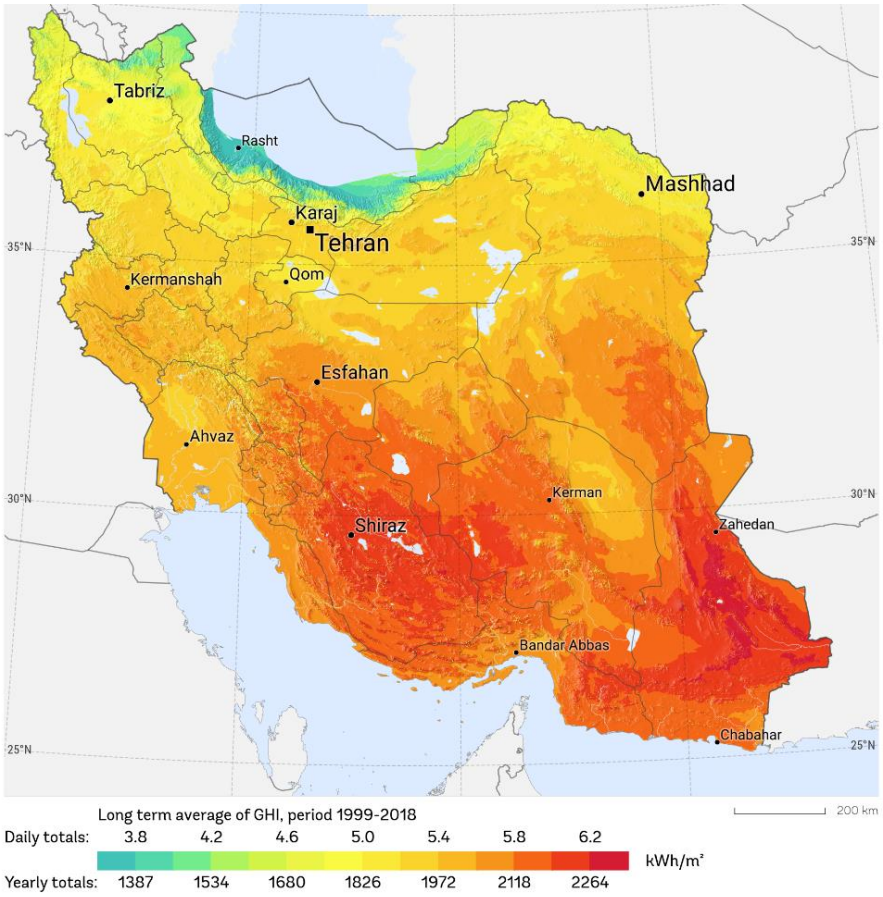
۴- تعیین پتانسیل تولید و واردات منابع انرژی اولیه در کشور

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

تعیین توانمندی موجود و آینده کشور در خصوص تولید منابع اولیه انرژی و نیازهای وارداتی قدم اول در ایجاد مدل انرژی کشور است. این مهم از طریق بررسی گزارش‌های داخلی و بین‌المللی در خصوص پتانسیل‌های انرژی کشور انجام می‌شود. در شکل ۴، نقشه پتانسیل بادی و خورشیدی ایران قابل مشاهده است.



DOI: 10.30503/nripress.2020.289



شکل ٤. نقشه پتانسیل انرژی بادی و خورشیدی در کشور

پتانسیل تخمینی انرژی‌های تجدیدپذیر شامل فتوولتائیک خورشیدی، متمرکزکننده خورشیدی، بادی (ضریب ظرفیت ۲۰ درصد، ظرفیت ۳۰ درصد، و ظرفیت ۴۰ درصد)، برقابی بالای ده مگاوات، برقابی زیر ده مگاوات، و زمین‌گرمایی.

منابع زیر، منابع مناسبی برای تخمین پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای جهان من‌جمله ایران است.

IRENA, Planning and prospects for renewable power: West Africa, Abu Dhabi (2018). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Planning_West_Africa_2018.pdf

S. Hermann, A. Miketa, N. Fichaux, Estimating the Renewable Energy Potential in Africa, Abu Dhabi. (2014). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_Africa_Resource_Potential_Aug2014.pdf

IRENA, Analysis of Infrastructure for Renewable Power in Eastern and Southern Africa, Abu Dhabi. (2015). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Africa_CEC_infrastructure_2015.pdf

United Nations, World Small Hydropower Development Report 2019. (2019). https://www.unido.org/ our-focus-safeguarding-environment-clean-energy-access-productive-use-renewable-energy-focus-areas-small-hydro-power/world-small-hydropower-development-report

V. Veng, B. Suryadi, A. Damar Pranadi, A review of renewable energy development and its policy under nationally determined contributions in ASEAN, Int J Smart Grids Clean Energy. (2019).https://accept.aseanenergy.org/wp-content/uploads/2020/01/A-Review-of-RE-and-NDCs-in-ASEAN.pdf

NREL, Exploring Renewable Energy Opportunities in Select Southeast Asian Countries. (2019). https://www.osti.gov/biblio/1527336-exploring-renewable-energy-opportunities-select-southeast-asian-countries-geospatial-analysis-levelized-cost-energy-utility-scale-wind-solar-photovoltaics

NREL, Solar Resources by Class and Country. (2014). https://openei.org/datasets/dataset/solar-resources-by-class-and-country

[National Renewable Energy Laboratory, Global CFDDA-based Onshore and Offshore Wind Potential Supply Curves by Country, Class, and Depth (quantities in GW and PWh). (2014). https://openei.org/doe-opendata/dataset/c186913f-6684-4455-a2f2-f26e152a9b35/resource/4dc4a6fd-3a63-47df-bcbe-e9c83b83b38e/download/nrelcfddawindsc20130603.xlsx

K G. N. P. de Moura, L.F.L. Legey, M. Howells, A Brazilian perspective of power systems integration using OSeMOSYS SAMBA – South America Model Base – and the bargaining power of neighbouring countries: A cooperative games approach, Energy Policy. 115 (2018) 470–485. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.045

در منابع زیر (به خصوص گزارش کامل بی‌پی)، منابع تخمینی سوخت فسیلی کشورهای مختلف من‌جمله ایران به دقت گزارش شده است.

The World Bank, energydata.info. (2019). https://energydata.info/en

US EIA, US Energy Information Administration. (2019). https://www.eia.gov/

Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC Energy Demand and Supply Outlook 7th Edition. (2019). https://aperc.or.jp/publications/reports/outlook.php

Worldometer, Worldometer. (2020). https://www.worldometers.info/

K G. N. P. de Moura, L.F.L. Legey, M. Howells, A Brazilian perspective of power systems integration using OSeMOSYS SAMBA – South America Model Base – and the bargaining power of neighbouring countries: A cooperative games approach, Energy Policy. 115 (2018) 470–485. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.045

BP, Full report – BP Statistical Review of World Energy 2019. (2019). https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/ statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf

علاوه بر موارد فوق‌الذکر، سایت‌های زیر برای پتانسیل‌سنجی منابع تجدیدپذیر قابل استفاده هستند:

https://globalsolaratlas.info/

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

https://globalwindatlas.info/en

https://www.renewables.ninja/

https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets

https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/datasets

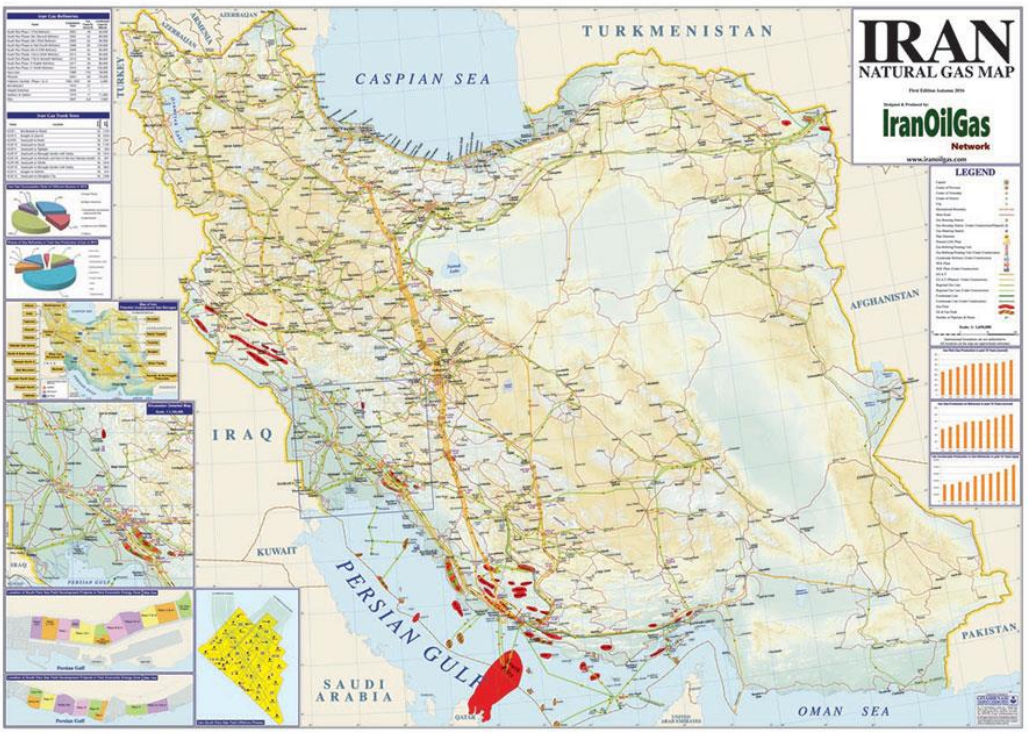
۵- جمع‌آوری اطلاعات انواع نیروگاه‌های تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر کشور

شناسایی کامل فناوری‌های تبدیل انرژی موجود در کشور و فناوری‌های قابل استفاده در آینده قدم مهم دیگری برای توسعه مدل انرژی است. در این راستا استفاده از اطلاعات نهادهای ملی و بین‌المللی می‌تواند راهگشا باشد. در شکل ۵، ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر به تفکیک استان به مگاوات قابل مشاهده است. در شکل ۶، منابع گاز طبیعی ایران و خطوط انتقال آن قابل مشاهده است.



شکل ۵. ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های تجدیدپذیر به تفکیک استان به مگاوات

DOI: 10.30503/nripress.2020.289



شکل ٦. منابع و شبکه انتقال گاز طبیعی ایران

منابع اطلاعاتی این بخش عبارتند از:

- داده‌های نهادهای بین‌المللی همانند آژانس بین‌المللی انرژی، آیرنا و اطلاعات انرژی آمریکا
- گزارش‌های مطالعات تفصیلی و راهبردی توانیر
- گزارش‌های ترازنامه انرژی
- گزارش‌های ساتبا

در جدول ۱، دیتاهای مورد نیاز ورودی راجع سبد سیستم عرضه انرژی کشورهای مختلف نمایش داده شده است. در زیر این جدول منابع استخراج این دیتاها قابل مشاهده است.

جدول ۱. میزان و نوع سیستم عرضه برق نمونه – ورودی نرم‌افزار

Country	*Biomass*	*Oil*	*Coal*	*Gas CCGT*	*Gas SCGT*	*Geothermal*	*Utility PV*	*CSP*	*Large Hydro (>100MW)*	*Medium Hydro (10-100MW)*	*Small Hydro (<10MW)*	*Onshore Wind*	*Offshore Wind*	*Nuclear*
Algeria	*0*	*0*	*0*	*35738*	*143*	*0*	*54*	*25*	*251*	*24*				
Angola		*350.8*			*419.62*		*14*		*849.4*	*71*				
Argentina	*660*	*1756*	*2634.54*	*13775.38*	*1362*		*3*		*9204*	*589*	*52*	*279.3*		*1764*
Bolivia	*150*			*1315.58*	*383*		*13*			*496.9*				
Brazil	*12271*	*13403*	*4145.5*	*19287.36*	*718.6*		*6*		*88787*	*6917*	*1062*	*11378*		*1990*

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Country	Biomass	Oil	Coal	Gas CCGT	Gas SCGT	Geothermal	Utility PV	CSP	Large Hydro (>100MW)	Medium Hydro (10-100MW)	Small Hydro (<10MW)	Onshore Wind	Offshore Wind	Nuclear
Cambodia	2	54	506				12		897	33				
Cameroon		167.6		450.01	200				550	170.8				
Chile	466.1	3365	4835	4878.89	72		618.2		5698	1460	165	909.2		
Colombia	240	188	775.9	3151.06					11434	66		20		
Republic of Congo		71.07		336					120	99				
Cote D'Ivoire				716	504				549	50				
Djibouti		107												
Ecuador	140	1693		146	1420.54		30		3089	167		20		
Egypt		1146		16545.67	294		25	20	2700	150		810		
Ethiopia						8.5	23		3621	191		171.2		
Gabon		16		306.91					160	170				
Ghana				1251					1598					
Guinea		370.8							240	178				
Guinea Bissau		18												
Indonesia	1740	751.7	34397.45	13798.99	1170	1404			4539.4	505	42			
Kenya	90	734.5				419	24		499	248.8		310		
Laos	30		1876						4221.1	222	19			
Libya		191.4		6761.57	2120									
Malawi	10				16				252	92				
Malaysia	1040	178	14334.24	14324.19	626		261.5		4500	168				
Mali									200	106	5			
Mauritania		133			120		33			97		30		
Morocco		338	2621.02	1666				690	1207	453	8	1266		
Mozambique									2242	44				
Myanmar			252.49	1448.61	35		12		2568.8	647				
Namibia		60	120				27.4		240	92				
Niger		124	38											
Nigeria				5158	3261		17		2040					
Papa New Guinea		361.9			186.2	56				271	4			
Paraguay	40								8764	50				
Peru	180		230.67	7373.13	75		96		4105.6	46		150		
Philippines	189.7	2709	10698.72	4237.51	100	1918.8	818		3393.9	208	1	220.1		
Rwanda		28			26		9			126	3			
Senegal	25	855.5					11		120					
Sierra Leone		76								50				
Somalia		15.64					1					2		
South Africa	223.53	2832	38294.5		376.39		1765	450	600.8	42	7	2032		1830
South Korea	857.88	3255	38260	33583.1	118		3533		4827	374	62	768.9		23080
South Sudan		64.89												
Sudan	191	926.3		319					2196	56				
Taiwan	740	2632	18650.42	13560.64			842		3778	41	3	646.6		5216

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Tanzania	*70*	*100*		*208*	*212.55*				*384*	*169*	*8*			
Thailand	*3230.4*		*5259*	*27132*			*1415*		*3639*	*148*		*210*		
Togo		*101*		*28*						*66*				
Tunisia				*3559*	*145*		*22*			*57.8*	*8*	*245*		
Uganda	*60*	*136*					*20*		*635*	*71.5*				
Uruguay	*425.3*	*905.2*		*570.34*	*54*		*227*		*1538*			*1384*		
Venezuela		*3570*		*10857*	*680*				*17560*	*105*		*30*		
Vietnam	*255*	*970.7*	*14934.79*	*8201.49*					*13534*	*2957*	*266*	*287*		

M. Brinkerink, B. Gallachóir, P. Deane, Building and Calibrating a Country-Level Detailed Global Electricity Model Based on Public Data, Energy Strateg Rev. 33 (2021) 100592. https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100592

L. Byers, J. Friedrich, R. Hennig, A. Kressig, X. Li, C. McCormick, et al., A Global Database of Power Plants, Washington, DC (2018). https://www.wri.org/publication/global-power-plant-database

سبد سیستم انرژی ایران که توسط نگارنده از آخرین ترازنامه هیدروکربوری و آخرین ترازنامه انرژی استخراج شده است، در جدول ۲ نمایش داده شده است. دیتاهای نمایش داده شده در این جدول، جهت استفاده در نرم‌افزار مناسب هستند.

جدول ۲. سبد سیستم عرضه برق ایران در حال حاضر

Country	***Biomass***	***Oil***	***Coal***	***Gas CCGT***	***Gas SCGT***	***Geothermal***	***Utility-scale Solar PV***	***Concentrating Solar Power***	***Large Hydropower (>100 MW)***	***Medium Hydropower (10–100 MW)***	***Small Hydropower (<10 MW)***	***Onshore Wind***	***Nuclear***
Iran	*14.62*	*15829*	*0*	*33132*	*21904*	*0*	*484.24*	*0*	*12543*		*100.7*	*324.18*	*1020*

دیتاهای مورد نیاز برای وارد کردن در نرم‌افزار اوسموسیس در مورد سبد سیستم عرضه برق خارج شبکه در جدول ۳، به نمایش در آمده است. همان طور که در این جدول قابل مشاهده است، میزان ظرفیت تولید برق فتوولتائیک و برقابی به عنوان ورودی نرم‌افزار مود نیاز است، که میزان آنها برای ایران، از منبع زیر جدول قابل استخراج است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

جدول ۳. سبد سیستم عرضه برق خارج شبکه

Country	***Off-Grid PV***	***Off-Grid Hydropower***
Algeria	*423*	*0*
Angola	*13.38*	*6.86*
Argentina	*0.62*	*19.58*
Benin	*0*	*0*
Bolivia	*5.54*	*9.2*
Botswana	*1.61*	*0*
Brazil	*7.23*	*0.02*
Burkina Faso	*27*	*0*
Burundi	*4.7*	*1.6*
Cambodia	*1.94*	*0*
Cameroon	*14.19*	*0.3*
Central African Republic	*0.3*	*0.2*
Chad	*0.17*	*0*
Chile	*0*	*0*
Colombia	*1.53*	*5.32*
Republic of Congo	*0.57*	*0*
Cote D'Ivoire	*8.28*	*0*
Djibouti	*0.36*	*0*
Democratic Republic of Congo	*18.9*	*131.7*
Ecuador	*2.02*	*26*
Egypt	*50*	*0*
Equatorial Guinea	*0*	*0*
Eritrea	*10.16*	*0*
Country	***Off-Grid PV***	***Off-Grid Hydropower***
Eswatini	*0.8*	*1.7*
Ethiopia	*13.94*	*1.28*
Gabon	*1.4*	*0.29*
Gambia	*2*	*0*
Ghana	*7.59*	*0*
Guinea	*13.28*	*2.22*
Guinea Bissau	*1.17*	*0*
Indonesia	*45.08*	*14.85*
Kenya	*37.84*	*6.44*
Laos	*1.63*	*2.01*
Lesotho	*0.16*	*0.18*
Liberia	*2.58*	*4*
Libya	*5.11*	*0*
Malawi	*21.88*	*1.7*

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Malaysia	*7.44*	*0.45*
Mali	*19.58*	*0*
Mauritania	*21.07*	*0*
Morocco	*22.9*	*0*
Mozambique	*15*	*1.06*
Myanmar	*47.54*	*6.89*
Namibia	*21.93*	*0*
Niger	*20.04*	*0*
Nigeria	*17.57*	*0.4*
Papa New Guinea	*1.23*	*76.4*
Paraguay	*0.06*	*0*
Peru	*53.58*	*177.65*
Philippines	*1.16*	*20.59*
Rwanda	*25.4*	*0*
Senegal	*12*	*0*
Sierra Leone	*4.25*	*4.89*
Somalia	*7.07*	*0*
South Africa	*0*	*7.19*
South Korea	*0*	*0*
South Sudan	*0.55*	*0*
Sudan	*12.58*	*0*
Taiwan	*0*	*0*
Tanzania	*25.34*	*15.42*
Thailand	*0*	*0*
Togo	*3*	*0*
Tunisia	*2.08*	*0*
Uganda	*28*	*5.4*
Uruguay	*2.27*	*0*
Venezuela	*3.4*	*0.81*
Vietnam	*5.26*	*43*
Country	***Off-Grid PV***	***Off-Grid Hydropower***
Zambia	*0.22*	*2.61*
Zimbabwe	*7.91*	*1.6*

IRENA, Renewable Energy Statistics 2020, Abu Dhabi (2020). https://www.irena.org/publications/2020/Jul/Renewable-energy-statistics-2020

بازدهی ترکیبی تخمینی انتقال و توزیع در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ در جدول ۴، برای چند کشور قابل مشاهده است. از آمارنامه‌های وزارت نیرو و ترازنامه انرژی این میزان در سال ۲۰۱۸ برای ایران قابل استخراج است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

جدول ٤. بازدهی انتقال و توزیع در حاضر و پیش‌بینی آن

Country	***2020***	***2030***	***2050***
Algeria	*71.3%*	*74.1%*	*77.9%*
Angola	*89.3%*	*90.3%*	*90.3%*
Argentina	*87.4%*	*89.3%*	*90.2%*
Benin	*77.9%*	*78.9%*	*80.8%*
Bolivia	*86.5%*	*89.3%*	*91.2%*
Botswana	*81.6%*	*82.6%*	*85.4%*
Brazil	*83.7%*	*86.5%*	*89.3%*
Burkina Faso	*49.4%*	*51.3%*	*55.1%*
Burundi	*86.5%*	*87.4%*	*89.3%*
Cambodia	*80.0%*	*85.0%*	*95.0%*
Cameroon	*77.0%*	*77.9%*	*79.8%*
Central African Republic	*77.0%*	*77.9%*	*79.8%*
Chad	*77.0%*	*77.9%*	*79.8%*
Chile	*92.2%*	*92.2%*	*93.1%*
Colombia	*88.4%*	*90.2%*	*92.2%*
Republic of Congo	*52.3%*	*54.2%*	*58.0%*
Cote D'Ivoire	*80.8%*	*81.7%*	*81.7%*
Djibouti	*77.9%*	*78.9%*	*80.8%*
Democratic Republic of Congo	*87.5%*	*87.4%*	*89.3%*
Ecuador	*89.3%*	*91.2%*	*92.2%*
Country	***2020***	***2030***	***2050***
Egypt	*87.4%*	*88.3%*	*90.2%*
Equatorial Guinea	*74.1%*	*76.0%*	*79.8%*
Eritrea	*80.8%*	*81.7%*	*83.6%*
Eswatini	*90.3%*	*90.3%*	*90.3%*
Ethiopia	*87.4%*	*88.3%*	*90.2%*
Gabon	*58.9%*	*60.8%*	*64.6%*
Gambia	*77.9%*	*79.8%*	*81.7%*
Ghana	*77.0%*	*77.9%*	*79.8%*
Guinea	*90.3%*	*90.3%*	*92.2%*

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Guinea Bissau	*43.7%*	*45.6%*	*50.4%*
Indonesia	*91.0%*	*93.0%*	*95.0%*
Kenya	*81.7%*	*83.6%*	*88.4%*
Laos	*91.0%*	*92.0%*	*95.0%*
Lesotho	*83.6%*	*88.4%*	*89.3%*
Liberia	*71.3%*	*74.1%*	*77.9%*
Libya	*67.5%*	*69.4%*	*73.2%*
Malawi	*78.9%*	*79.8%*	*81.7%*
Malaysia	*94.0%*	*95.0%*	*95.0%*
Mali	*79.8%*	*79.8%*	*81.7%*
Mauritania	*59.9%*	*61.8%*	*65.6%*
Morocco	*86.5%*	*87.4%*	*89.3%*
Mozambique	*82.7%*	*84.6%*	*89.3%*
Myanmar	*82.0%*	*86.0%*	*95.0%*
Namibia	*90.2%*	*91.2%*	*93.1%*
Niger	*74.1%*	*76.0%*	*79.8%*
Nigeria	*86.5%*	*87.4%*	*89.3%*
Papa New Guinea	*90.0%*	*92.0%*	*95.0%*
Paraguay	*75.1%*	*79.7%*	*87.4%*
Peru	*90.3%*	*92.2%*	*92.2%*
Philippines	*91.0%*	*93.0%*	*95.0%*
Rwanda	*66.5%*	*75.1%*	*78.9%*
Senegal	*86.5%*	*87.4%*	*89.3%*
Sierra Leone	*54.2%*	*56.1%*	*63.7%*
Somalia	*53.2%*	*55.1%*	*62.7%*
South Africa	*91.2%*	*92.2%*	*92.2%*
South Korea	*86.0%*	*89.0%*	*95.0%*
Country	***2020***	***2030***	***2050***
South Sudan	*90.3%*	*90.3%*	*92.2%*
Sudan	*90.3%*	*90.3%*	*91.2%*
Taiwan	*92.0%*	*93.0%*	*95.0%*
Tanzania	*83.6%*	*84.6%*	*87.4%*
Thailand	*94.0%*	*94.0%*	*94.0%*
Togo	*86.5%*	*87.4%*	*89.3%*
Tunisia	*83.6%*	*84.6%*	*87.4%*
Uganda	*82.7%*	*83.6%*	*86.5%*

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Uruguay	*84.6%*	*87.4%*	*90.2%*
Venezuela	*71.6%*	*77.1%*	*85.5%*
Vietnam	*91.0%*	*93.0%*	*95.0%*
Zambia	*86.4%*	*87.4%*	*89.3%*
Zimbabwe	*84.5%*	*85.4%*	*87.4%*

I. Pappis, M. Howells, V. Sridharan, F. Gardumi, E. Ramos, W. Usher, et al., Energy projections for African countries. (2019). https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118432

International Energy Agency, IndexMundi, Electric Power Transmission and Distribution Losses (% of output) - Country Ranking – Asia. (2018). https://www.indexmundi.com/facts/indicators/EG.ELC.LOSS.ZS/rankings/asia

G. N. P. de Moura, L.F.L. Legey, M. Howells, A Brazilian perspective of power systems integration using OSeMOSYS SAMBA – South America Model Base – and the bargaining power of neighbouring countries: A cooperative games approach, Energy Policy. 115 (2018) 470–485. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.045

ظرفیت تخمینی ظرفیت پالایشگاهی در جدول ۵ قابل مشاهده است. مقادیر آن برای ایران از ترازنامه هیدروکربوری و ترازنامه انرژی قایل استخراج است.

جدول ۵. تخمین ظرفیت پالایشگاهی

Country	***Estimated Refinery Capacity (tb/d)***
Indonesia	*1147*
Malaysia	*915*
Myanmar	*57*
Papua New Guinea	*37*
Philippines	*292*
South Korea	*3504*
Taiwan	*1230*
Thailand	*1288*
Vietnam	*336*

T McKinsey, McKinsey Refinery Reference Desk. (2020). https://www.mckinseyenergyinsights.com/resources/refinery-reference-desk/

پارامترهای فنی – اقتصادی توسعه فناوری‌های جدید پالایشگاهی شامل هزینه سرمایه‌ای، هزینه متغیر، عمر عملیاتی و نسبت خروجی.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

در منابع زیر، پارامترهای مورد نیاز برای تخمین هزینه توسعه فناوری‌های جدید پالایشگاهی گزارش شده است.

I. Pappis, M. Howells, V. Sridharan, F. Gardumi, E. Ramos, W. Usher, et al., Energy projections for African countries. (2019). https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118432

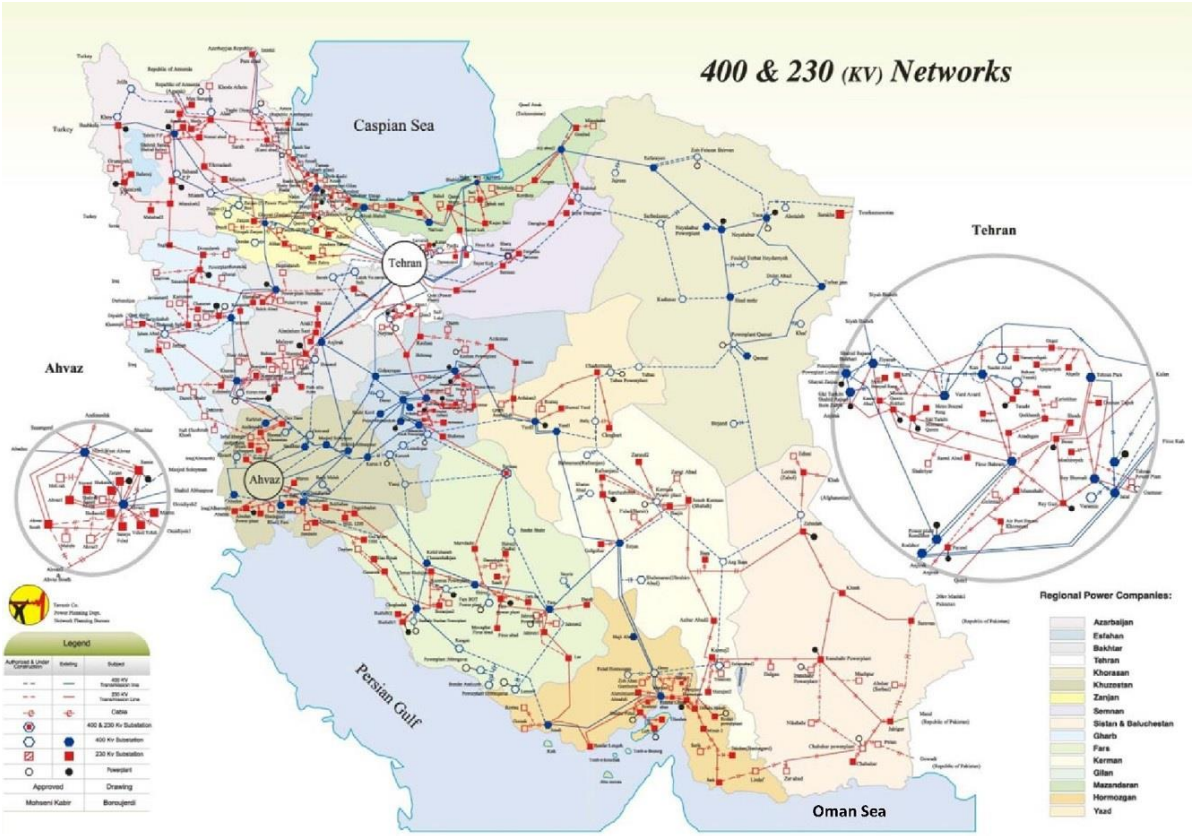
IEA ETSAP, Oil Refineries. (2014). https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/P04_Oil Ref_KV_Apr2014_GSOK.pdf

۶- جمع‌آوری اطلاعات شبکه برق کشور و انواع مصرف‌کننده‌ها

اطلاعات و داده‌های مصرف‌کننده‌های برق و انرژی در بخش‌های خانگی، اداری و تجاری، کشاورزی و صنعتی، پایه دیگر تولید مدل انرژی است که از منابع مشابه با بخش تولید قابل برداشت است. در این بخش بحث تقسیم‌بندی مصرف در سطوح ولتاژ مختلف اعم از انتقال و توزیع نیز باید برای ورود به مدل در نظر گرفته شود و مصرف‌کننده‌های هر بخش به سطوح ولتاژ مرتبط متصل شوند.

تعیین ظرفیت شبکه در حوزه میزان تولید و مصرف و حدود قابل قبول آن نیز باید در این بخش و بخش قبلی در نظر گرفته شده و مدل وارد شود. به علاوه ظرفیت‌های توسعه آینده شبکه و تخمین نیاز در بازه بلندمدت باید با استفاده از مفاهیم اقتصاد انرژی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مقادیر آن تعیین شوند. در شکل ۷، شبکه انتقال برق ایران قابل مشاهده است.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289



شکل ۷. شبکه انتقال برق کشور

به علاوه بحث توسعه اقتصادی آینده و افزایش جمعیت و سایر مواردی که بر روی تقاضای انرژی تاثیرگذارند نیز باید مورد توجه قرار گیرد که مطالعه برنامه‌های توسعه می‌تواند برای این بخش راهگشا باشد.

راه‌های مختلفی برای برآورد رشد اقتصادی ایران در سال‌های آتی با در نظر گرفتن فروض مختلف وجود دارد. در جدول ۶، با سه رشد اقتصادی مختلف ۳٪، ۵٪، و ۸٪ و رشد جمعیت ۱/۳ درصد میزان تقاضای برق سالانه تخمین زده شده است.

جدول ٦. طراحی سناریو برای تقاضای برق

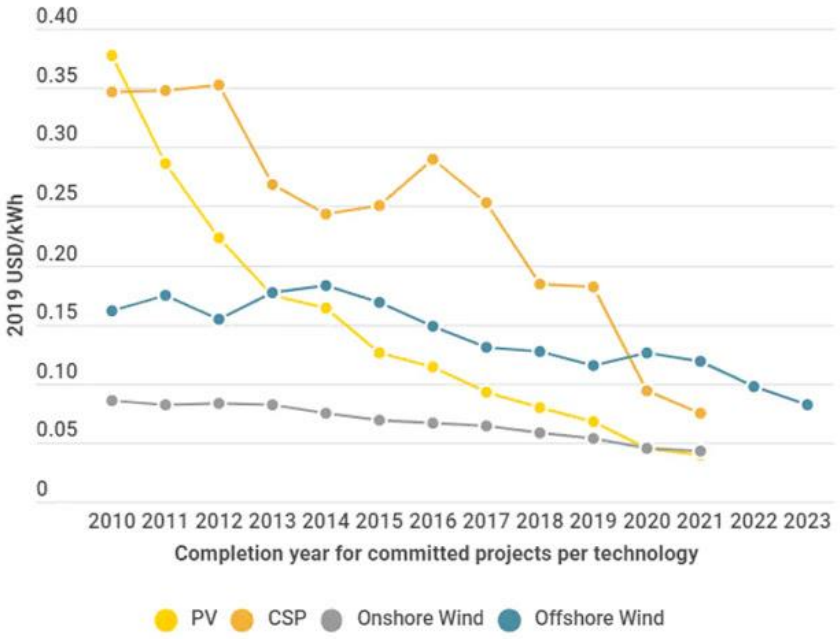
Scenario assumptions in demand model side.

Variable/scenario	High demand growth	Medium demand growth	Low demand growth
GDP	8%	5%	3%
Population growth rate	1.3%		
Gasoline price	Electricity price will increase in a stepped manner up to Persian Gulf FOB price, and then price increase will be based on IEA prediction [28]		

۷- تعیین هزینه انرژی حامل‌های مختلف

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

برای هریک از حامل‌های انرژی می‌بایست تغییرات بلندمدت هزینه تبدیل انرژی محاسبه شود که برای این موضوع می‌توان از مفاهیم اقتصاد انرژی و مطالعات ملی و بین‌المللی استفاده نمود. شایان ذکر است که دستیابی به ارزیابی‌های بلندمدت با توجه به هزینه‌ها و شرایط داخل کشور چالش جدی در این بخش است. در شکل ۸، روند نزولی قیمت تمام شده برق تجدیدپذیر قابل مشاهده است.



شکل ۸. قیمت تمام شده برق تجدیدپذیر در سطح جهان

هزینه سرمایه‌ای به کیلووات، هزینه ثابت در سال، عمر عملیاتی، بازدهی و فاکتور ظرفیت متوسط (به درصد) شامل نیروگاه زیست‌توده، نیروگاه زغال سنگ، نیروگاه زمین‌گرمایی، نیروگاه مازوت سبک، نیروگاه توربین گاز نفت‌سوز، نیروگاه گازی سیکل ترکیبی، نیروگاه گازی، فتوولتائیک خورشیدی، نیروگاه خورشیدی متمرکزکننده بدون ذخیره‌ساز، نیروگاه خورشیدی متمرکزکننده با ذخیره‌ساز، نیروگاه برقابی بزرگ بالای صد مگاوات، نیروگاه برقابی متوسط بین ۱۰ تا ۱۰۰ مگاوات، نیروگاه برقابی کوچکتر از ده مگاوات، نیروگاه بادی ساحلی، نیروگاه بادی فراساحلی، نیروگاه هسته‌ای، تولید برق کوچک مازوت سبک و فتوولتائیک خورشیدی.

در منابع زیر، این دیتاها که مربوط به اقتصاد انرژی هستند، برای کشورهای مختلف گزارش شده‌اند. گزارش‌های ایرنا و سایر مقالات معتبر در این حوزه مراجع مرتبط می‌باشند.

IRENA, Planning and Prospects for Renewable Power in Eastern and Southern Africa, Abu Dhabi (2021). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_Planning_Prospects_Africa_2021.pdf

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

IRENA, Planning and prospects for renewable power: West Africa, Abu Dhabi (2018). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Planning_West_Africa_2018.pdf

IRENA, Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), Abu Dhabi. (2019).https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf

IRENA, ASEAN Centre for Energy, Renewable Energy Outlook for ASEAN, Abu Dhabi (2016).https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_ASEAN_2016_report.pdf

IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2019, Abu Dhabi (2020). https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf

G. N. P. de Moura, L.F.L. Legey, M. Howells, A Brazilian perspective of power systems integration using OSeMOSYS SAMBA – South America Model Base – and the bargaining power of neighbouring countries: A cooperative games approach, Energy Policy. 115 (2018) 470–485. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.045

در جداول زیر، داده‌های مربوط به اقتصاد انرژی انواع فناوری تولید برق قابل مشاهده است:

جدول ۷، هزینه سرمایه‌ای فناوری‌های مختلف تولید برق از منابع مختلف انرژی اولیه بر واحد تولید توان را نمایش می‌دهد.

جدول ۷. هزینه سرمایه‌ای مورد نیاز منابع مختلف (دلار به کیلووات)

Data source	Solar PV - Utility	CSP	Wind Onshore	Wind Offshore	Gas CC	Gas GT	Geother mal	Hydro	Coal	Nuclear	Biomass
Minimum Value											
Lazard	900	6,000	1,100	2,350	700	700	3,950	n.a.	3,000	6,900	n.a.
EIA	1,331	7,191	1,319	5,446	1,017	710	2,680	2,752	3,661	6,317	2,831
IRENA	618	3,704	1,039	2,677	n.a.	n.a	2,020	680	n.a	n.a	422
IEA	1,005	3,831	1,287	3,973	673	536	1,602	1,282	1,072	2,805	630
NREL	1,142	6,574	1,678	3,145	944	937	4,557	3,974	3,867	6,460	3,988
Maximum value											
Lazard	1100	9,100	1,500	3,550	1,300	950	6,600	n.a.	6,200	12,200	n.a.
EIA	1,331	7,191	1,319	5,446	1,017	710	2,680	2,752	3,661	6,317	2,831
IRENA	2,794	7,127	2,482	5,551	n.a.	n.a.	7,280	4,138	n.a.	n.a.	8,742
IEA	2,750	8,735	3,217	6,365	1,383	1,001	7,108	n.u.	3,290	6,668	9,298
NREL	1,142	6,574	1,678	5,318	944	937	n.u.	7,418	4,225	6,460	4,182

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

n.a. -- not available because the study does not include the particular technology, n.u. -- not used as the values are outliers.

در جدول ۸، داده‌های قابل استفاده برای محاسبه هزینه هم‌تراز شده تولید برق مانند ضریب ظرفیت، تولید عمر اقتصادی تجهیزات، و هزینه‌های متغیر بهره‌برداری و نگهداری و هزینه بین‌المللی سوخت نمایش داده شده است.

جدول ۸. داده‌های قابل استفاده برای محاسبه هزینه هم‌تراز شده انرژی

Data source	Capacity factor (%)	Economic life (year)	Fixed O&M costs (%) *	Variable O&M costs ($/MWh)	Heat rate (GJ/MWh)
PV (Utility)	25%	20	1.1%		n.u.
CSP	32%-68%	25	1.8%		n.u.
Wind Onshore	35.0%	20	2.6%		n.u.
Wind Offshore	45.0%	20	2.3%		n.u.
Gas CC	85.0%	25	1.7%	3.25	5.9-7.3
Gas GT	85.0%	20	1.9%	5.62	8.0-10. 5
Geothermal	85.0%	25	4.0%	1.16	n.u.
Hydro	55.0%	40	1.6%	1.39	n.u.
Coal	85.0%	40	1.5%	5.42	9.0-12.7
Nuclear	90.0%	45	1.9%	4.60	11.0
Biomass	75.0%	25	3.6%	5.50	11.6-14.2

در جدول ۹، فروض مختلفی که از منابع معتبر مختلف برای طول عمر فناوری‌های مختلف مرسوم است، به نمایش در آمده است.

جدول ۹. عمر اقتصادی فناوری‌های مختلف نیروگاه

Technology	Lazard (2019)	IEA (2015)	IRENA (2018)	EIA (2020)	NREL (2019)
PV (Utility)	20	25	25	30	20-30
CSP	35	25	25	30	20-30
Wind Onshore	20	25	25	30	20-30
Wind Offshore	20	25	25	30	20-30
Gas CC	20	25	n.a.	30	20-30
Gas GT	20	25	n.a.	30	20-30
Geothermal	25	40	25	30	20-30
Hydro	n.a.	80	30	30	20-30
Coal	40	40	n.a	30	20-30
Nuclear	40	60	n.a.	30	20-30

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Biomass	n.a	40	20	30	20-30

در جدول ۱۰ نیز، ضریب ظرفیت فناوری‌های مختلف تولید توان به درصد که از منابع معتبری استخراج شده است، به نمایش در آمده است.

جدول ۱۰. ضریب ظرفیت فناوری‌های مختلف تولید توان (به درصد)

Technology	IEA (2015)	IRENA (2018)	NREL (2019)
PV (Utility)	11 - 21	12-27	15-27
CSP#	34 - 60	32-60	50-64
Wind - Onshore	20 - 49	25-54	23-48
Wind - Offshore	30 - 48	26-50	28-45
Gas - CC	85	n.a.	87
Gas - GT	85	n.a.	30
Technology	**IEA (2015)**	**IRENA (2018)**	**NREL (2019)**
Geothermal	80-92	68-94	80-90
Hydro	40-63	23-74	60-66
Coal	85	n.a.	85
Nuclear	85	n.a.	92
Biomass	48-80	44-94	56

 # Higher values (> 40%) correspond to CSP with storage facilities.

هزینه سرمایه‌ای به کیلووات برای سال‌های مختلف تا سال هدف به فاصله هر ده سال شامل هزینه سرمایه‌ای نیروگاه زیست‌توده، نیروگاه زغال سنگ، نیروگاه زمین‌گرمایی، نیروگاه مازوت سبک، نیروگاه توربین گاز نفت‌سوز، نیروگاه گازی سیکل ترکیبی، نیروگاه گازی، فتوولتائیک خورشیدی، نیروگاه خورشیدی متمرکزکننده بدون ذخیره‌ساز، نیروگاه خورشیدی متمرکزکننده با ذخیره‌ساز، نیروگاه برقابی بزرگ بالای صد مگاوات، نیروگاه برقابی متوسط بین ۱۰ تا ۱۰۰ مگاوات، نیروگاه برقابی کوچکتر از ده مگاوات، نیروگاه بادی ساحلی، نیروگاه بادی فراساحلی، نیروگاه هسته‌ای، تولید برق کوچک مازوت سبک و فتوولتائیک خورشیدی.

در منابع زیر، اقتصاد انرژی برای کشورهای مختلف گزارش شده است. از این منابع و منابع مختلف مرتبط با ایران می‌توان پیش‌بینی قیمت تمام شده برق با منابع مختلف قابل مشاهده است.

IRENA, Planning and Prospects for Renewable Power in Eastern and Southern Africa, Abu Dhabi (2021). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_Planning_Prospects_Africa_2021.pdf

IRENA, Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper), Abu Dhabi.(2019).https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf

IRENA, ASEAN Centre for Energy, Renewable Energy Outlook for ASEAN, Abu Dhabi (2016).https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_ASEAN_2016_report.pdf

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

IRENA, Renewable Power Generation Costs in 2019, Abu Dhabi (2020). https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf

G. N. P. de Moura, L.F.L. Legey, M. Howells, A Brazilian perspective of power systems integration using OSeMOSYS SAMBA – South America Model Base – and the bargaining power of neighbouring countries: A cooperative games approach, Energy Policy. 115 (2018)

ضریب ظرفیت تخمینی برای تولید برقابی، فتوولتائیک و بادی به صورت ساحلی و فراساحلی برای کشورهای مختلف قابل مشاهده است. مشابه این دیتاها از ترازنامه انرژی یا آمارنامه‌های وزارت نیرو قابل استخراج است. در جدول ۱۱، ضریب ظرفیت تخمینی برای تولید انواع انرژی‌های تجدیدپذیر بادی، خورشیدی و آبی در کشورهای مختلف به نمایش در آمده است.

جدول ۱۱. ضریب ظرفیت تخمینی برای تولید برقابی، فتوولتائیک و بادی

Country	Hydropower	Solar PV	Onshore Wind	Offshore Wind
Algeria	0.11	0.35	0.21	0.37
Angola	0.52	0.32	0.11	0.12
Argentina	0.42	0.38	0.32	0.45
Benin	0.36	0.27	0.13	0.13
Bolivia	0.54	0.2	0.13	n/a
Botswana	0.23	0.35	0.21	n/a
Brazil	0.62	0.29	0.33	0.24
Burkina Faso	0.35	0.37	0.17	n/a
Burundi	0.42	0.28	0.06	n/a
Cambodia	0.31	0.33	0.09	0.19
Cameroon	0.6	0.31	0.07	0.1
Central African Republic	0.7	0.28	0.08	n/a
Chad	0.43	0.33	0.26	n/a
Chile	0.49	0.5	0.28	0.4
Colombia	0.5	0.24	0.41	0.27
Republic of Congo	0.47	0.25	0.03	0.09
Cote D'Ivoire	0.33	0.17	0.09	0.1
Djibouti	0.41	0.29	0.21	0.36
Democratic Republic of Congo	0.34	0.26	0.06	n/a
Ecuador	0.52	0.3	0.07	0.18
Egypt	0.54	0.36	0.22	0.4
Equatorial Guinea	0.19	0.23	0.03	0.08

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Eritrea	0.41	0.3	0.16	0.46
Eswatini	0.42	0.32	0.14	n/a
Ethiopia	0.41	0.37	0.18	0.48
Gabon	0.55	0.25	0.04	0.1
Gambia	0.41	0.28	0.14	0.14
Ghana	0.58	0.27	0.1	0.1
Guinea	0.43	0.35	0.08	0.11
Guinea Bissau	0.41	0.26	0.11	0.15
Indonesia	0.32	0.4	0.03	0.2
Kenya	0.48	0.32	0.21	0.45
Laos	0.55	0.28	0.08	n/a
Lesotho	0.69	0.36	0.15	n/a
Liberia	0.6	0.27	0.07	0.37
Libya	0.41	0.35	0.29	0.4
Country	**Hydropower**	**Solar PV**	**Onshore Wind**	**Offshore Wind**
Malawi	0.54	0.44	0.16	n/a
Malaysia	0.35	0.27	0.04	0.18
Mali	0.54	0.37	0.22	n/a
Mauritania	0.41	0.37	0.35	0.41
Morocco	0.13	0.37	0.36	0.33
Mozambique	0.68	0.3	0.18	0.3
Myanmar	0.45	0.34	0.09	0.21
Namibia	0.59	0.41	0.15	n/a
Niger	0.36	0.37	0.27	n/a
Nigeria	0.36	0.34	0.15	0.37
Papa New Guinea	0.38	0.27	0.11	0.24
Paraguay	0.72	0.29	0.2	n/a
Peru	0.66	0.44	0.29	n/a
Philippines	0.26	0.19	0.2	0.23
Rwanda	0.38	0.33	0.06	n/a
Senegal	0.41	0.41	0.17	0.37
Sierra Leone	0.36	0.26	0.08	0.37
Somalia	0.41	0.29	0.52	0.58
South Africa	0.23	0.38	0.25	0.36
South Korea	0.2	0.25	0.19	0.24
South Sudan	0.5	0.19	0.15	n/a
Sudan	0.43	0.26	0.22	0.28
Taiwan	0.19	0.24	0.27	0.34
Tanzania	0.47	0.38	0.14	0.3
Thailand	0.25	0.38	0.16	0.19
Togo	0.23	0.26	0.12	0.37
Tunisia	0.13	0.33	0.21	0.41

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Uganda	*0.54*	*0.31*	*0.08*	*n/a*
Uruguay	*0.52*	*0.17*	*0.27*	*0.31*
Venezuela	*0.63*	*0.28*	*0.2*	*0.3*
Vietnam	*0.49*	*0.23*	*0.15*	*0.27*
Zambia	*0.63*	*0.32*	*0.21*	*n/a*
Zimbabwe	*0.68*	*0.34*	*0.2*	*n/a*

M. Brinkerink, P. Deane, PLEXOS-World 2015. (2020). https://doi.org/10.7910/DVN/CBYXBY

M. Brinkerink, B. Gallachóir, P. Deane, Building and Calibrating a Country-Level Detailed Global Electricity Model Based on Public Data, Energy Strateg Rev. 33 (2021) 100592. https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100592

I. Staffell, S. Pfenninger, Using bias-corrected reanalysis to simulate current and future wind power output, Energy. 114 (2016) 1224–1239. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.068

I. Staffell, S. Pfenninger, Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. Energy. 114 (2016). 1251–1265. https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.08.060

I. Pappis, M. Howells, V. Sridharan, F. Gardumi, E. Ramos, W. Usher, et al., Energy projections for African countries. (2019). https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118432

National Renewable Energy Laboratory, Global CFDDA-based Onshore and Offshore Wind Potential Supply Curves by Country, Class, and Depth (quantities in GW and PWh). (2014). https://openei.org/doe-opendata/dataset/c186913f-6684-4455-a2f2-f26e152a9b35/resource/4dc4a6fd-3a63-47df-bcbe-e9c83b83b38e/download/nrelcfddawindsc20130603.xlsx

پیش‌بینی قیمت سوخت تا سال هدف به فاصله هر ده سال یک بار شامل واردات نفت خام، استخراج نفت خام، واردات زیست‌توده، استخراج زیست‌توده، واردات زغال سنگ، استخراج زغال سنگ، واردات مازوت سبک، واردات مازوت سنگین، واردات گاز طبیعی و استخراج گاز طبیعی.

در منابع زیر، منابع مورد نیاز برای پیش‌بینی قیمت‌های سوخت تا سال هدف قابل مشاهده است. از این منابع برای ورودی نرم‌افزار در مورد پیش‌بینی آینده قیمت حامل‌های مختلف انرژی در ایران می‌توان استفاده کرد.

IRENA, Planning and prospects for renewable power: West Africa, Abu Dhabi (2018). https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Planning_West_Africa_2018.pdf

U.S. EIA, Assumptions to the Annual Energy Outlook 2020: International Energy Module. (2020). https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/international.pdf

Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC Energy Demand and Supply Outlook 7th Edition. (2019). https://aperc.or.jp/publications/reports/outlook.php

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

Argus, Argus Biomass Markets Weekly Biomass Market News and Analysis Issue 20-47. (2020). https://www.argusmedia.com/-/media/Files/sample-reports/argus-biomassmarkets.ashx?la= en&hash=872E2C03A0A78FE3F236BBF00E7729E3114326E0

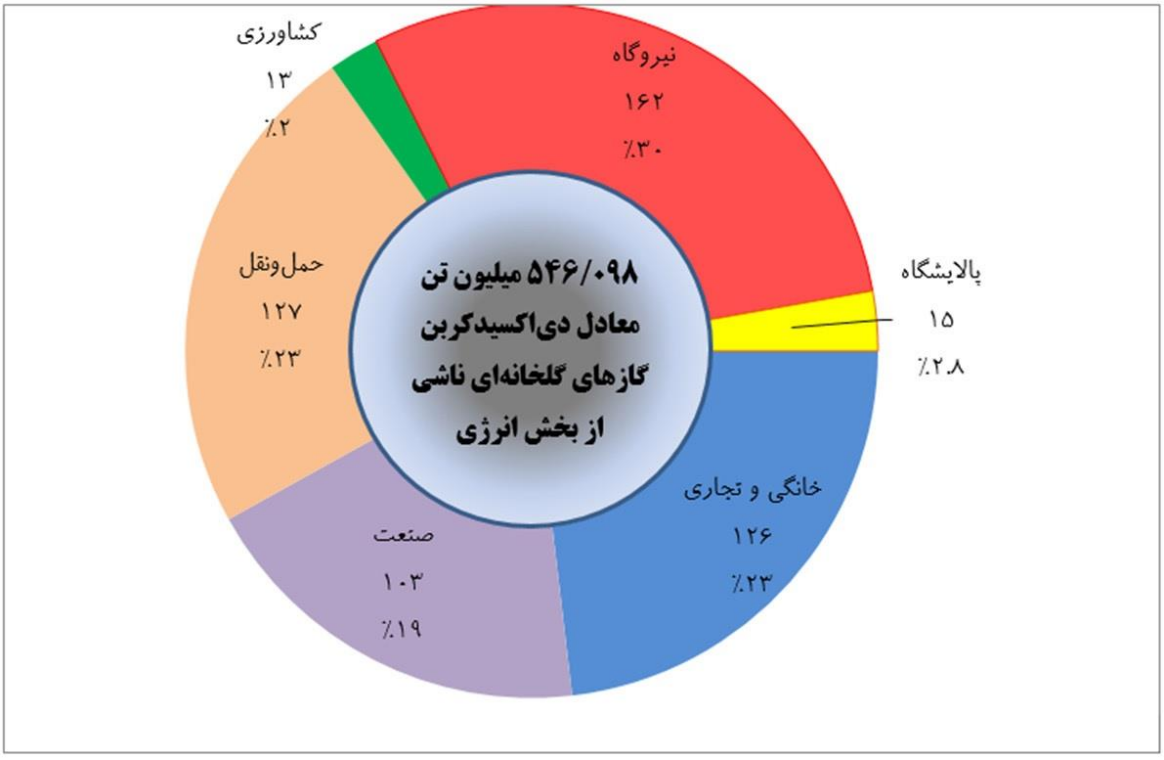
G. N. P. de Moura, L.F.L. Legey, M. Howells, A Brazilian perspective of power systems integration using OSeMOSYS SAMBA – South America Model Base – and the bargaining power of neighbouring countries: A cooperative games approach, Energy Policy. 115 (2018) 470–485. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.045

U.S. EIA, Assumptions to the Annual Energy Outlook 2020: International Energy Module.(2020). https://www.eia.gov/outlooks/aeo/assumptions/pdf/international.pdf

Z P. Howes, J. Bates, A. Brown, R. Diaz-Chavez, S. Christie, A. Bayley, Global Biomass Markets Final Report. (2018). https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/795029/Global_Biomass_Markets_Final_report.pdf

۸- تعیین چالش‌های زیست‌محیطی

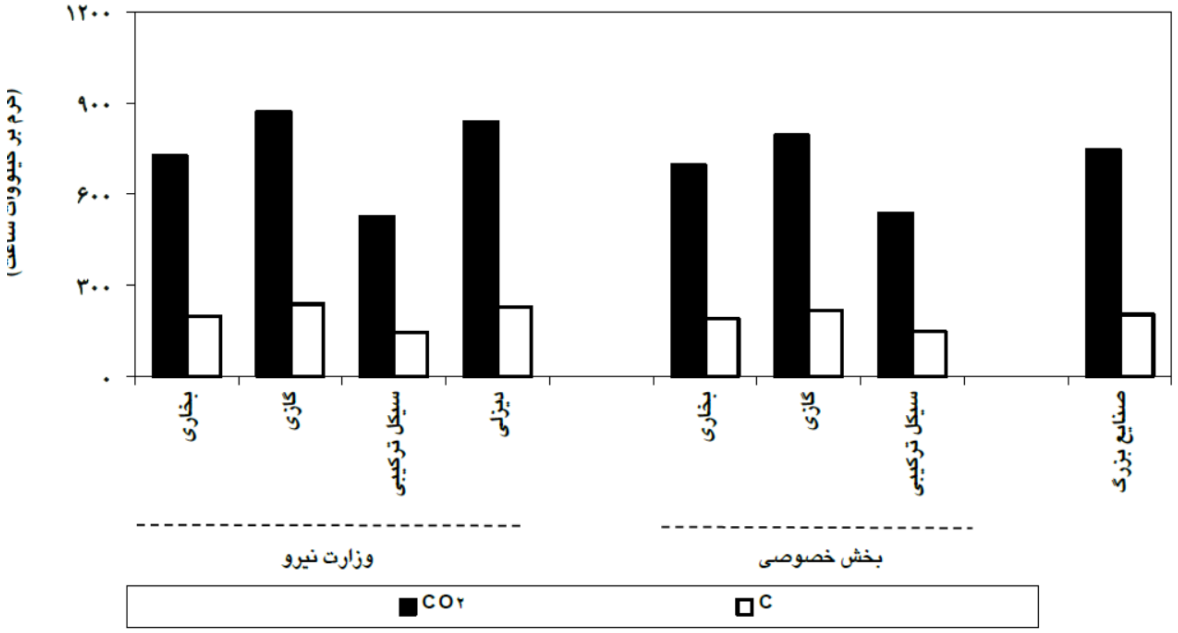
با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی کشور در خصوص تغییرات اقلیمی، تنش آبی و افزایش آلایندگی، می‌بایست میزان آلایندگی فناوری‌های مختلف تعیین شود. به علاوه اثر پیشرفت‌های فناوری بر کاهش این آلایندگی در درازمدت نیز برآورد شده و مجموع این دو در مدل وارد شود. منابع بین‌المللی مرجع مناسبی برای دستیابی به این اطلاعات هستند. در شکل ۹، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش‌های مختلف اقتصاد ایران قابل مشاهده است.



DOI: 10.30503/nripress.2020.289

شکل ۹. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بخش‌های مختلف اقتصاد ایران

در شکل ۱۰، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن فناوری‌های مختلف نیروگاهی ایران مستخرج از ترازنامه انرژی ایران، نمایش داده شده است:



شکل ۱۰. میزان انتشار کربن و دی‌اکسیدکربن فناوری‌های مختلف نیروگاهی در ایران

میزان انتشار دی‌اکسیدکربن بر اساس سوخت شامل نفت خام، زیست‌توده، زغال سنگ، مازوت سبک، مازوت سنگین و گاز طبیعی.

منبع زیر، پایگاه داده مناسبی برای فاکتورهای انتشار در کشورهای جهان از جمله ایران است.

IPCC, Emission Factor Database. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php

۹- استفاده از چشم‌اندازهای انرژی

چشم‌اندازهای انرژی توسعه داده شده توسط نهادهای بین‌المللی اعم از آیرنا، بریتیش پترولیوم، آژانس جهانی انرژی و سایر موارد در خصوص نحوه تنظیم سناریوها و در نظر گرفتن مفروضات مورد نیاز و نتایج مطلوب، دید مناسبی ایجاد می‌نماید. لذا پس از آماده نمودن اطلاعات و داده‌های اولیه، با مطالعه این مستندات در خصوص نحوه راه‌اندازی مدل می‌توان تصمیم گرفت.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

در این راستا می‌بایست با توجه به ساختار مطالعات یاد شده سناریوهای موجود و مطلوب را برای بخش انرژی کشور در نظر گرفت که موارد زیر قابل اشاره است:

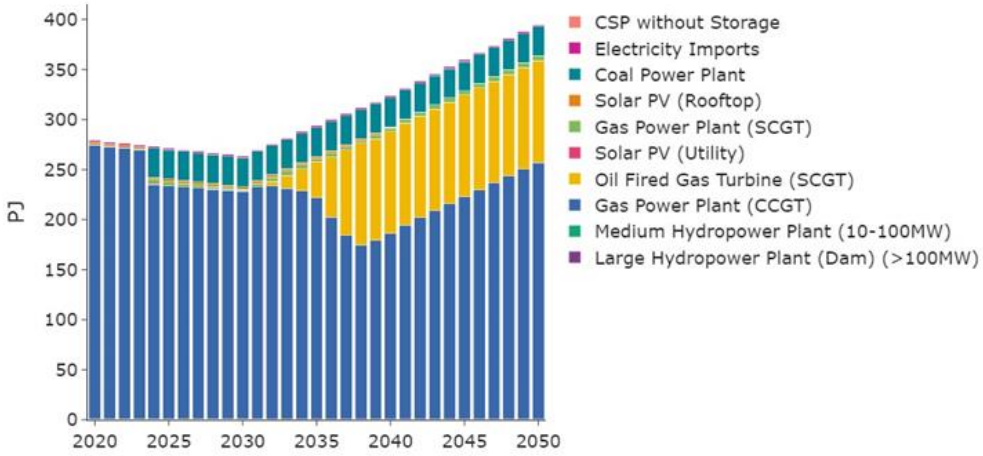
- سناریو ادامه وضع موجود
- سناریو دستیابی به شرایط کربن خالص صفر تا سال ۲۰۵۰
- سناریو دستیابی به نفوذ منابع تجدیدپذیر در سبد انرژی به اندازه انعطاف‌پذیر شبکه تا سال ۲۰۳۰
- سناریو تعیین سطحی از توسعه منابع تجدیدپذیر در کنار افزایش بهره‌وری انرژی برای دوره‌های زمانی ۴ و ۱۰ سال آینده

۱۰- اجرای مدل و سناریوها، تحلیل نتایج خروجی و تدوین سیاست‌های متناسب

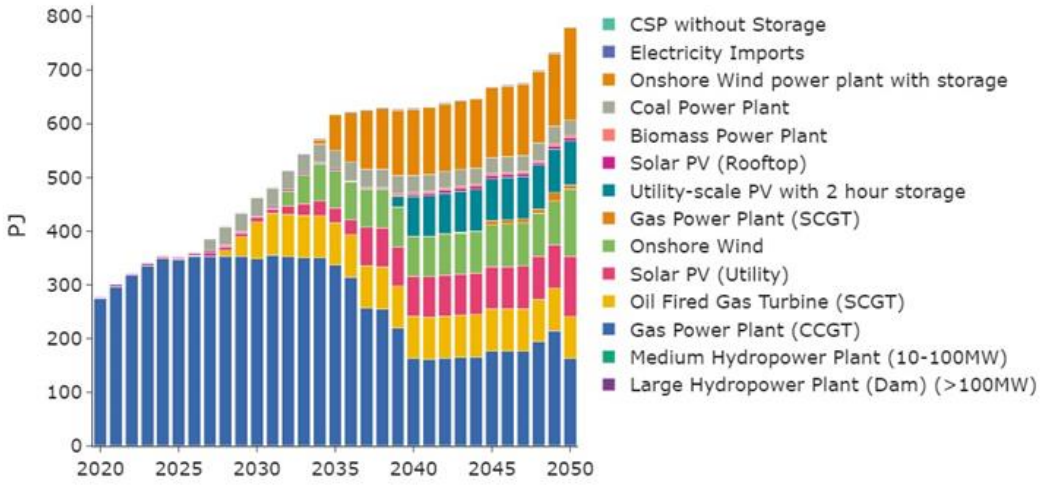
با استفاده از مجموعه اطلاعات و داده‌های ذکر شده، مدل مورد نظر اجرا شده و سناریوهای مختلف بر روی آن اعمال می‌گردد. با استفاده از نتایج خروجی و تحلیل آنها می‌توان به تدوین سیاست‌های مناسب برای توسعه بخش تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی کشور پرداخت. در ادامه با به اشتراک گذاشتن نتایج حاصله با نهادهای تصمیم‌گیر و کارشناسان و صاحب‌نظران خبره می‌توان در صورت لزوم به تصحیح موارد و اجرای دوباره مدل بر اساس نیازهای اعلام شده مبادرت ورزید.

در شکل ۱۱، خروجی بهینه نمونه نرم‌افزار برای یک کشور گازمحور مشابه ایران به نمایش در آمده است. در این شکل، تحت دو سناریو مختلف سبد عرضه بهینه این کشور (سناریو سوخت فسیلی و سناریو کمترین هزینه) به دست آمده است. در سناریو سوخت فسیلی، هیچ سرمایه‌گذاری جدید در تولید انرژی تجدیدپذیر یا هسته‌ای، اجاق‌های برقی و گرمایش، حمل‌ونقل الکتریکی یا بهره‌وری انرژی انجام نمی‌شود. در سناریو کمترین هزینه، سرمایه‌گذاری جدید در انرژی هسته‌ای مجاز نیست. محدودیت‌های سرمایه‌گذاری تدریجی برای تعویض سوخت در سمت تقاضا و بهره‌وری انرژی اعمال می‌شوند. تنها تا ۵ درصد از ظرفیت هر فناوری در سال ۲۰۵۰ بدون محدودیت های سرمایه‌گذاری در سمت تقاضا می‌تواند سالانه سرمایه‌گذاری شود. هیچ محدودیت اضافی برای یافتن راه حل بهینه هزینه اعمال نمی‌شود.

DOI: 10.30503/nripress.2020.289



شکل ۱۱. خروجی نرم افزار اسموسیس برای تولید برق در (الف) سناریو سوخت فسیلی



شکل ۱۱. خروجی نرم افزار اسموسیس برای تولید برق در (ب) سناریو کمترین هزینه

۱۱- نیازمندی‌های اجرای مدل آینده‌پژوهی انرژی کشور

با توجه به سطح دانش و مهارت وجود در ساتبا در خصوص مدل‌سازی انرژی، تهیه چشم‌انداز و تحلیل شرایط انرژی کشور، می‌توان اذعان داشت که بدون اجرای دوره‌های مهارت‌افزایی و توسعه دانش دستیابی به اهداف یاد شده در این گزارش، غیرممکن است. لذا برگزاری دوره‌های آموزشی در مجموعه ساتبا با هدف

DOI: 10.30503/nripress.2020.289

تربیت کارشناسان متخصص و متبحر توسط نهادهای ملی و بین‌المللی معتبر، مهم‌ترین شرط برای موفقیت است. در این راستا برگزاری دوره‌های زیر ضروری است :

- **دوره اقتصاد انرژی و اقتصاد کلان**
- **دوره اقتصادسنجی و مطالعات آماری**
- **دوره آینده‌پژوهی و سناریونویسی**
- **دوره مدل‌سازی انرژی**
- **دوره سیاستگذاری انرژی**

به عنوان جمع‌بندی می‌توان گفت که ظرفیت اجرای چنین مدلی در ساتبا وجود داشته و تولید چشم‌انداز و سیاست‌گذاری با استفاده از آن کاملا ممکن و محتمل است. اما دستیابی به اهداف ذکر شده، نیازمند اهتمام جدی مدیریت ارشد سازمان در خصوص اجرای آن است.