International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

September 2017, Volume 28, Number 2
Pp 227 - 242

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Possible Futures for Iran's Energy Supply: A Scenario Analysis

Mohammad Ehsanifar*, Ali Reza Nezamabadi & Mohammad Alipour

Mohammad Ehsanifar, *Industrial Engineering Department, Islamic Azad University, Arak Branch*
Ali Reza Nezamabadi, *Mechanical Engineering Department, Islamic Azad University, Arak Branch.*
Mohammad Alipour, *Industrial Engineering Department, Islamic Azad University, Arak Branch.*

Keywords

Iran,
Energy production,
Scenario plannig,
Fuzzy cognitive map.

ABSTRACT

Energy is Esrential to improved social and economic wellbeing and is indispensable to most industrial and commercial wealth generations. It is the main factor for relieving poverty, improving human welfare, and raising living standards. Located in the Middle East, Iran holds the world's second largest natural gas reserves and the OPEC's fourth largest supply of oil; and is one of the countries blessed with abundant energy resources. However, geopolitical changes, social issues, economic growth, political challenges, changes in visions, and effective external parameters have led to the increasing variations in the context of energy sector in Iran. In this respect, this study tries to develop fuzzy cognitive map-based scenario planning to evaluate and elaborate the plausible trend of energy production in the country. The cross impact analysis and morphological analysis are also adopted to identify and narrow down key parameters. Fuzzy cognitive map approach in scenarios developing captures expert's knowledge in a graphical manner and uses these captures for a raw scenarios testing and refinement. Four developed scenarios shape the most possible trend for the future of Iran's energy supply through 2031. The integrated approached used in this study covers the deficiencies of merely qualitative/ quantitative scenario planning methods.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۲، جلـــد ۲۸، تابستان ۱۳۹۶
صفحـــــه ۲۲۸-۲۴۲

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

آینده های محتمل تولید انرژی در کشور با استفاده از طرح نقشه شناخت فازی

محمد احسانی فر*، علیرضا نظام آبادی، محمد علی پور

کلمات کلیدی

ایران،
تولید انرژی،
برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو،
طرح نقشه شناخت فازی.

چکیده:

انرژی نقش حیاتی در بهبود رفاه اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند و اصلی ضروری در صنایع و تجارت به‌حساب می‌آید. کشور ایران دومین ذخایر گاز طبیعی دنیا و چهارمین جایگاه تولید نفت اوپک را در اختیار دارد و از کشورهایی است که از منابع فراوان انرژی برخوردار است. ولی تغییرات ژئوپلیتیکی، مسائل اجتماعی مانند رشد جمعیت، رشد اقتصادی، چالش‌های سیاسی، تغییرات اهداف و چشم‌اندازها، و پارامترهای مؤثر خارجی (مانند تغییر قیمت نفت جهانی) باعث تغییرات فزاینده‌ای در حوزه انرژی شده است و اقتصاد ایران نیازمند سیاست‌گذاری هدفمند و طرح‌های بلندمدت است. در این راستا، این نوشتار تلاش دارد با استفاده از برنامه‌ریزی سناریو مبتنی بر طرح نقشه شناخت فازی، روش تحلیل متقاطع، و همچنین تجزیه‌وتحلیل ریخت‌شناسی، روندهای احتمالی آینده انرژی ایران در بخش تولید بررسی نماید. چهار سناریوی محتمل برای تولید انرژی اولیه در کشور تولید شد که بیانگر محتمل‌ترین وضعیت بخش انرژی در کشور تا سال ۱۴۱۰ خواهند بود. روش یکپارچه بکار رفته در این مطالعه ضعف سایر روش‌های کمی یا کیفی را پوشش می‌دهد.

۱. مقدمه

ایران دومین ذخایر گاز طبیعی دنیا و چهارمین جایگاه تولید نفت اوپک را در اختیار دارد [۱]. ایران از جمله کشورهایی است که از منابع فراوان انرژی برخوردار است و پس از ۱۹۱۳ همواره به‌عنوان یکی از صادرکننده‌های اصلی نفت محسوب می‌شده است (جدول ۱). با توجه به اینکه در میان دو منبع بزرگ انرژی جهان (دریای خزر در شمال و خلیج‌فارس در جنوب) قرار دارد، از جایگاه ویژه‌ای نیز در سطح بین‌المللی برخوردار است. از جمله موارد اهمیت این می‌باشد که یکی از دو کشوری است که قادر است به‌طور مستقل و مستقیم نفت و گاز استحصال شده از منبع عظیم دریای خزر را صادر کند. البته از این منظر نیز به دلیل کوتاهی مسافت از رقیب صادراتی خود که روسیه می‌باشد، می‌تواند پیشی گیرد [۲]. روند تولید و مصرف انرژی ایران مابین سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۳ نیز در نمودار ۲ قابل ملاحظه است که بیانگر رشد چشمگیر مصرف انرژی و البته تولید انرژی است. کل تولید انرژی در ایران در سال ۱۳۹۲ در حدود ۳۰۲۰۹ میلیون تن معادل نفت خام بوده است [۳]. سهم هریک از سوخت‌ها در سبد مصرف انرژی ایران برای سال ۱۲۹۲ نیز در شکل ۳ مشخص است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، عمده سهم مصرف انرژی در ایران را سوخت‌های فسیلی و در رأس آن‌ها نفت و گاز تشکیل می‌دهند. ایران همچنین دارای پتانسیل قابل‌توجهی در حوزه منابع تجدید پذیر مانند هیدرو، باد، خورشید، زمین‌گرمایی، موج دریا، و زیست‌توده است که در کنار آن می‌توان به پیشرفت‌های صنعت هسته‌ای در یک دهه اخیر نیز اشاره کرد [۴].

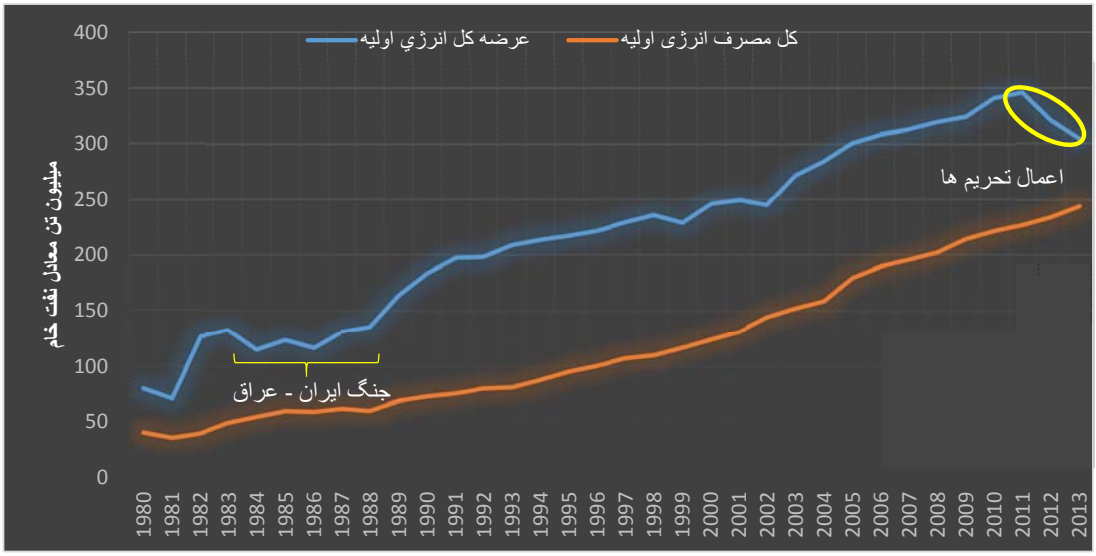
تاریخ وصول: ۹۴/۱۲/۱۰
تاریخ تصویب: ۹۵/۰۲/۲۱

علیرضا نظام آبادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه مهندسی مکانیک، اراک، ایران. alireza.nezamabadi@gmail.com
محمد علی پور، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران. alipour.m.86@gmail.com
*نویسنده مسئول مقاله: **محمد احسانی فر**، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه مهندسی صنایع، اراک، ایران. m-Ehsanifar@iau-arak.ac.ir

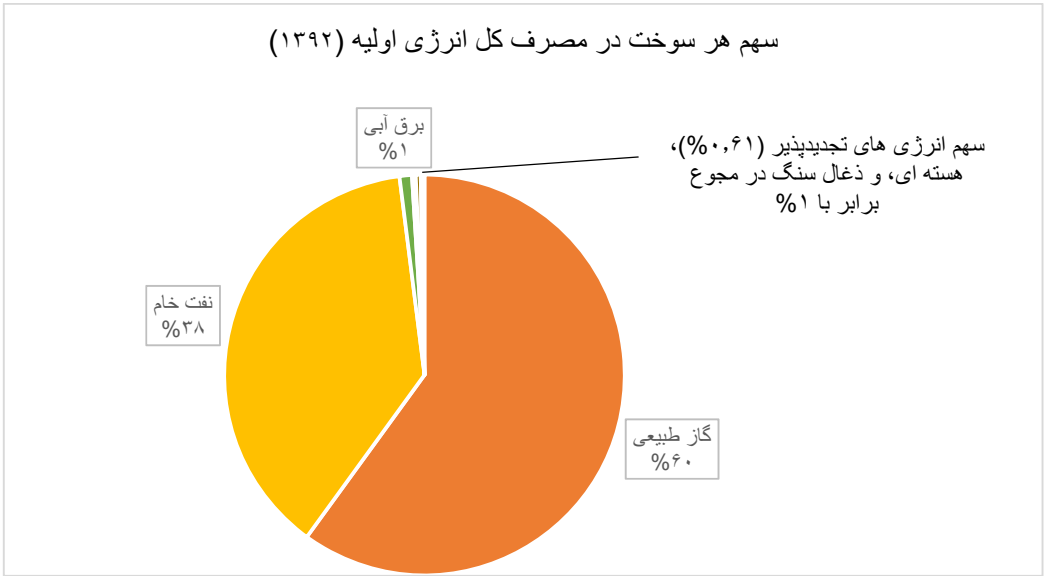
جدول ۱. آمارهای کلیدی انرژی ایران [۳]

آمارهای کلیدی	رتبه جهانی	مقدار
مجموع تولید انرژی اولیه (۲۰۱۲)	۸	۱۳٬۶۴۴* Quadrillion Btu
مجموع مصرف انرژی اولیه (۲۰۱۲)	۱۱	۹٬۶۴۵ Quadrillion Btu
ذخایر ثابت‌شده نفت خام (۲۰۱۵)	٤	۱۵۸ بیلیون بشکه
مجموع تولید نفت و سایر میعانات (۲۰۱٤)	۷	۳۷۵۳ هزار بشکه در روز
ذخایر ثابت‌شده گاز طبیعی (۲۰۱۵)	۲	۱۲۰۱ تریلیون فوت مربع

* یکای بریتانیایی حرارت (با نماد اختصاری BTU) واحد سنتی انرژی است که برابر ۱۰۵۵ ژول انرژی می‌باشد.



شکل ۲. روند تولید و مصرف انرژی (۱۹۸۰-۲۰۱۳) [۳]



شکل ۳. مجموع مصرف انرژی‌های اولیه در ایران به تفکیک سوخت (۲۰۱۳) [۵]

از طرفی، اقتصاد کشور به‌شدت وابسته به صادرات انرژی است؛ به‌طوری‌که بخش عمده صادرات ایران را نفت و گاز طبیعی تشکیل می‌دهد. در سال ۲۰۱۰، نزدیک به ٪۸۰ از کل صادرات ایران از نفت بود و انتظار می‌رود این روند در کوتاه‌مدت و حتی میان‌مدت نیز ادامه پیدا کند[۶]. کاهش میزان صادرات نفت در سال‌های اخیر و در راستای آن کاهش تولید انرژی در کشور تأثیرات منفی نه‌تنها بر بخش انرژی، بلکه بر کل اقتصاد کشور داشته است. وضعیت تولید گاز طبیعی نیز چندان پایدار به نظر نمی‌رسد. با وجود پتانسیل عظیم در تولید، استخراج، و حتی خط لوله‌های گاز سراسری، این کشور همچنان نتوانسته صادرات گاز طبیعی را به کشورهایی مانند پاکستان، هند، ترکیه و سایر کشورهای اروپایی آغاز نماید [۷]. عدم اتمام فازهای باقی‌مانده پارس جنوبی به‌عنوان بزرگ‌ترین میدان گازی دنیا مسئله‌ای است که در این زمینه قابل بحث می‌باشد [۸]. گسترش و صادرات گاز می‌تواند به‌عنوان رکن اصلی رشد اقتصاد در آینده نزدیک موجب شکوفایی بخش‌های مختلف صنعت در کشور گردد. در حوزه انرژی‌های تجدید پذیر، درحالی‌که انرژی‌هایی مانند باد و خورشیدی پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند، ولی این رشد در سایر انرژی‌ها مانند پیل سوختی و هیدروژن با سرعت کمتری همراه بوده است. و بعد از گذشت بیش از یک دهه این نوع انرژی‌های سبز هنوز به مرحله تجاری‌سازی نرسیده‌اند [۹]. سهم تولید انرژی‌های جایگزین در کشور ٪۰٫۶۱ است که بیانگر نقش اندک این حوزه در سبد انرژی کشور است[۱۰].

درکی درست از آینده وضعیت انرژی در هر کشور مسئله‌ای ست که پایه و اساس ساختارهای آینده زیرساخت اقتصادی آن کشور را تعیین می‌کند. تولید انرژی بر این اساس، مبنا و عاملی تعیین‌کننده به‌عنوان نیروی پیشران در پیش‌بینی میزان پیشرفت اقتصادی یک کشور به‌حساب می‌آید. حال اگر آن کشور، صادرکننده این منبع هم باشد، اهمیت آن در نه‌تنها در اقتصاد، بلکه در کل ساختارهای اساسی کشور تأثیرگذار خواهد بود [۱۱]. در نتیجه، درکی صحیح و منطقی از موقعیت آینده تولید انرژی در ایران دارای اهمیت فراوانی است. سناریونویسی یا برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو یکی از روش‌های آینده‌پژوهی در راستای رسیدن به این درک است. بر خلاف سناریونویسی، روش‌های پیش‌بینی، اطلاعات را بر مبنای فضایی ایستا ارزیابی می‌کنند [۱۲]. به‌طور مثال، سری‌های زمانی با ادامه روند گذشته و بعضاً با داده‌های جدید اما در شرایط ثابت ارزیابی می‌شوند. در این روش‌ها، آینده ادامه‌ای از تحولات گذشته و پیش‌بینی آینده بر اساس روندهای گذشته است. این رویکردها بطور خلاصه بر اساس قطعیت‌ها بنا شده اند، ولی نامعلومی ها (عدم قطعیت‌ها) را در نظر نمی‌گیزند درحالی‌که نامعلومی‌ها بیشترین تأثیر را بر روی آینده دارند.

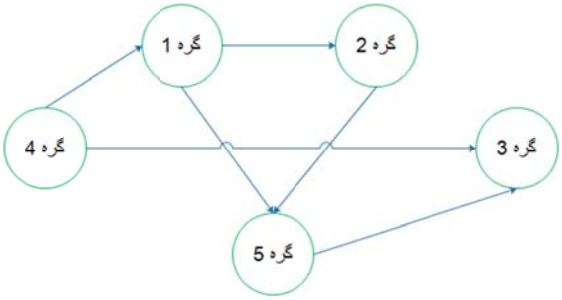
به‌طور خلاصه، سناریو به دنبال افزایش کیفیت تصمیم‌گیری‌های آینده است؛ چه در غیر این صورت چیزی بیش از یک حد و گمان بی‌ارزش نخواهد بود [۱۳]. اهمیت انرژی به‌عنوان پایه و اساس توسعه در هر کشوری روشن و مبرهن است و اقتصاد ایران نیازمند سیاست‌گذاری هدفمند و طرح‌های بلندمدت است. بعلاوه، با توجه به افزایش مصرف انرژی، چه در داخل و چه در خارج، و تغییرات آب‌وهوایی، نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت برای تحقیق و جستجو در آینده این بخش بیش‌ازپیش احساس می‌شود. در این راستا، رسیدن به سناریوهای محتمل در آینده انرژی ایران می‌تواند به سیاست‌گذاران عرصه انرژی، و در بحث کلان‌تر، به تصمیم گیران بلندپایه کشور به تدوین استراتژی‌های واقع‌گرایانه و با در نظر گرفتن چالش‌های احتمالی پیش رو در آینده این بخش کمک شایانی نماید. بنابراین، این نوشتار تلاش دارد با استفاده از برنامه‌ریزی سناریو مبتنی بر طرح نقشه شناخت فازی، روش تحلیل متقاطع، و تجزیه‌وتحلیل ریخت‌شناسی روندهای احتمالی آینده انرژی ایران در بخش تولید را بررسی نماید.

۲. طرح نقشه شناخت فازی

اکسلورد در دهه ۷۰ میلادی طرح نقشه شناختی را برای ارائه دانش علوم اجتماعی به‌عنوان گرافی مستقیم و مرتبط بین عناصر (گره‌ها) و پیکان‌ها (فلش‌ها) معرفی کرد [۱۴]. این نقشه‌های علی و معلولی به‌طور گسترده برای دریافت دانش علت‌ها و مدل‌های ذهنی خبرگان در یک سیستم پیچیده بکار می‌رفت. گره‌ها بیانگر مفاهیم و فلش‌ها بیانگر روابط علی و معلولی بین این مفاهیم بودند. اما این روابط تنها به‌صورت مثبت یا منفی نشان داده می‌شدند. در مدل فازی معرفی شده توسط کسکو [۱۵]، این روابط می‌توانند عددی فازی (معمولاً بین صفر تا یک) به خود بگیرند. هر گره تحت تأثیر گره‌های به هم پیوسته و مرتبط باهم و بر اساس میزان وزن این روابط است. طرح نقشه شناخت فازی مدلی ریاضی ساده شده‌ای از سیستم‌های باورشناختی است و برای ارائه سیستم‌های دانش فردی یا گروهی بکار می‌رود. طرح نقشه شناخت فازی در واقع مدل کلی برای پدیده‌های علت و معلولی است که از مدل نقشه شناختی اقتباس شده است.

در شکل ۴ نمونه‌ای از نقشه شناختی فازی دیده می‌شود. این نقشه مثال ساده‌ای از یک نقشه شناختی محسوب می‌شود. نقشه شناختی فازی مجموعه‌هایی از عناصر است که هرکدام یک پدیده از محیط را نشان می‌دهد. بین گره‌های نقشه شناختی فازی یال یا فلش‌هایی وجود دارد که وزنی از بازه [+۱,−۱] را می‌پذیرند. در این روش نیز مانند نقشه شناختی عادی اعداد مثبت نشان‌دهنده رابطه مستقیم و اعداد منفی نشان‌دهنده رابطه معکوس میان پدیده‌ها هستند. در نقشه شناختی فازی علاوه بر این میزان اثر نیز با استفاده از وزن یال تعیین می‌شود. یعنی با در نظر گرفتن وزن

آن فلش، افزایش یک مقدار در گره ۱ موجب افزایش در گره ۲ خواهد شد. اگر گره ۳ را به‌عنوان گره هدف فرض کنیم یا گره ای که می‌خواهیم تغییرات سایر عناصر را روی آن ببینیم، آنگاه دو دسته عنصر خواهیم داشت. دسته‌ای که تأثیر مستقیم بر پارامتر هدف دارند مانند گره‌های ۴و ۵، و دسته دوم که تأثیرات آن‌ها بر روی عنصر هدف غیرمستقیم است (مانند گره‌های ۱و ۲). در واقع، تأثیر دسته دوم از روی اثرشان بر روی دسته اول قابل تفسیر است.



شکل ۴. نمونه‌ای ساده از طرح نقشه شناخت فازی

به‌طور کل، توسعه طرح نقشه شناخت فازی شامل سه مرحله زیر است:

۱. شناسایی عناصر، پارامترها و دامنه‌های کلیدی؛
۲. شناسایی روابط علی و معلولی میان این عناصر؛ و
۳. برآورد و تخمین قدرت این روابط علت و معلولی.

طرح نقشه شناخت فازی روابط متقابل بین پدیده‌هایی که به‌صورت گرافیکی در نقشه شناختی ارائه می‌شوند را آنالیز می‌کند. و به‌طور گرافیکی روابط علت و معلولی در یک محیط را مدل‌سازی می‌کند. این یکی از مزایای اصلی روش است که کار را برای آنالیز و تجزیه‌وتحلیل رخدادها، پارامترهای مؤثر بر محیط و هدف مورد نظر برای خبرگان و متخصصان تسهیل می‌نماید. به‌طورکلی، هر گره یا عنصر بیانگر یک وضعیت، حالت، متغیر، رویداد، هدف، و یا دیگر مؤلفه‌های یک سیستم است. این عناصر توابع غیرخطی هستند که فعال‌سازی وزن مسیر را به علت‌های آن‌ها هدایت می‌کنند. یک تعداد متناهی از طرح نقشه شناخت فازی ها می‌تواند باهم ترکیب شود تا به تولید یک نقشه مشترک بی انجامد. از این رو، طرح نقشه شناخت فازی یکپارچه یک نگاه جامع‌تر از مسائل مربوط به محدوده موضوع مطروحه را ارائه می‌کند.

این رویکرد پژوهشی در یک طیف وسیع‌تر از کاربردهای مختلف در زمینه های دیگر مورد پژوهش قرار گرفته است. این روش برای مطالعه و تجزیه‌وتحلیل سیاست خارجی، سرمایه‌گذاری، طراحی و بهبود سیستم ارزیابی اطلاعات، برنامه‌ریزی محصول، مشکلات و چالش‌های تولید، آنالیز کنترل سیستم نظارتی، مدل‌سازی اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی، و بسیج جامعه در برابر بیماری همه‌گیر ایدز بکار رفته است [۱۶].

۳. توسعه طرح نقشه شناخت فازی یکپارچه

پروژه با تجزیه‌وتحلیل عناصر (محرک یا گره‌های) اصلی آغاز می شود تا در آن پارامترهایی که تأثیر احتمالی بر روند عرضه انرژی در ایران را دارند شناسایی گردند. از خبرگان مختلف مانند اساتید دانشگاه، دانشجویان مقطع دکترا و کارشناسی ارشد مهندسی نفت و آینده‌پژوهی خواسته شد تا برای شناسایی محرک‌های مؤثر بر تولید انرژی اولیه در ایران پارامترهای اقتصادی، سیاسی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فناوری را شناسایی کنند. از نظرات ۵۰ خبره برای گردآوری این عوامل استفاده شد که هرکدام از خبرگان تعدادی عوامل را شناسایی کردند.

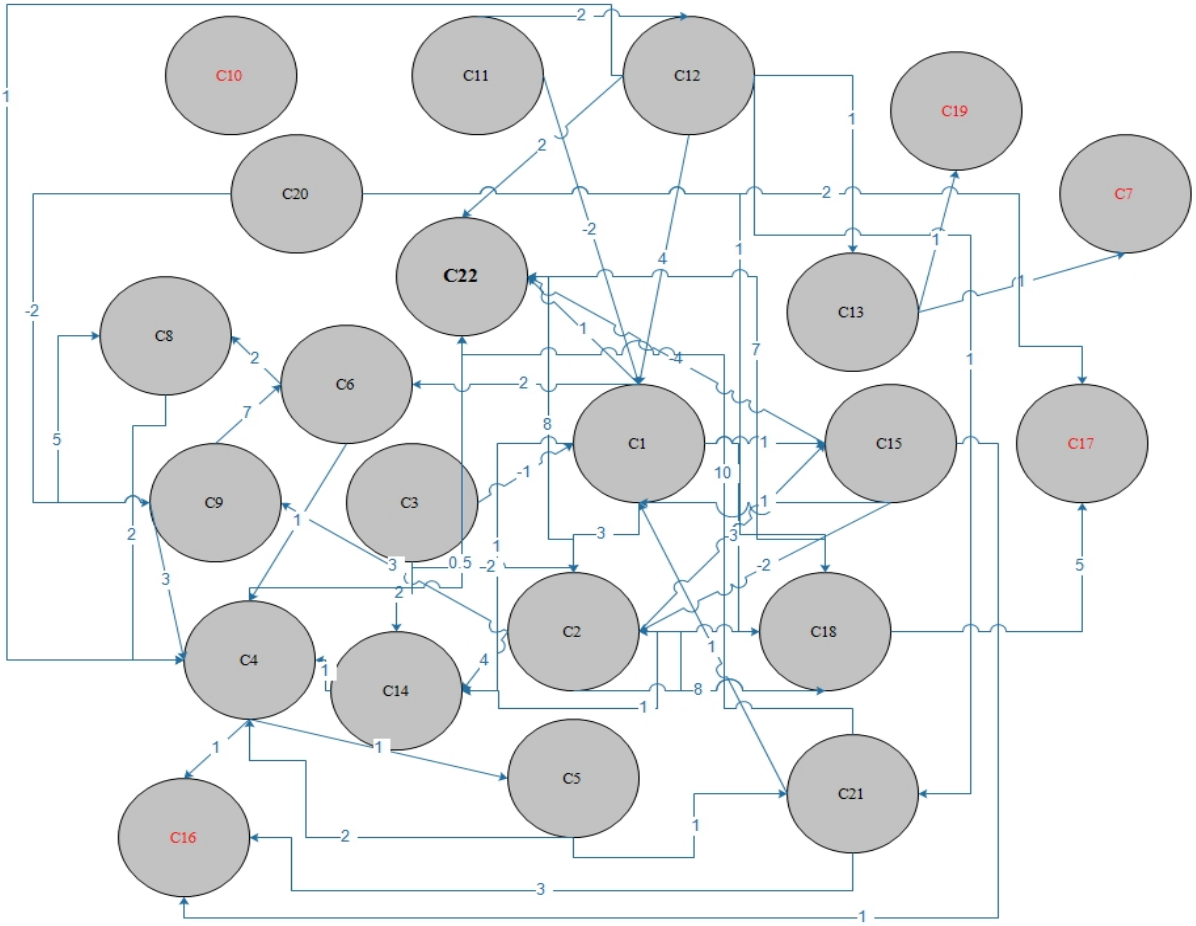
در طرح نقشه شناخت فازی یکپارچه مجموع این عوامل آورده می‌شود. بطوریکه تعداد بیشتری عنصر نسبت به هرکدام از عوامل شناخته‌شده توسط هر خبره وجود دارد. جدول ۲ این عوامل و توضیحات مربوط به آن ها را نشان می دهد. هدف اصلی طرح نقشه شناخت فازی بررسی فاکتورهای علت و معلولی مؤثر بر عرضه انرژی ایران در میان مدت است (C۲۲).

جدول ۲. معرفی و توصیف عناصر در طرح نقشه شناخت فازی یکپارچه شده

شماره عنصر	نام عنصر	تعریف عنصر
C۱	رشد اقتصادی	با کاهش فشارهای ناشی از تحریم‌ها و عبور از رکود، انتظار می‌رود رشد اقتصادی در سال‌های پیش رو افزایش متوسطی را تجربه کند.
C۲	افزایش مصرف انرژی	مصرف انرژی شاهد رشد چشمگیری در سال‌های اخیر بوده است. این روند هرچند ادامه خواهد داشت اما شیب ملایم‌تری را در ادامه خواهد دید.
C۳	رشد جمعیت	طبق آمار بانک جهانی، متوسط رشد جمعیت کشور در سه سال اخیر ٪۱٫۳ بوده و ادامه این روند مورد انتظار است.
C٤	گسترش انرژی‌های تجدید پذیر	استفاده از انرژی‌های نو در مناطق با پتانسیل بالا توسط بخش خصوصی.
C٥	نوآوری‌های فناوری	ورود تکنولوژی‌های پیشرفته از خارج همراه با دستیابی به فناوری‌های برتر در داخل و جایگزینی آن با تجهیزات فرسوده، بخصوص

		در بخش نفت.
C٦	سیاست‌های حمایتی دولت در توسعه انرژی‌های جایگزین	سیاست‌های حمایتی دولت در جهت رسیدن به هدف ۱۰٪ از تولید برق کشور از انرژی‌های نو.
C۷	ثبات سیاستی	آرامش در نهادهای مهم تصمیم‌گیری در کشور با اهداف یکسان سیاسی.
C۸	مشوق‌ها برای بخش انرژی‌های تجدید پذیر	ارائه بسته‌های حمایتی دولت و خرید تضمینی برق متناسب با قیمت‌های جهانی.
C۹	خواست سیاسی دولت در توسعه انرژی‌های جایگزین	اراده و عزم سیاسی دولت از طریق پوشش قانونی و حقوقی، برنامه‌ریزی مرکزی، ایجاد ظرفت، و حمایت نهادی.
C۱۰	حمایت و همکاری‌های بین‌المللی	همکاری‌های بین‌المللی، پشتیبانی و حمایت، و فرصت‌های مالی در بخش‌های مختلف انرژی. با کاهش محدودیت‌های بین‌المللی می‌توان شاهد همکاری‌های بیشتری با شرکت‌های بین المللی بود.
C۱۱	ثبات در منطقه	کاهش تنش میان کشورهای همسایه ایران و کشورهای دارای منافع استراتژیک با ایران از جمله سوریه.
C۱۲	افزایش قیمت نفت	اگرچه قیمت نفت در حال حاضر رو به کاهش است، اما طبق پیش‌بینی‌های آژانس بین‌المللی انرژی و اوپک قیمت نفت روندی صعودی خواهد داشت.
C۱۳	موقعیت ژئوپلیتیکی	با ارتباطات بیشتر میان کشورهای همسایه و افزایش قدرت نظامی موقعیت ژئوپلیتیکی کشور بهبود خواهد یافت.
C۱٤	افزایش ظرفیت سیستم برق کشور در بلندمدت	ظرفیت تولید برق می‌تواند با افزایش نیروگاه‌ها و گسترش انرژی‌های نو افزایش یابد.
C۱۵	برنامه هدفمندی یارانه‌ها	کاهش اعطای یارانه‌ها موجب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و واقعی شدن قیمت‌های حامل‌های سوختی خواهد شد.
C۱٦	چشم‌انداز بلندمدت کلی	تعیین روند کلی بخش انرژی در کشور.
C۱۷	فرصت‌های بین‌المللی در حوزه گاز	استفاده از فرصت های صادرات گاز به کشورهای همسایه و حتی به کشورهای اروپایی.
C۱۸	گسترش خطوط انتقالی گاز	گسترش خطوط لوله انتقال گاز در نقاط فاقد زیرساخت موجب افزایش مصرف و به تبع آن افزایش تولید گاز خواهد شد. همچنین موجب افزایش احتمال صادرات گاز به کشورهای همسایه نیز می‌شود.
C۱۹	نگاه غرب به ایران به‌عنوان یک منبع تأمین انرژی (نفت و گاز)	تنش میان غرب و روسیه یا نزدیکی روابط میان ایران و غرب می‌تواند زمینه‌ای برای نگاه غرب به ایران به‌عنوان یک منبع تأمین انرژی باشد.
C۲۰	افزایش قیمت منطقه‌ای گاز	قیمت کنونی گاز صادرات آن را توجیه‌ناپذیر کرده است. افزایش قیمت می‌تواند پارامتری اساسی در صادرات گاز باشد.
C۲۱	کشف میادین جدید نفت و گاز	در سال‌های اخیر میزان کشف میادین جدید نفت و گاز به علت کاهش حفاری پایین آمده است. این میزان با ورود شرکت‌های خارجی و افزایش حفاری‌ها روند صعودی خواهد یافت.
C۲۲	افزایش تولید انرژی	منظور افزایش تولید انرژی‌های اولیه در بخش سوخت‌های فسیلی (بخصوص نفت و گاز) و بخش انرژی‌های نو است.

برای ساخت طرح نقشه شناخت فازی ، از خبرگان درخواست شد تا نظر خود را راجع به ارتباط بین عناصر توافق شده اعمال کنند. نظرات خبرگان پس از دریافت اجماع شده و به‌صورت یک نقشه یکپارچه به دست آمد (شکل ۵). در این نقشه، تأثیرات عوامل کلیدی بر روی سیستم رسم نشده است و برای سادگی شکل، اعداد روابط بین ۱- تا ۱+ بدون اعشار آمده است. عناصر کلیدی با رنگ قرمز مشخص هستند و C۲۲ پارامتر هدف (تولید انرژی اولیه در ایران) را نشان می‌دهد.

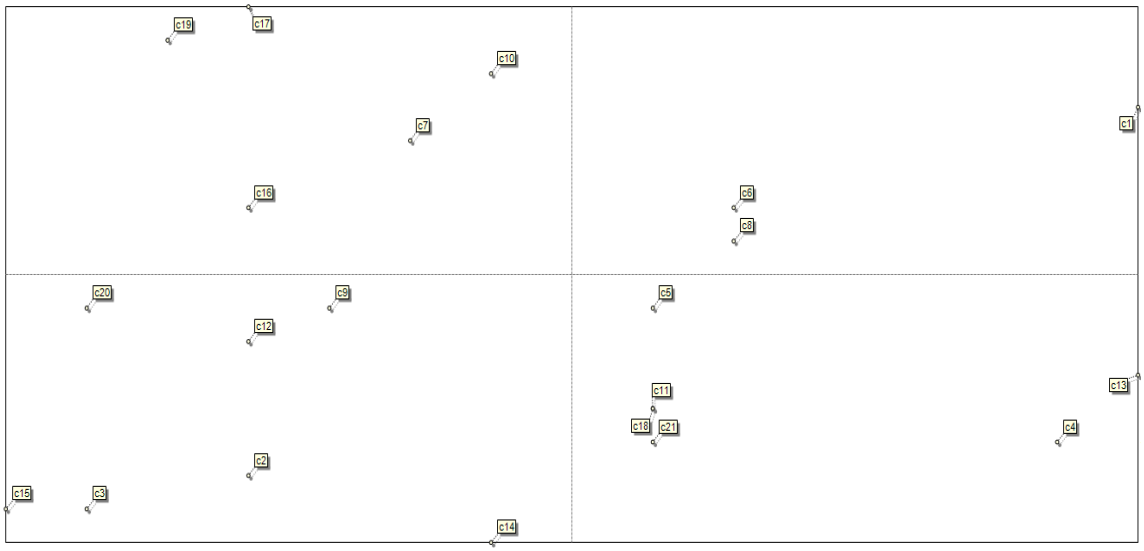


شکل ۵. طرح نقشه شناخت فازی یکپارچه برای تولید انرژی در ایران (بدون در نظر گرفتن روابط عناصر کلیدی و بدون نشان دادن اعشار)

۳-۱. اولویت‌بندی عناصر

رهیافت یا نگرش بیشینه برای موقعیت‌ها و مسائلی مطرح می‌شود که دارای تعداد بیشتری از عناصر و عدم قطعیت‌ها هستند. در شرایط عدم وضوح نمی‌توان کاملاً از رهیافت استاندارد استفاده کرد [۱۲]. بخش تولید انرژی در ایران نیز همان‌طور که اشاره شد دارای عدم قطعیت‌ها و بی‌ثباتی‌های زیادی از جمله مسائل سیاسی و اقتصادی است. به همین دلیل قبل از رهیافت استاندارد کارهای اضافی نیز باید انجام دهیم تا عناصر و عدم قطعیت‌ها را کاهش دهیم. کاهش تعداد عناصر این امکان را فراهم می‌کند که بر روی عواملی متمرکز شویم که توانایی بیشترین تأثیر را بر روی آینده دارد. این می‌تواند ما را به تهیه هسته اصلی سناریو مانند رهیافت استاندارد پیش ببرد.

برای یافتن عناصر کلیدی، از روش تحلیل اثرات متقاطع و نرم‌افزار میک مک استفاده می شود. لیست مهم‌ترین عناصر احتمالی در جدولی ۲۱ در ۲۱ آورده می شود (بدون در نظر گرفتن پارامتر هدف (C۲۲)). از خبرگان خواسته شد تا نظر خود را نسبت به تأثیر هرکدام از این عوامل بر روی یکدیگر ارزیابی کرده و نمره‌ای به آن اختصاص دهند. نظرات خبرگان در نرم‌افزار میک مک با عددی در مقیاس صفر تا ۳ مشخص می‌شود. عدد صفر تأثیر بی طرف، عدد ۱ تأثیر کم، عدد ۲ تأثیر متوسط، و عدد ۳ تأثیر زیاد را نشان می‌دهد. در مرحله آخر، عناصر کلیدی و مؤثر که بیشترین نقش را در تولید انرژی اولیه در ایران دارند شناسایی می‌گردند. پارامترهایی کلیدی هستند که کمترین وابستگی و بیشترین نفوذ یا اثر را در میان سایرین داشته باشند. برای شناسایی این عوامل، متغیرها را بر روی یک نمودار رسم می‌کنیم. نموداری حاوی متغیر وابستگی در محور افقی و متغیر پیش‌رانی یا نفوذ در محور عمودی. شکل ۶ این نمودار همراه با عوامل را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمودار وابستگی-نفوذ پارامترهای مؤثر بر تولید انرژی اولیه در ایران

عوامل قرار گرفته در نیمه بالا و سمت راست، پارامترهای با رفتارهای دوگانه هستند. نیمه‌ی پایینی و سمت چپ شامل عناصر با نفوذ کم و البته وابستگی اندک؛ و نیمه پایین و سمت راست شامل پارامترهای با وابستگی زیاد است. عواملی که در نیمه بالای سمت چپ نمودار قرار می‌گیرند عناصر کلیدی هستند و سناریوسازی با آن‌ها صورت می‌گیرد. همان‌طور که از شکل ۶ پیداست، C۱۹, C۱۷, C۱۶, C۱۰, C۷ (ثبات سیاستی، حمایت و همکاری‌های بین‌المللی، چشم‌انداز بلندمدت کلی، فرصت‌های بین‌المللی در حوزه گاز، و نگاه غرب به ایران به‌عنوان یک منبع تأمین انرژی) عناصر کلیدی مسئله هستند.

۳-۲. توسعه بردارهای ورودی

پس یافتن عناصر کلیدی به سراغ جعبه ریخت‌شناسی می‌رویم تا بردارهای ورودی سناریوها ساخته شوند. این جعبه کمک می‌کند تا سناریوهای دلخواه از بین عناصر کلیدی تولید گردد. از خبرگان خواسته شد تا سناریوهای مورد نظر خود را با توجه به دو متغیر کلی نسبت به هرکدام از عناصر کلیدی ترسیم کنند. متغیر الف بیانگر مفهوم مطلوب عنصر است و متغیر ب به جنبه نامطلوب آن اشاره دارد. نظرات خبرگان با هم ادغام شده و در نهایت به سناریوهایی مطابق با شکل ۷ ختم می‌شود. تحلیل ریخت‌شناسی ابزاری مناسب برای دریافت بردارهای ورودی محتمل است که متعاقباً برای سناریوهای مبتنی بر طرح نقشه شناخت فازی مورداستفاده قرار می‌گیرد [۱۷]. از مزایای رویکرد ریخت‌شناسی می‌توان به حذف ترکیبات ناسازگار عناصر اشاره کرد [۱۸].

متغیرها	عناصر مهم/ نیروهای پیشران سناریو				
	ثبات سیاستی	حمایت و همکاری های بین المللی	چشم انداز بلند مدت کلی	فرصت های بین المللی در حوزه گاز	نگاه غرب به ایران بعنوان یک منبع تامین انرژی (نفت و گاز)
متغیر الف	۱ الف: ثبات سیاسی	۲ الف: حمایت و همکاری های بین المللی	۳ الف: توسعه میادین نفت و گاز در جهت تولید بیشتر	۴ الف: فرصت های بین المللی برای صادرات گاز	۵ الف: توجه غرب به ایران برای تامین انرژی
متغیر ب	۱ ب: عدم ثبات/ یا ثبات سیاسی نسبی	۲ ب: عدم حضور/ یا حضور محدود شرکت های خارجی	۳ ب: ادامه روند فعلی/ یا توجه بیشتر به انرژی های جایگزین	۴ ب: عدم وجود/ یا وجود فرصت های محدود برای صادرات گاز	۵ ب: عدم توجه/ یا توجه اندک غرب به ایران برای تامین انرژی

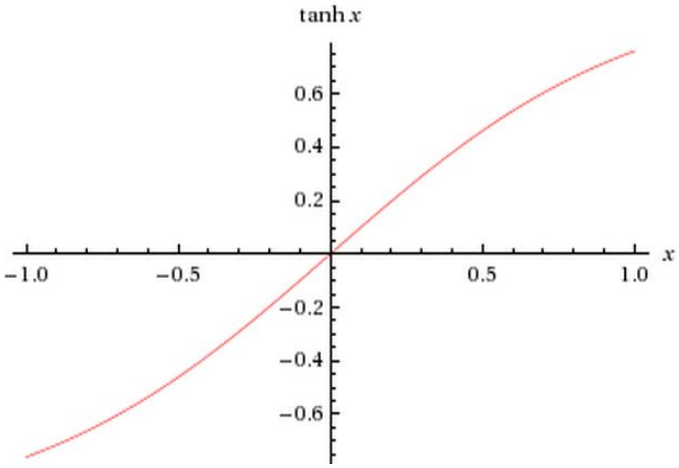
شکل ۷. جدول ریخت‌شناسی سناریوهای ممکن تولید انرژی‌های اولیه ایران

- ✓ بردار ورودی ۱: عدم ثبات سیاسی داخلی- عدم حضور/حضور محدود شرکت‌های خارجی- توسعه میادین نفت و گاز در جهت تولید بیشتر- عدم وجود/وجود فرصت‌های محدود برای صادرات گاز- توجه غرب به ایران برای تأمین انرژی.
- ✓ بردار ورودی ۲: ثبات سیاسی- عدم حضور/حضور محدود شرکت‌های خارجی- توسعه میادین نفت و گاز در جهت تولید بیشتر- فرصت‌های بین‌المللی برای صادرات گاز- عدم توجه/توجه اندک غرب به ایران برای تأمین انرژی.
- ✓ بردار ورودی ۳: عدم ثبات/یا ثبات نسبی سیاسی- حمایت و همکاری‌های بین‌المللی - توسعه میادین نفت و گاز در جهت تولید بیشتر- فرصت‌های بین‌المللی برای صادرات گاز- عدم توجه/توجه اندک غرب به ایران برای تأمین انرژی.
- ✓ بردار ورودی ۴: ثبات سیاسی- حمایت و همکاری‌های بین‌المللی- ادامه روند فعلی تولید سوخت‌های فسیلی/توجه بیشتر به انرژی‌های جایگزین- عدم وجود/وجود فرصت‌های محدود برای صادرات گاز- عدم توجه/توجه اندک غرب به ایران برای تأمین انرژی.

۴. شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی و تجزیه‌وتحلیل سناریوها

طرح نقشه فازی یکپارچه برای هرکدام از بردارهای ورودی تست می شود. قبل از شبیه سازی بردارهای ورودی خبرگان نظرات مختلفی از تأثیر پارامترهای کلیدی بر روی کل سیستم اعمال کردند تا نتایج دقیق‌تر و نزدیک به واقعیت تری حاصل شود. در هرکدام از سناریوها، تأثیرات یک سری از عناصر موردتوجه قرار داشت. یعنی، مقدار برخی از عناصر در شبیه‌سازی یک عدد ثابت در نظر گرفته شد تا تأثیر آن‌ها بر روی سایر عناصر و بر روی پارامتر هدف بررسی شود.

در این مطالعه، شبیه سازی مدل به وسیله تابع سیگموئد دوقطبی، تابع تانژانت هیپربولیک اجرا شد. تابع تانژانت هیپربولیک یک تابع ریاضی است که در پژوهش‌های گذشته به استفاده از این تابع برای شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی توصیه شده است [۱۹]. این تابع وزن عناصر در فاصله ۱- تا ۱+ را می پذیرد. یکی از مزایای این تابع این است که بجای صفر یا یک در نظر گرفتن توابع (یا در نظر گرفتن به‌صورت مطلق) آن‌ها را به‌صورت "کمی فعال"، "کمی غیرفعال" و غیره نشان می‌دهد (بر خلاف تابع باینری ساده). این‌گونه خروجی‌های فازی گونه و غیر مطلق در نهایت به جواب‌های دقیق‌تری ختم می‌شود. یک تابع تانژانت هیپربولیک برای مقادیر بین ۱- تا ۱+ در شکل ۸ رسم شده است و رابطه ۱ تابع تانژانت هیپربولیک را برای این مقادیر نشان می‌دهد.



شکل ۸. تابع تانژانت هیپربولیک رسم شده برای مقادیر ۱- تا ۱+

$$S_i(x_i) = \frac{(e^{-c(x_i - y_i)} - e^{-c(x_i - y_i)})}{(e^{-c(x_i - y_i)} + e^{-c(x_i - y_i)})} \quad (۱)$$

روند شبیه‌سازی با ضرب بردار ورودی (وضعیت یا استنتاج) (در اینجا ۲۲*۱) و ماتریس مجاور طرح نقشه شناخت فازی (S_i) (۲۲*۲۲) آغاز می‌شود و بدین ترتیب بردار خروجی اول به دست می‌آید (رابطه ۲). به عنوان مثال، رابطه ۳ نمایشگر بردار وضعیت برای سناریوی اول است. تابع تانژانت هیپربولیک بعد از هر ضرب به‌عنوان تابع آستانه بر روی بردار خروجی اعمال می‌شود. بردار دوم از ضرب ماتریس به دست آمده از ضرب اول در ماتریس وضعیت به دست می‌آید (و اعمال تابع تانژانت هیپربولیک). این روند تا جایی

ادامه پیدا می‌کند که نتایج تکراری شوند و به‌اصطلاح به ثبات برسند. در نتیجه، سیستم پایدار می‌گردد و ضرب‌های ماتریس‌های جدید نتایج یکسانی را در بردار خروجی به همراه خواهند داشت. کاربرد مدل طرح نقشه شناخت فازی با ثابت در نظر رفتن عناصر مختلف و روش‌های ضرب بردار- ماتریس مجاور تجزیه‌وتحلیل می‌شود تا تأثیر این اختلالات و انحرافات بر روی وضعیت مدل ارزیابی شود.

$$S_i = I_j \text{ x } E \qquad (۲)$$

$$= [۱۰۰۰۰۰۱۰۰۱۱۰۰۰۰۰] \qquad (۳)$$

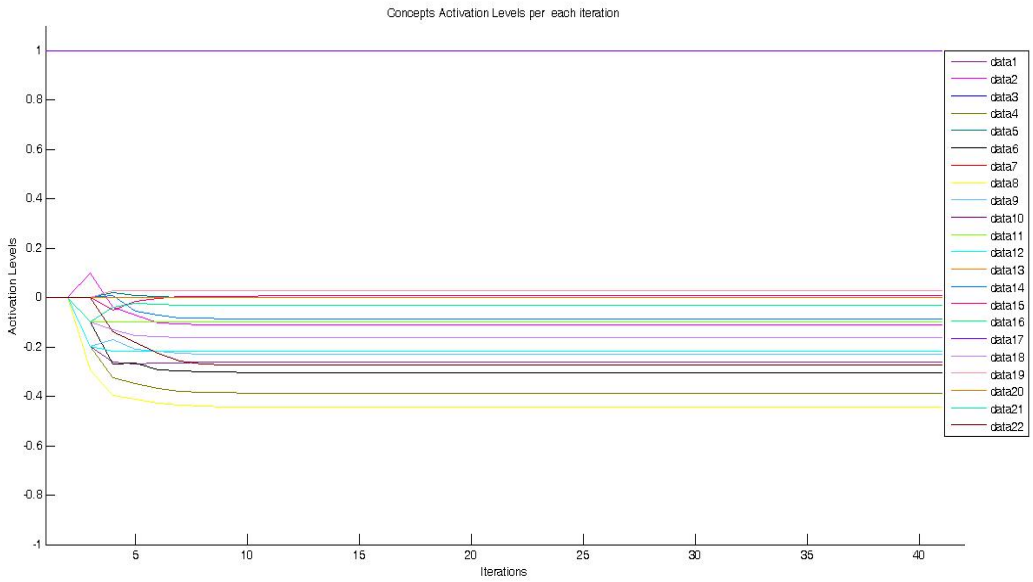
بردار وضعیت ورودی اول در رابطه ۲، S_i بردار وضعیت جدید (بردار خروجی یا بردار استنتاج)، I_j jامین بردار استنتاج، و E ماتریس مجاور طرح نقشه شناخت فازی است.

۴-۱. سناریوی اول

بردارهای ورودی ارائه‌شده در بخش قبل برای ساخت شبیه‌سازی مدل مورداستفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی با تعریف بردار وضعیت آغاز می‌شود که ارائه‌کننده وضعیت پیشنهادی برای این حالت است. فرضیات سناریوی اول بر عدم حمایت و همکاری‌های بین‌المللی در بخش انرژی و همچنین چالش‌های سیاسی داخلی استوار است. خروجی شبیه‌سازی برای بردار ورودی اول در سطر آخر جدول ۳ آمده است. وضعیت اولیه C۷، C۱۳، C۱۶ و C۱۷ مقدار ۱ در نظر گرفته شده‌اند درحالی‌که مقادیر سایر عناصر صفر هستند. وضعیت C۷، C۱۳، C۱۶ و C۱۷ در طول شبیه‌سازی ثابت نگه داشته شده‌اند. شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی توسط نرم‌افزار متلب انجام می‌گیرد و تابع تانژانت هیپربولیک به‌عنوان تابع اسکواچ بکار می‌رود. شبیه‌سازی تا جایی تکرار می‌شود که نتایج به ثبات برسند. بردار خروجی پس از ۳۹ بار به ثبات می‌رسد. نکته قابل ذکر در مورد خروجی‌ها این است که به‌جز پارامتر هدف (C۲۲)، در باقی پارامترها مقادیر بین ۱.۰- تا ۱.۰صفر در نظر گرفته شده‌اند. شکل ۹ سطوح فعال‌سازی عناصر در ۳۹ تکرار انجام‌شده را نمایش می‌دهد.

جدول ۳. نتایج شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی برای بردار ورودی اول

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳	C۱۴	C۱۵	C۱۶	C۱۷	C۱۸	C۱۹	C۲۰	C۲۱	C۲۲
C۷	-.۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-.۱	-.۱	۰	-.۳	۰	۰	۰	۰	۰	-.۱	۰	۰	-.۳
C۱۰	۰	۰	۰	-.۱	-.۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-.۱	۰	۰	-.۳	۰	-۰٫۸	-.۲
C۱۶	۰	۰٫۱	۰	-.۲	۰	-.۱	۰	-.۳	-.۲	۰	۰	-.۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۵	۰٫۹
C۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-.۲	۰	۰	-.۱	-.۶
C۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۴	۰	۰	۰	۰	۰٫۵	۰٫۸
نتایج	-.۲	-.۱	۰	-.۳	۰	-.۳	۱	-.۴	-.۲	۰	۰	-.۲	۱	۰	۰	۱	۱	-.۱	۰	۰	۰	**-۰٫۲۷۲**



شکل ۹. نمودار سطوح فعال‌سازی عناصر در هر تکرار برای سناریوی اول

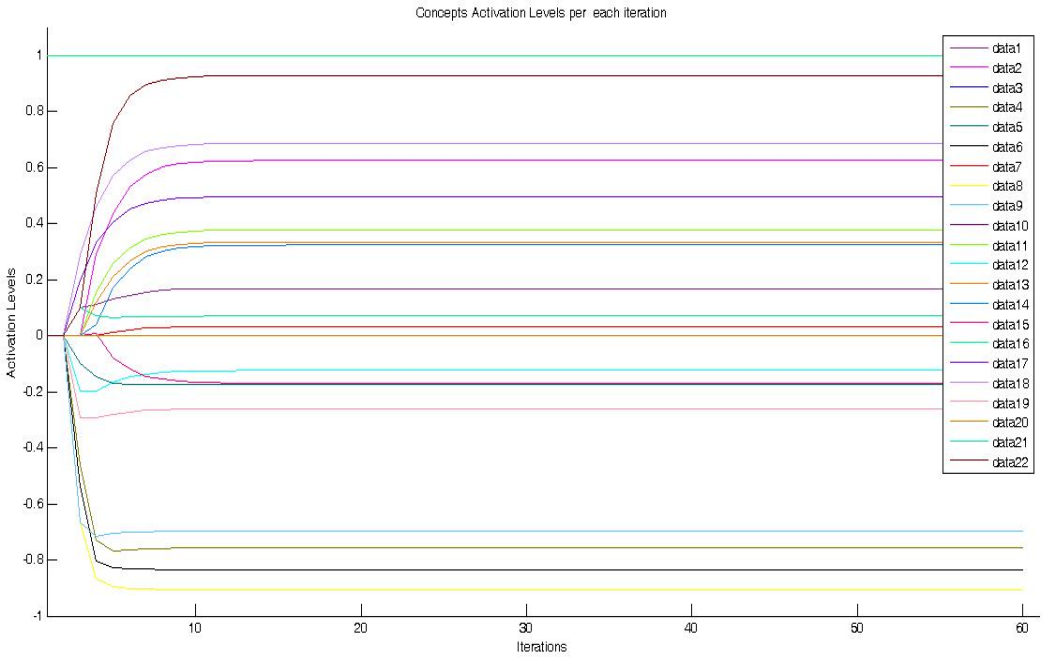
سناریوی اول به‌طورکلی، بدبینانه‌ترین سناریوی تبیین شده می‌باشد که در آن تولید انرژی اولیه مقداری کاهش خواهد یافت. با ادامه تنش میان ایران و کشورهای غربی انتظار می‌رود حضور شرکت‌های بین‌المللی فعال در این حوزه در کشور محدود گردد. چالش‌های تنظیمات قرارداد وزارت نفت با شرکت‌های بین المللی و نگرانی این شرکت‌ها از عدم ثبات در کشور آن‌ها را برای حضور در ایران مردد می‌سازد. تجهیزات کشف، استخراج، و حفاری نفت قدیمی هستند و نیاز به بازسازی و یا جایگزینی دارند. عدم حضور این شرکت‌ها موجب خواهد شد که تولید در بخش نفت با روند منفی مواجه شود. مصرف نفت تقریباً ثابت خواهد ماند (C۲)، رشد منفی اقتصادی در این سناریو وجود دارد (C۱)، و افزایش مصرف انرژی باعث کاهش صادرات نفت خواهد شد. با چالش های گفته‌شده در بخش نفت و فرسودگی تجهیزات، عمده تلاش دولت در راستای حفظ سطح تولید فعلی خواهد بود و اندک توجه به بخش انرژی‌های تجدید پذیر نیز کاهش خواهد یافت (C۴، C۶، C۸، C۹).

۴-۲. سناریوی دوم

در این سناریو، چشم‌انداز بلندمدت کشور در راستای صادرات هرچه بیشتر نفت و تولید گاز طبیعی برای تأمین نیاز داخلی کشور است. توسعه بخش سوخت‌های فسیلی بدان معناست که وضعیت نابسامان کنونی انرژی‌های نو رو به وخامت بیشتری می‌رود و سهم اندک ۰.۶۱٪ سبد انرژی کشور از این بخش باز هم کمتر خواهد شد (C۴، C۶، C۸، C۹). نظرات خبرگان راجع به عناصر کلیدی همراه با نتایج شبیه‌سازی برای بردار ورودی اول در جدول ۴ آمده است و شکل ۱۰ سطوح فعال‌سازی عناصر در هر تکرار را نمایش می‌دهد. وضعیت اولیه C۱۰ و C۱۶ مقدار ۱ و ثابت در نظر گرفته شده است و سایر مقادیر صفر هستند. طبق فرض این سناریو، اگرچه همکاری خاصی از طرف کشورهای پیشرفته به چشم نخواهد خورد، اما تکمیل میادین گازی پارس جنوبی و وجود ثبات سیاسی در داخل کمک زیادی به افزایش تولید انرژی در کشور خواهد کرد (C۷). این ثبات سیاسی موجب بهبود موقعیت ژئوپلیتیکی کشور و متعاقباً ثبات در سطح منطقه خواهد شد (C۱۱ و C۳). در این سناریو شاهد رشد اندک اقتصادی خواهیم بود و این در حالی است که مصرف انرژی با توجه به رشد اقتصادی رشد چشمگیری خواهد کرد (C۲). افزایش ظرفیت سیستم برق کشور و افزایش نیروگاه‌های حرارتی از جمله دلایل مصرف بیش از پیش انرژی اولیه خواهد بود (به‌خصوص گاز طبیعی). همچنین، برق تولید شده در آینده توانایی صادرات به کشورهای همسایه از جمله عراق را خواهد داشت.

جدول ۴. نتایج شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی برای بردار ورودی دوم

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳	C۱۴	C۱۵	C۱۶	C۱۷	C۱۸	C۱۹	C۲۰	C۲۱	**C۲۲**
C۷	۰،۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰،۴	۰	۰	۰،۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C۱۰	۰	۰	۰	۰	-.۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰،۳	۰	-۰،۵	-۰،۶
C۱۶	۰،۱	۰	۰	-.۵	۰	-.۶	۰	-.۸	-.۸	۰	۰	-۰،۲	۰	۰	۰	۰	۰،۲	۰،۳	۰	۰	۰،۶	۰،۷
C۱۷	۰،۴	۰،۲	۰	۰	۰	-.۳	۰	-.۴	-.۵	۰	۰،۸	۰	۰،۷	۰	۰	۰،۷	۰	۰،۹	۰	۰	۰	۰،۹
C۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰،۲	۰	۰	۰	۰	۰	-۰،۳	۰	۰	۰	۰	۰	-.۱
نتایج	۰،۱	۰،۶	۰	-۰،۷	-۰،۱	-۰،۸	۰،۳	-۰،۹	-۰،۷	۱	۰،۳	-.۱	۰،۳	۰،۳	-۰،۱	۱	۰،۵	۰،۶	-۰،۲	۰	۰	**۰،۹۲۸**



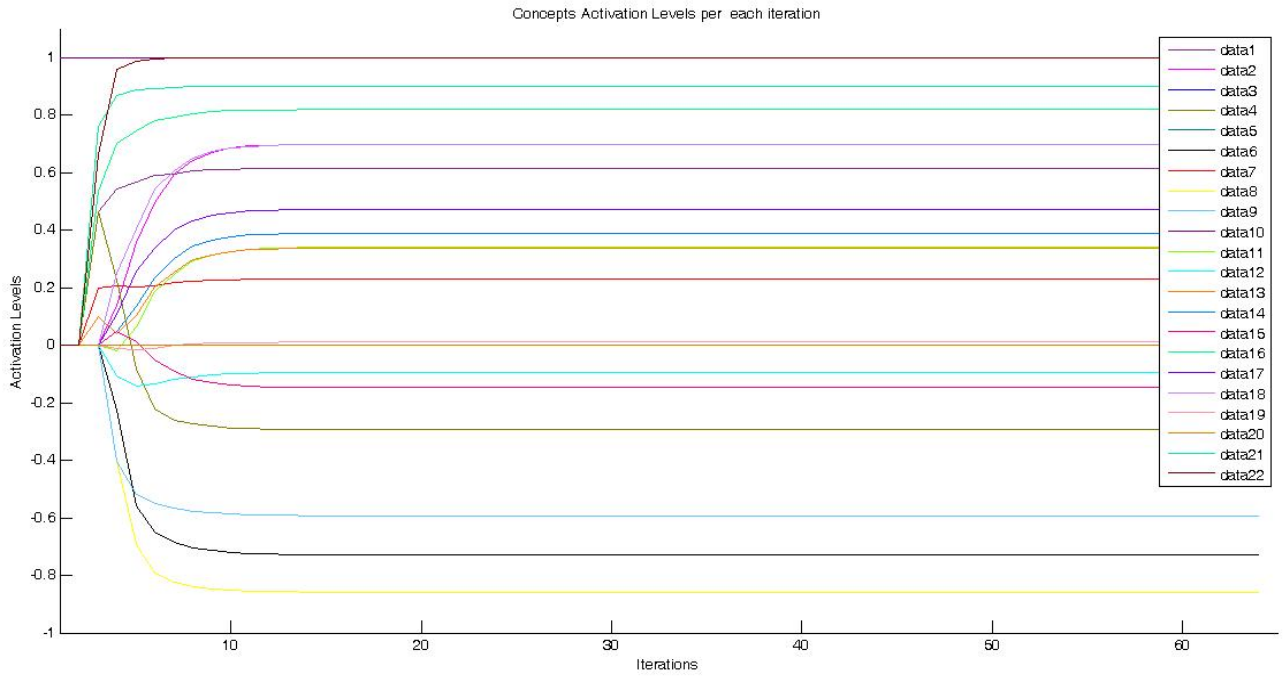
شکل ۱۰. نمودار سطوح فعال‌سازی عناصر در هر تکرار برای سناریوی دوم

۴-۳. سناریوی سوم

فرضیات سناریوی سوم بر نزدیکی روابط بین ایران و غرب و در نتیجه حضور پر رنگ کمپانی‌های پیشرو در بخش انرژی بنا شده است. در اینجا پارامترهای C۵ و C۱۰ ثابت و اندازه اولیه آن‌ها برابر ۱ در نظر گفته شد. نتایج شبیه‌سازی برای بردار ورودی سوم در سطر آخر از جدول ۵ خلاصه شده است. همکاری شرکت‌های خارجی زمینه را برای گسترش و نوآوری فناوری مهیا می‌کند که می‌تواند به کشف و استخراج بیشتر میادین جدید نفتی منجر شود (C۲۱). با توجه به سیاست دولت مبنی بر تمرکز حداکثری بر میدان‌های مشترک نفت و گاز با کشورهای همسایه (به‌خصوص عراق و قطر)، استخراج از میادین مشترک نفت و گاز با سرعت بیشتری انجام می‌پذیرد (C۲۱). و با همکاری شرکت‌های درگیر در بخش انتقال گاز می‌تواند خطوط لوله انتقال گاز طبیعی را به نقاط مورد نیاز برساند که این زمینه را برای احتمال صادرات گاز طبیعی در آینده به کشورهای همسایه و حتی غرب بیشتر می‌کند. مانند سناریوی دوم، شاهد رشد اقتصادی مثبت هرچند اندک خواهیم بود (C۱) و در عین حال وضعیت توسعه انرژی‌های نو روند مثبتی نخواهد داشت. سناریوی سوم خوش‌بینانه‌ترین حالت ممکن برای افزایش تولید انرژی اولیه در ایران است که در آن تولید انرژی تا سال ۱۴۱۰ افزایش چشمگیری خواهد داشت (C۲۲). تعداد تکرارهای شبیه‌سازی برای بردار ورودی سوم به ۶۲ رسید. شکل ۱۱ بیانگر سطوح فعال‌سازی پارامترهای مؤثر بر تولید انرژی اولیه در ایران در هر تکرار مربوط به سناریوی سوم است.

جدول ۵. نتایج شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی برای بردار ورودی سوم

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳	C۱۴	C۱۵	C۱۶	C۱۷	C۱۸	C۱۹	C۲۰	C۲۱	C۲۲
C۷	-.۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-.۱	-.۱	۰	-۰,۳	۰	۰	۰	۰	۰	-.۱	۰	۰	-.۳
C۱۰	۰,۵	۰	۰	۰,۳	۰	۰	۰,۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۱	۰	۰	۰,۶	۰	۰	۰	۰	۰,۹	۰,۸
C۱۶	۰,۱	۰	۰	-.۵	۰	-.۶	۰	-.۸	-.۸	۰	۰	-۰,۲	۰	۰	۰	۰	۰,۲	۰,۳	۰	۰	۰,۶	۰,۷
C۱۷	۰,۴	۰,۲	۰	۰	۰	-.۳	۰	-.۴	-.۵	۰	۰,۸	۰	۰,۷	۰	۰	۰,۷	۰	۰,۹	۰	۰	۰	۰,۹
C۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰,۲	۰	۰	۰	۰	۰	-.۳	۰	۰	۰	۰	۰	-۰,۱
نتایج	۰,۶	۰,۶	۰	-.۳	۱	-.۷	۰,۲	-.۸	-.۵	۱	۰,۳	۰	۰,۳	۰,۳	-۰,۱	۰,۸	۰,۴	۰,۷	۰	۰	۰,۹	۰,۹۹۸



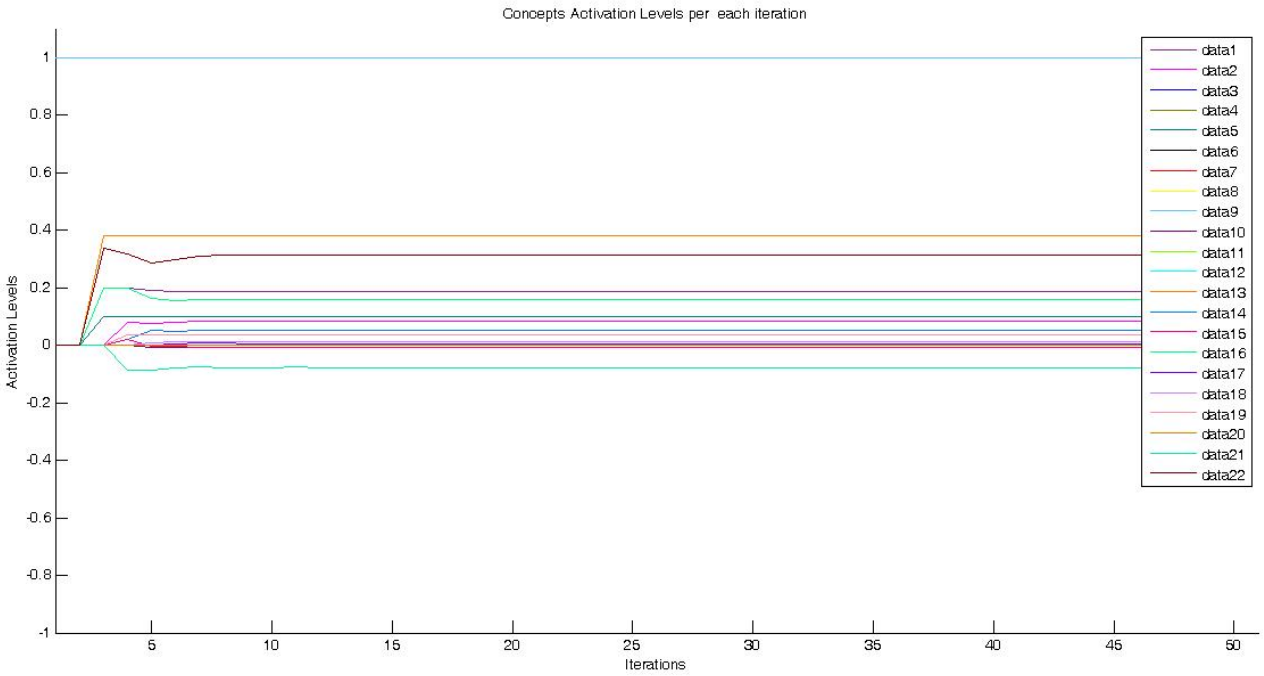
شکل ۱۱. نمودار سطوح فعال‌سازی عناصر در هر تکرار برای سناریوی سوم

۴-۴. سناریوی چهارم

سناریوی آخر با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به انرژی‌های تجدید پذیر آغاز می‌شود که در آن مقادیر C۴ و C ۶ و C۷ و C۸ و C۹ برابر ۱ فرض شده و مقادیر این عناصر در طول شبیه‌سازی در این عدد ثابت‌شده‌اند. نظرات خبرگان و نتایج شبیه‌سازی برای بردار ورودی آخر در جدول ۶ آمده است. شبیه‌سازی این بردار ۴۸ بار تکرار شد. شکل ۱۲ سطوح فعال‌سازی عناصر در هر تکرار را نمایش می‌دهد. این سناریو را می‌توان به سناریوی سبز تعبیر کرد که در آن دولت می‌کوشد تمرکز خود را بر گسترش انرژی‌های نوین بنا گذارد. روند تولید فعلی سوخت‌های فسیلی کمابیش ادامه پیدا خواهد کرد و البته گاز تولید و مصرف بیشتری خواهد داشت. دولت تلاش می‌کند مصرف سوخت در بخش حمل‌ونقل داخلی را کنترل نماید (C۲). روند افزایش شهرنشینی و گسترش آلودگی زیست‌محیطی کلان‌شهرها دولت را تا ۱۴۱۰ مجاب خواهد کرد به سمت سوخت‌های جایگزین حرکت نماید. سوخت هیدروژنی به‌عنوان جایگزینی برای سوخت بخش حمل‌ونقل داخل شهر موردتوجه قرار خواهد گرفت درحالی‌که انرژی‌های خورشیدی و بادی سهم ۱۰٪ تعیین‌شده از چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور را هرچند با تأخیر۶ ساله برآورده خواهند ساخت. در سناریوی چهارم، روابط ایران و غرب وضعیت نوسانی را تجربه خواهد کرد (C۱۰) و با توجه به ثبات بالای سیاسی در داخل (C۷)، موقعیت ژئوپلیتیک آن بهبود پیدا خواهد کرد (C۱۳).

جدول ۶. نتایج شبیه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی برای بردار ورودی چهارم

	C۱	C۲	C۳	C۴	C۵	C۶	C۷	C۸	C۹	C۱۰	C۱۱	C۱۲	C۱۳	C۱۴	C۱۵	C۱۶	C۱۷	C۱۸	C۱۹	C۲۰	C۲۱	**C۲۲**
C۷	۰٫۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۴	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۳
C۱۰	۰٫۵	۰	۰	۰٫۳	۰	۰	۰٫۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰٫۶	۰	۰	۰	۰	۰٫۹	۰٫۸
C۱۶	۰	۰٫۱	۰	۰٫۴	۰	۰٫۲	۰	۰٫۵	۰٫۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰٫۲	۰	۰	-۰٫۵	-۰٫۲
C۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰٫۲	۰	۰	-.۱	-.۶
C۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰٫۲	۰	۰	۰	۰	۰	-۰٫۳	۰	۰	۰	۰	۰	-۰٫۱
نتایج	۰٫۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰٫۳	۰	۰	۰٫۱	۰	۰	۰	۰	۰	**۰٫۳۱۲**



شکل ۱۲. نمودار سطوح فعال‌سازی عناصر در هر تکرار برای سناریوی چهارم

ویژگی‌های ۴ سناریوی ساخته‌شده در جدول ۷ خلاصه شده است. به‌طورکلی، سناریوی اول بدبینانه‌ترین، سوم خوش‌بینانه‌ترین، و سناریوی چهارم سناریوی سبز آینده روند تولید انرژی‌ها اولیه در ایران هستند. تغییرات کلیدی مرتبط با بخش تولید انرژی ایران تا حد زیادی به سیاست‌های خارجی کشور و البته سیاست‌گذاری‌های داخلی (چشم‌اندازهای بلندمدت) وابسته است و تغییر در هرکدام از این شاخه‌ها تأثیر پررنگی بر بخش صنعت خواهد گذاشت.

جدول ۷. خلاصه ویژگی‌های سناریوهای ساخته‌شده

سناریو	تغییرات تولید انرژی در ایران	مقدار پارامتر هدف (C۲۲)	فرضیات کلیدی	پارامترهای ثابت‌شده	تعداد پارامترهای مثبت	تعداد پارامترهای منفی	تعداد تکرارهای شبیه‌سازی
سناریوی اول	کاهش اندک	-۰٫۲۷۲	عدم حمایت و همکاری‌های بین‌المللی؛ وجود چالش‌های داخلی	C۷ و C۱۳ و C۱۶ و C۱۷	۰	۸	۳۹
سناریوی دوم	افزایش زیاد	۰٫۹۲۸	تولید و صادرات هرچه بیشتر نفت و گاز	C۱۰ و C۱۶	۸	۸	۵۸
سناریوی سوم	افزایش بسیار زیاد	۰٫۹۹۸	گسترش روابط ایران و غرب و حضور گسترده شرکت‌های بین‌المللی انرژی در کشور	C۵ و C۱۰	۱۰	۵	۶۲
سناریوی چهارم	افزایش اندک	۰٫۳۱۲	گسترش انرژی‌های نو در راستای حرکت در مسیر سبز	C۴ و C۶ و C۷ و C۸ و C۹	۲	۰	۴۸

۵. نتیجه گیری

طرح نقشه شناخت فازی به‌عنوان روشی نوظهور در سطوح پژوهشی در حال پیاده‌سازی است. این مطالعه به دنبال بکار گیری تکنیکی یکپارچه مبتنی بر این متد و روش های تحلیل اثرات متقاطع و ریخت شناسی برای بخش تولید انرژی اولیه در ایران بوده است. بخش تولید انرژی اولیه در ایران به این دلیل انتخاب شد که تأثیرات پررنگ آن در تمام سطوح کشور و نه‌تنها اقتصاد حائز اهمیت است. صادرات انرژی از جمله نفت و اثرات آن به‌عنوان

درآمد اصلی کشور، رشد مصرف انرژی در کشور، ظهور انرژی‌های نو و تجدید پذیر، انرژی هسته‌ای و مسائل پیرامون آن در سطح بین‌المللی این بخش را از سایر بخش ها مجزا می‌کند.

سناریوهای تولید شده از طریق نظرات خبرگان و پرسشنامه‌های پاسخ‌داده‌شده توسعه پیدا کرد. این تحقیق همچنین رویکردی جدید برای طراحی سناریو در بخش تولید انرژی‌های اولیه و ساخت مطالعات آینده ارائه کرد. این مطالعه نشان داد که سناریوسازی مبتنی بر طرح نقشه شناخت فازی ابزاری مناسب برای ارائه دانش به‌صورت سمبلیک است و روند نقشه‌برداری یا نگاشت آن به بررسی اثرات سناریوهای مختلف بر روی یکدیگر کمک می کند. خبرگان از این طریق قادر شدند تا به‌راحتی محرک‌هایی که ممکن است بر روی روند تولید بیشترین نقش را ایفا کنند، برجسته و نگاشت کنند. علی‌رغم برخی محدودیت‌ها، مدل یکپارچه طرح نقشه شناخت فازی یک مدل بصری را پیشنهاد می‌دهد و بینشی برای درک عوامل حمایت‌کننده و پیشران و عوامل مانع توسعه و گسترش بخش انرژی در کشور فراهم می‌نماید. رویکرد توسعه سناریو مبتنی بر طرح نقشه شناخت فازی به شناسایی و مدل‌سازی چه کمی و چه کیفی فاکتورها و روابط پیچیده علت و معلولی در زمینه گسترش انرژی اولیه در ایران کمک کرده است.

با وجود موفقیت پیاده سازی مدل، مشکلاتی در رابطه با انجام روش وجود دارد که پیشنهاداتی برای رفع این موانع در ادامه می آید:

- ✓ افزایش تعداد خبرگان و اختصاص زمان بیشتر برای بازنگری نقشه یکپارچه یکی از راه‌های بهبود نتایج مطالعه است. ایجاد کارگاه‌های متعدد در این راستا و همچنین پنل خبرگان برای شناسایی محرک‌های اصلی و در مرحله بعد شناسایی پارامترهای کلیدی می‌تواند قدم مهمی در این زمینه باشد.
- ✓ توصیه می‌شود مدل‌های طرح نقشه شناخت فازی برای هر خبره قبل از شبیه‌سازی‌های اصلی پیش‌پردازش شود. این کار برای شناسایی ارتباطات گم‌شده بین عناصر مؤثر خواهد بود. بعلاوه، موجب پاک کردن متغیرهای ناقص، استانداردسازی چارچوب زمانی و بهبود آگاهی خبرگان برای پارامترها می‌شود.
- ✓ برای یافتن عناصر می توان از روش آنالیز استیپ[1] استفاده کرد.
- ✓ شفاف سازی معنا و توصیف عناصر به‌شدت توصیه می‌شود. این امر ترکیب کردن آسان‌تر طرح نقشه شناخت فازی های دریافت شده از خبرگان و حذف عناصر اضافی را تسهیل می‌کند. مروری بر ادبیات همچنین نشان می‌دهد که نام‌های واضح برای عناصر کلیدی برای یکپارچه‌سازی طرح نقشه شناخت فازی ها مؤثر است.
- ✓ در طول فرآیند بهره‌گیری از نظرات خبرگان، طوفان فکری هم برای یافتن محرک‌های بیشتر مؤثر بر مسئله و هم برای یافتن ارتباطات بین محرک‌ها می‌تواند مؤثر باشد.

برای مطالعات آتی، می توان روش استفاده شده را برای انرژی های نو از جمله انرژی خورشیدی و بادی (با توجه به پتانسیل بالای آن در کشور)، انرژی های فسیلی مانند نفت و گاز، و حتی هسته ای پیاده سازی کرده و نتایج آن را با این مطالعه مقایسه نمود.

مراجع

[1]. Fadai, D., Shams, Z., & Abbasi, A., 2011. "Analyzing the causes of non-development of renewable energy-related industries in Iran". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 2690–2695.

[۲]. زارع زاده، منصوره، قادری، سیدفرید، و توکلی مقدم، رضا.، « بررسی سیستمی اثرات سیاستهای قیمتی انرژی بر مصرف صنایع ایران »، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره۱، جلد ۲۴، صفحه ۱۱۶-۱۰۸، ۱۳۹۲.

[3]. EIA 2015. Energy Information Administration, Iran's Key Energy Statistics, Retrieved Nov. 26, 2015, from http://www.eia.gov/beta/international/country.cfm?iso=IRN.

[4]. Bahrami, M., & Abbaszadeh, P., 2013. "An overview of renewable energies in Iran". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, pp. 198–208.

[۵]. وزارت نیرو، (۱۳۹۳)، ترازنامه انرژی ایران (۲۰۱۳)، تهران، ایران.

[6]. Chaharsooghi, S. K., Rezaei, M., & Alipour, M. 2015. "Iran's energy scenarios on a 20-year vision". *International Journal of Environmental Science and Technology*, *12*(11), pp. 3701-3718.

[۷]. اصفهانیان، مجید، و امین ناصری، محمدرضا، «ارائه یک مدل شبکه عصبی جهت پیش بینی کوتاه مدت قیمت نفت خام»، نشریه بین المللی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۱، جلد ۱۹، صفحه ۳۵-۲۷، ۱۳۸۷.

[1] Steep analysis

[۸]. نهاوندی، نسیم، و نجف زاده، کیان، «مقایسه دو رویکرد توسعه سمت عرضه انرژی الکتریکی در مقابل مدیریت سمت تقاضا با روش سیستم های دینامیک»، شماره ۴، جلد ۲۲، صفحه ۳۵۸-۳۴۲، ۱۳۹۰.

[9]. Nasiri, M., Khorshid-Doust, R. R., & Moghaddam, N. B. 2013. "Effects of under-development and oil-dependency of countries on the formation of renewable energy technologies: A comparative study of hydrogen and fuel cell technology development in Iran and the Netherlands". *Energy Policy*, *63*, pp. 588-598.

[10]. Ghobadian, B., Najafi, G., Rahimi, H., and Yusaf, T.F. 2009. "Future of renewable energies in Iran", *Renewable Energy*, 13, pp. 689-695.

[11]. Abbaszadeh, P., Maleki, A., Alipour, M. and Maman, Y.K., 2013. Iran's oil development scenarios by 2025. *Energy Policy*, *56*, pp.612-622.

[۱۲]. ملکی، عباس. آینده‌پژوهی و انرژی. تهران: انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۲.

[13]. Walsh, P. R. 2005. "Dealing with the uncertainties of environmental change by adding scenario planning to the strategy reformulation equation". *Management Decision*, *43*(1), pp. 113-122.

[14]. Axelrod, R. 2015. "Structure of decision: The cognitive maps of political elites". *Princeton university press*.

[15]. Kosko, B. 1986. "Fuzzy cognitive maps". *International Journal of man-machine studies*, *24*(1), pp. 65-75.

[16]. Rodriguez-Repiso, L., Setchi, R., & Salmeron, J. L. 2007. "Modelling IT projects success with fuzzy cognitive maps". *Expert Systems with Applications*, *32*(2), pp. 543-559.

[17]. Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. 2006. "Scenario types and techniques: towards a user's guide". *Futures*, *38*(7), 723-739.

[18]. Durance, P., & Godet, M. 2010. Scenario building: uses and abuses. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(9), 1488-1492.

[19] Jetter, A. J. 2006. "Fuzzy cognitive maps for engineering and technology management: what works in practice?" *In Technology Management for the Global Future*, 2006. PICMET 2006 (Vol. 2, pp. 498-512). IEEE.