پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال چهارم، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۴۲- ۱

بررسی تاثیر گسترش منابع گازی نامتعارف بر تولید گاز طبیعی ایران: رویکرد پویایی‌شناسی سیستم

علی حسین صمدی[۱] و مهدی امامی میبدی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

چکیده

در سال‌های اخیر، تولید گاز علاوه بر منابع متعارف آن از منابع نامتعارف نیز امکانپذیر شده است. ایران به عنوان دومین دارنده ذخایر گاز متعارف جهان و چهارمین تولیدکننده آن در نظر دارد با ورود به فضای رقابت گازی، سهم خود را در تجارت جهانی گاز افزایش دهد. مطالعه حاضر، هدف اصلی خود را بررسی مسیر درازمدت اکتشاف، استخراج و تولیدگاز ایران و نحوه اثرگذاری گسترش تولید از منابع نامتعارف گازی قرار داده است. برای دستیابی به این هدف، رویکرد پویایی‌شناسی سیستم مورد استفاده قرار گرفته است. الگوی طراحی شده دارای سه زیرسیستم چرخه اکتشاف و تولیدگازهای متعارف، سرمایه‌گذاری و تقاضای جهانی است و برای دوره ۱۴۱۴-۱۳۸۰ شبیه‌سازی شده است. اعتبار الگو نیز براساس آزمون‌های بازتولید رفتار و وارد کردن تکانه به متغیرها مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که با روندکنونی، عمر ذخایر گازی مؤثر در آینده درکشور از حدود ۴۰۰ سال به کمتر از ۳۰ سال در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. تولید گاز طبیعی نیز با روندی افزایشی از حدود ۱۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به بیش از ۵۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. به عبارت دیگر، میزان تولیدگازطبیعی طی یک دوره ۳۵ ساله حدود ۵ برابر خواهد شد. اعمال پیش‌نوشته‌های افزایش نرخ اکتشاف، افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه و افزایش سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری منجر به افزایش تولیدگاز طبیعی خواهد شد. با این وجود، گسترش گازهای نامتعارف می‌تواند منجر به کاهش امنیت تقاضای گازهای متعارف جهان و کاهش تولیدگاز در ایران در یک دوره درازمدت شود. در نظرگرفتن همزمان تمامی پیش‌نوشته‌ها می‌تواند منجربه افزایش تولیدگاز و در نتیجه جبران کاهش تولید ناشی ازگسترش تولید گازهای نامتعارف شود.

طبقه‌بندی JEL: *Q43 P48 O13*

واژه‌های کلیدی: گازهای متعارف، گازهای نامتعارف (شیل گاز)، پویایی‌شناسی سیستم، صنعت گاز، ایران

۱- دانشیار بخش اقتصاد، دانشگاه شیراز
Email: asamadi@rose.shirazu.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری اقتصاد انرژی، دانشگاه شیراز- نویسنده مسئول
Email: mehdi28j@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

گاز طبیعی به عنوان یکی از منابع اصلی و مهم انرژی در جهان شناخته شده و بر اساس گزارش‌های آژانس بین‌المللی انرژی، انتظار بر آن است به دلیل وجود حجم بالای ذخایر، طول عمر این منبع خدادادی تا حدود ۱۲۰ سال آینده نیز ادامه داشته باشد. (آژانس بین‌المللی انرژی[1]، ۲۰۱۱) با این حال و بر اساس گزارش سال ۲۰۱۱ آژانس بین‌المللی انرژی، از یک سو ذخایر جهان برای تامین تقاضای کشورهای در حال رشد تخصیص داده می‌شود و از سوی دیگر، ذخایر گاز در برخی از مناطق رو به کاهش گذاشته شده است. این مسائل باعث شده است تا امنیت عرضه گاز در برخی از مناطق و یا کشورهای جهان با تهدیدهایی روبه‌رو شود.

تولید گاز از منابع غیرمتعارف آن به عنوان یک راهکار امیدبخش در راستای بهبود امنیت عرضه انرژی گاز و یا کاهش وابستگی‌های واردات در برخی از کشورها از جمله آمریکا در سال‌های اخیر مطرح شده است.

منابع گاز غیرمتعارف به منابعی اطلاق می‌شود که متان در لایه‌های سنگ‌های رسوبی محبوس است. از مهم‌ترین این منابع می‌توان به گازهای شیل[2]، گازهای سخت[3] و متان محبوس در بستر ذغال سنگ[4] اشاره کرد. در این میان، گازهای شیل بیش از نیمی از ذخایر گازهای غیرمتعارف جهان را شامل می‌شود و نسبت به دیگر انواع گازهای غیرمتعارف بیشتر مورد توجه قرار گرفته است به طوری که بر اساس گزارش اداره اطلاعات انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۳، گازهای شیل به تنهایی حدود ۳۲ درصد از کل ذخایر گازهای طبیعی قابل بازیافت جهان را به خود اختصاص داده‌اند.

با وجود چالش‌های مختلف در خصوص منابع گازی غیرمتعارف، برداشت از اینگونه منابع در کشور آمریکا به شدت مورد توجه قرار گرفته به طوری که ۲۰ درصد از تولید ناخالص گاز این کشور در سال ۲۰۰۹ را تولید گاز از منابع غیرمتعارف تشکیل داده است.

1- International Energy Agency, IEA
2- Shale Gas
3- Tight Gas
4- Coal Bed Methane

Archive of SID

www.SID.ir

این در حالی است که این میزان در سال ۲۰۰۵ تنها حدود کمتر از ۵ درصد بوده است. (اداره اطلاعات انرژی آمریکا[1]، ۲۰۱۱)

اگرچه گازهای شیل بیش از ۱۰۰ سال است که در آمریکا تولید می‌شوند، اما چندان اقتصادی نبوده و در سال‌های اخیر و با ایجاد روش‌های استخراج پیشرفته نظیر شکست هیدرولیک، تولید این منبع سودآور شده است. (مارگو و بازبیسیو، ۲۰۱۱)

هزینه استخراج گاز شیل در سال ۲۰۱۱، حدود ۲۰۰ دلار در هر بشکه معادل نفت خام تخمین زده شده است. شواهد نشان می‌دهد که در چاه‌های گازی که تخلیه آنها دارای شیب تندی است، هزینه اکتشاف روند صعودی خواهد داشت. (گلویستون و جانستن، ۲۰۱۲) با این وجود، پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه استخراج گازهای شیل در آمریکا می‌تواند منجر به کاهش هزینه تولید این نوع گازها و نزدیک شدن آن به هزینه تولید گازهای متعارف شود. این مسأله می‌تواند منجر به فضای رقابتی میان گازهای متعارف و نامتعارف در سطح جهان شود. (اکر و وندالین، ۲۰۱۲ و شبکه اطلاع‌رسانی وزارت نفت، شانا، ۱۳۹۲)

بر اساس آمارهای ارائه شده از سوی اداره اطلاعات آمریکا (۲۰۱۵)، بالاترین حجم ذخایر گازهای شیل جهان با سهمی حدود ۲۳ درصد به منطقه آمریکای شمالی تعلق دارد و پس از آن، آمریکای جنوبی، آفریقا و آسیا به ترتیب جایگاه‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند (نمودار (۱)).

بررسی سهم کشورهای مختلف جهان از حجم ذخایر گازی نامتعارف جهان نشان می‌دهد که کشور چین به تنهایی حدود ۱۵ درصد از کل ذخایر گازی نامتعارف جهان را دارا است. در نمودار (۲)، سهم ۱۵ کشور که بالاترین حجم ذخایر گازی نامتعارف را داشته‌اند، نشان داده شده است. براساس این نمودار، کشورهای آمریکا و کانادا در مجموع بیش از ۱۵ درصد از حجم ذخایر گازی نامتعارف را در خود جای داده‌اند. روسیه به عنوان

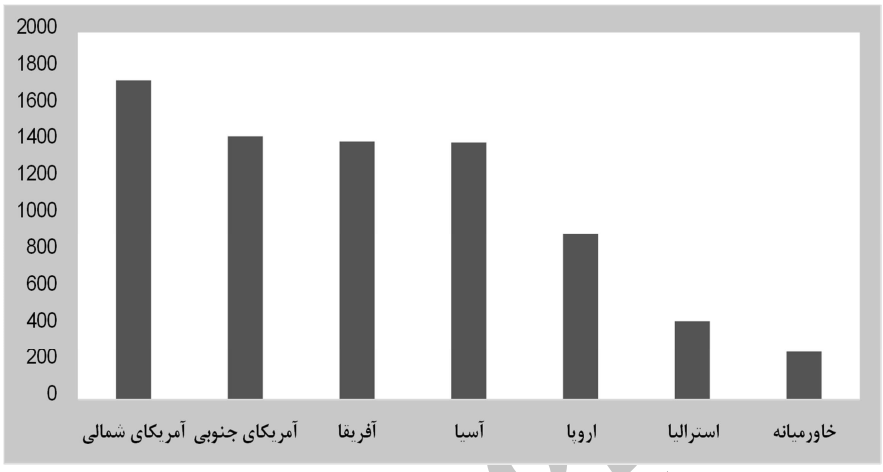
1- U.S Energy Information Administration, EIA

Archive of SID

www.SID.ir

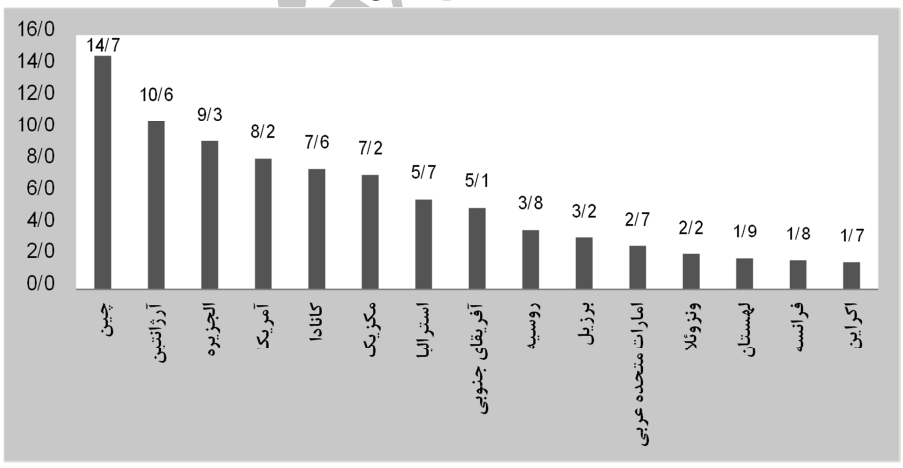
دومین دارنده منابع گازی متعارف جهان، حدود ۴ درصد از حجم ذخایر گـازی نامتعـارف جهان را دارا بوده که جایگاه نهم را به خود اختصاص داده است.

نمودار (۱)- حجم ذخایر اثبات شده منابع نامتعارف گازی جهان (تریلیون فوت مکعب)



منبع: اداره اطلاعات انرژی آمریکا، ۲۰۱۵

نمودار (۲)- درصد ذخایر اثبات شده منابع نامتعارف گازی جهان



منبع: اداره اطلاعات انرژی آمریکا، ۲۰۱۵

www.SID.ir

اگرچه آمریکا توانسته است به فناوری استخراج گاز از منابع غیرمتعارف دست یابد با این وجود، گسترش تولید گاز از چنین منابعی در دیگر کشورهای جهان با نااطمینانی قابل توجهی از جهات مختلف روبه‌رو است .(اکر[1] و وندالین[2]، ۲۰۱۲) ممنوع شدن عملیات حفاری در کشورهای اروپایی نظیر آلمان، جمهوری چک و هلند می‌تواند تأییدی تجربی بر چالش‌های توسعه و گسترش منابع گازی غیرمتعارف قلمداد شود. (شبکه اطلاع‌رسانی وزارت نفت، شانا[3]، ۱۳۹۱)

در خصوص منابع گازی متعارف، ایران و روسیه را باید از بزرگ‌ترین دارندگان ذخایر گازی متعارف در جهان قلمداد کرد. بر اساس گزارش جدید ارائه شده از سوی بریتیش پترولیوم[4] در سال ۲۰۱۳، ذخایر گاز اثبات شده روسیه از حدود ۴۸ تریلیون متر مکعب در سال ۲۰۱۱ به حدود ۳۲/۹ تریلیون متر مکعب در ابتدای سال ۲۰۱۳ کاهش یافته است. ذخایر گاز متعارف ایران با کشف جدید صورت گرفته[5] به حدود ۳۳/۷ تریلیون متر مکعب رسیده که به این ترتیب، ایران برای اولین بار به عنوان بزرگ‌ترین دارنده ذخایر متعارف گازی جهان شناخته شده است. با این حال، در حوزه تولید گاز طبیعی، ایران نتوانسته است به طور مناسب از ظرفیت‌های ذخایر خود بهره‌برداری کند به طوری‌که پس از کشورهای آمریکا، روسیه و کانادا در جایگاه چهارم قرار گرفته است. (فلورنس[6]، ۲۰۰۳)

ایران می‌تواند با گسترش و توسعه ظرفیت‌های تولید گاز طبیعی از طرق مختلف مانند جذب سرمایه‌گذاری خارجی و بهبود فناوری به جایگاه مناسب دست یابد. در این راستا، مطالعه حاضر سعی کرده دورنمایی را از ظرفیت‌های ایران در اکتشاف، استخراج و تولید گاز طبیعی با تأکید بر گسترش تولید از منابع نامتعارف گازی ارائه کند. برای دستیابی به این هدف و نیز با توجه به پیچیدگی‌های رفتاری و سازوکارهای موجود در صنعت گاز

1- Eker

2- Van Daalen

3- http://www.shana.ir/fa/newsagency/19449: ۱۴ شهریور ۱۳۹۱

4- British Petroleum

۵- به تازگی در استان فارس، سفره عظیم گازی که پیش‌بینی می‌شود از منطقه برازجان تا گسل میناب و سواحل خلیج فارس ادامه داشته باشد، کشف شده است.

6- Florence

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده از یک دیدگاه و نگرش سیستمی و پویا به بخش صنعت گاز ایران می‌تواند یافته‌های ارزشمندی را ارائه کند، از این‌رو، رویکرد مورد استفاده در این مطالعه «پویایی‌شناسی سیستم»[1] است.

الگوی مورد استفاده در این مطالعه به پیروی از الگوی اکر و وندالین (۲۰۱۲) دارای سه زیرسیستم شامل چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف، سرمایه‌گذاری و تقاضای جهانی است. زیرسیستم چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف به فرآیند اکتشاف، استخراج و تولید گاز در کشور برمی‌گردد به طوری که از اکتشاف منابع مؤثر در آینده شروع و به تولید از ذخایر توسعه یافته گازی ختم می‌شود. زیرسیستم سرمایه‌گذاری به طور خاص بر چهار موضوع درآمدهای فروش، سرمایه‌گذاری در توسعه، سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری و سرمایه‌گذاری در اکتشاف تمرکز یافته است و زیرسیستم تقاضای جهانی بر سه محور اصلی تقاضای کل جهانی گاز، تقاضای گازهای متعارف جهان و تولید گازهای نامتعارف شکل گرفته است. در الگوی نهایی، ارتباطی منطقی میان سه زیرسیستم برقرار شده و الگو طی یک دوره درازمدت ۱۴۱۴-۱۳۸۰ شبیه‌سازی شده است.

۲- پیشینه پژوهش

در حوزه اقتصاد انرژی و به ویژه در زمینه مسائل صنعت گاز و نفت، مطالعات متعددی وجود دارد. با این وجود، مطالعاتی که مسائل صنعت گاز را با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم مورد بررسی قرار داده باشند، بسیار اندک است. در این بخش به مروری بر مطالعاتی که صنعت گاز را با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم ارزیابی کرده‌اند، پرداخته شده است.

جانسون[2] و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی با عنوان «استفاده از پویایی‌شناسی سیستم برای گسترش گزینه‌های سیاستی واقعی[3]: بینشی در مورد صنعت نفت و گاز» به بررسی کاربرد روش پویایی‌شناسی سیستم در خصوص گزینه‌های سیاستی پیش روی یک بنگاه

1- System Dynamics Modeling, SD
2- Johnson
3 -Real Options Use

Archive of SID

www.SID.ir

نمونه تولیدکننده انرژی پرداخته‌اند. در این مطالعه، پنج چالش کلیدی که گزینه‌های سیاستی با آن روبه‌رو هستند در الگوسازی وارد شده است. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که استفاده از پویایی‌شناسی سیستم در توسعه گزینه‌های سیاستی واقعی می‌تواند استفاده از این گزینه‌ها را در سیاستگذاری صنعت نفت و گاز افزایش دهد.

چای[1] و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای با عنوان «پویایی‌های صنعت گاز انگلیس: الگوسازی پویایی‌شناسی سیستم و تحلیل سیاست انرژی درازمدت» به تحلیل پیش‌نوشته‌های متعدد در خصوص صنعت گاز انگلیس پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که مدیریت سیاست‌های سمت عرضه به تنهایی نمی‌تواند اوج مصرف، تولید و اکتشاف را به تعویق بیندازد. همچنین پویایی‌های متغیرهای اصلی، یعنی اکتشاف، تولید و مصرف به شرایط اولیه تقاضا حساس است. سیاست کاهش مالیات می‌تواند اکتشاف و تولید را تشویق کرده و در نهایت منجر به افزایش نرخ مصرف انرژی شود. پیشرفت‌های اکتشاف و فناوری‌های تولید می‌تواند اوج اکتشاف، تولید و مصرف را به تأخیر بیندازد. بهبودهای فناوری به معنی هزینه پایین‌تر اکتشاف و تولید است که در درازمدت باعث پایین نگه داشتن الگوی پویای قیمتی می‌شود.

لی[2] و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای دیگر بر نگرانی‌های زیست محیطی ناشی از سهم بیش از ۶۵ درصدی ذغال سنگ در عرضه انرژی چین تأکید کرده و معتقدند که استفاده از گاز طبیعی به دلیل پاک بودن این سوخت می‌تواند نگرانی‌های یاد شده را کاهش دهد. این پژوهشگران با استفاده از چارچوب الگوسازی پویایی‌شناسی سیستم به بررسی روند رشد مصرف گاز طبیعی در این کشور پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که میزان تقاضای مصرف انرژی چین از حدود ۹۰ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۱۰ به حدود ۳۴۰ میلیارد متر مکعب در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. همچنین با بیان اینکه ساختار مصرف انرژی در آینده تغییر خواهد کرد، پیش‌نوشته‌های مختلفی را مورد بررسی قرار

1- Chi
2- Lee

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌اند. در این مطالعه پیشنهادهای سیاستی متنوعی برای توسعه اکتشاف و تولید گاز طبیعی در این کشور ارائه شده است.

«ارتباطات پیچیده در اقتصاد انرژی اندونزی و توسعه بازار با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم بر اساس نظریه بازی‌ها» عنوان مطالعه‌ای است که توسط هیدایانتو[1] و همکاران (۲۰۱۱) انجام شده است. این پژوهشگران بر این باورند که رشد سریع تقاضای برق در کشور اندونزی از یک سو و ناتوانی دولت در تامین آن، مشکلاتی را در راه توسعه این کشور فراهم آورده است.

اگرچه تولیدکنندگان مستقل برق[2] می‌توانند برای تامین این تقاضا اقداماتی را انجام دهند، اما دولت به دلیل مشکلات بودجه‌ای توان حمایت مالی آنها را نداشته و در صورتی که دولت در ادامه نتواند راه‌حلی را ارائه کند، وضعیت بدتری به وجود خواهد آمد، بنابراین فهم مسأله و هموار کردن ارتباطات می‌تواند راه‌حلی برای این مشکل به وجود آورد. در این راستا، الگوسازی پویایی‌شناسی سیستم مبتنی بر نظریه بازی‌ها[3] برای دستیابی به این منظور استفاده شده است. نتایج بیانگر آن است که در مجموع و به طور کلی از یک طرف اثر کاهش یارانه انرژی می‌تواند اثر معنی‌داری بر فعالیت‌های اقتصادی داشته باشد و از طرفی، افزایش یارانه نیز می‌تواند منجر به افزایش تقاضای انرژی شود.

اکر و وندالین (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای با عنوان «نااطمینانی‌های توسعه گازهای نامتعارف در هلند» بر گسترش موضوع گازهای نامتعارف در تامین عرضه انرژی جهان تأکید کرده و در این میان، سهم قابل توجه آمریکا در تولید گازهای نامتعارف را مورد توجه قرار داده‌اند. این پژوهشگران بر این باورند که در کشور هلند، منابع گازی نامتعارف می‌تواند جایگزین مناسبی برای گازهای متعارف باشد که حدود ۲۵ سال آینده به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. با این وجود، نااطمینانی‌های متعددی بر توسعه گازهای نامتعارف در هلند وجود دارد. اکر و وندالین هدف اصلی مطالعه خود را ارزیابی اثرات

1- Hidayatno
2- Independent Power Producer
3- System Dynamics Based Game

Archive of SID

www.SID.ir

چنین نااطمینانی‌هایی بر نرخ تولید گازهای نامتعارف در هلند قرار داده‌اند. برای دستیابی به این هدف، روش الگوسازی و تحلیل اکتشافی[1] را با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم تلفیق کرده‌اند. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که با ورود نااطمینانی‌های مختلف به الگوی طراحی شده، طیف گسترده‌ای از نرخ‌های تولید امکانپذیر ارائه می‌شود.

در ایران تنها مطالعاتی که صنعت گاز کشور را با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم ارزیابی و تحلیل کرده، مطالعه کیانی و پورفخرایی (۲۰۱۰) و صمدی و عیدی‌زاده (۱۳۹۲) است. کیانی و پورفخرایی (۲۰۱۰) در مطالعه خود با عنوان «یک الگوی پویایی‌شناسی سیستم برای سیاست تولید و مصرف در بخش نفت و گاز ایران» بازخوردهای بین عرضه و تقاضا و درآمدهای نفتی در سیستم موجود را در نظر گرفته‌اند. در این مطالعه، اثرات سیاست‌های نفت و گاز در قالب پیش‌نوشته‌های مختلف برای بخش‌های مختلف اقتصاد ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. سه پیش‌نوشته که سه وضعیت پایه، بدترین حالت و حالت ایده‌آل را نشان می‌دهند برای پیش‌بینی روند آینده متغیرهای اصلی الگو مانند مصرف گاز فصلی نیروگاه‌ها، تزریق فصلی گاز در مخازن نفتی، رشد اقتصادی در بخش صنعت، مصرف نفت در بخش حمل و نقل، مصرف گاز صنعتی و در آخر، صادرات گاز مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داده است که میزان صادرات گاز در پیش‌نوشته‌های مختلف بین ۵۰۰ و ۶۲۰ میلیون متر مکعب در روز تا سال ۲۰۲۵ خواهد رسید.

صمدی و عیدی‌زاده (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با عنوان «طراحی یک مدل دینامیک برای تدوین سیاست‌های صنعت گاز ایران تا افق چشم‌انداز ۱۴۰۴» با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم به بررسی وضعیت صنعت گاز ایران و امکان دستیابی به اهداف سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که چنانچه وضعیت کنونی در خصوص تولید گاز، مصرف و سطح فناوری ادامه یابد، ایران در افق ۱۴۰۴ تنها به هدف ۷۵ درصدی سهم مصرف گاز در میان فرآورده‌های انرژی

1- Exploratory Modeling and Analysis (EMA)

Archive of SID

www.SID.ir

دست پیدا خواهد کرد. با این وجود، برای دستیابی به هدف مهم جایگاه سومی ایران در تولید گاز جهانی با سهم ۸ تا ۱۰ درصدی از تجارت جهانی، لازم است سیاست‌های خاصی مورد توجه قرار گیرد. این سیاست‌ها از طریق پیش‌نوشته‌های مختلفی در این مطالعه مورد تحلیل قرار گرفته است.

در مجموع، پیچیدگی سازوکار صنعت گاز باعث شده است تا تمرکز مطالعات به سمت استفاده از تکنیک‌هایی حرکت کند که بتوان چنین پیچیدگی‌هایی را الگوسازی و رفتار عوامل در این صنعت را پیش‌بینی کرد. رویکرد پویایی‌شناسی سیستم از جمله تکنیک‌هایی است که استفاده از آن در سال‌های اخیر به طور قابل توجهی گسترش یافته است. نوپا بودن استفاده از چنین تکنیکی در صنعت گاز، بیانگر وجود پتانسیل‌های گسترش و بسط الگوسازی آن در زمینه‌های مختلف این صنعت است. در این میان، یکی از مسائلی که کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بحث گسترش گازهای نامتعارف و اثرات آن بر بازارهای جهانی گاز به ویژه تولیدکنندگان گازهای متعارف است.

در این مطالعه سعی شده است تا دورنمایی از چنین وضعیتی با تأکید بر منابع گاز متعارف ایران صورت پذیرد. از آنجایی که موضوع گازهای متعارف و نامتعارف ارتباط‌های پسین و پیشین متعددی با هم دارند، لازم است تا برای ارزیابی دقیق این منبع انرژی، دیدگاهی سیستمی مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، به دلیل مشخصه‌های رویکرد پویایی‌شناسی سیستم که امکان تشریح رفتار غیرخطی سیستم و نیز شبیه‌سازی رفتارهای پیچیده را فراهم می‌کند برای تجزیه و تحلیل گازهای متعارف و نامتعارف، مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- توصیف الگو در چارچوب پویایی‌شناسی سیستم

الگوی توصیف شده در اینجا بر اساس مطالعه اکر و وندالین (۲۰۱۲) برای کشور هلند بوده و بنابر اهداف مطالعه حاضر، تعدیلاتی در آن برای کشور ایران صورت گرفته است.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱- الگوی پایه

الگوی پایه در این مطالعه از سه زیرسیستم کلی شامل موارد زیر تشکیل شده است:

* چرخه اکتشاف و تولید: در این زیرسیستم، برای ارزیابی توسعه گازهای متعارف، تنها بخش‌های بالادستی صنعت گاز یعنی، اکتشاف و تولید بر اساس الگوی چرخه عمر (که از بخش‌های اکتشاف، ارزیابی، توسعه و فازهای تولید تشکیل شده است)، الگوسازی شده است.

* سرمایه‌گذاری: این زیرسیستم، زیربنای اکتشاف‌های جدید و گسترش تولید از منابع متعارف را الگوسازی می‌کند.

* تقاضای گاز طبیعی: در این زیرسیستم که به نوعی به بازار گاز طبیعی اشاره دارد، کل تقاضای گاز به دو بخش گازهای متعارف و نامتعارف تقسیم شده است. به عبارت دیگر، تأثیر گازهای نامتعارف از کانال تقاضا دیده شده است.

در ادامه این بخش، به تشریح اجزای هر یک از زیرسیستم‌های سه‌گانه اشاره شده پرداخته شده است. به دلیل گستردگی الگوی مورد بررسی، تنها نمودارهای انباشت- جریان هر یک از زیرسیستم‌های مورد بررسی آورده شده است.

۳-۱-۱- چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف

در چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف (نمودار (۳))، ذخایر اکتشافی پس از عملیات اکتشاف و حفاری بر اساس نرخ اکتشاف به ذخایر توسعه نیافته تبدیل می‌شوند. پس از آن، ذخایر توسعه نیافته که برای تولید آماده باشند (بر اساس نرخ توسعه) به ذخایر توسعه یافته[1] تبدیل می‌شوند[2].

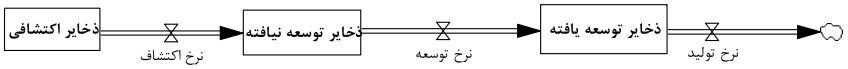
1- Developed Reserves

۲- در خصوص هزینه اکتشاف، اگرچه هزینه اکتشاف با کاهش ذخایر افزایش می‌یابد، اما با توجه به اینکه ایران بزرگ‌ترین دارنده حجم ذخایر گازی است به طوری که عمر آن به طور متوسط حدود ۱۵۰ سال تخمین زده شده است، از این‌رو در دوره کوتاه مورد بررسی این مطالعه، کاهش حجم ذخایر چندان قابل ملاحظه نبوده و نمی‌تواند اثر قابل توجهی بر افزایش هزینه‌های اکتشاف داشته باشد. در الگوسازی این مطالعه، هزینه اکتشاف تنها تابعی کاهنده نسبت به بهبود تکنولوژی در نظر گرفته شده است. با این وجود، این مسأله در خصوص گازهای نامتعارف که چاه‌های آن دارای ضریب بازیافت بسیار پایینی هستند، کاملاً مصداق دارد که در الگوسازی این نوع گازها این مورد بهتر است لحاظ شود.

Archive of SID

www.SID.ir

نمودار (۳)- چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف



در چرخه اکتشاف و تولید که در نمودار (۳) نشان داده شده است، معادله نرخ اکتشاف به صورت ضریبی از ذخایر منابع مؤثر در آینده مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

(۱)

$$Discovery = delay\,۳(Index\ Discovery\ Rate, ۴/۵) * ۰/۰۱۷ * Perspective\ Resources$$

در رابطه (۱) به پیروی از نیل (۱۹۷۴) و اکر و وندالین (۲۰۱۲) شاخص نرخ اکتشاف با تأخیری حدود ۴/۵ سال بر نرخ اکتشاف اثر می‌گذارد. همچنین ضریب نرخ اکتشاف از ذخایر منابع مؤثر در آینده مطابق صمدی و عیدی‌زاده (۱۳۹۲) معادل ۰/۰۱۷ در نظر گرفته شده است.
نرخ توسعه نیز مطابق رابطه (۲) به صورت ضریبی از ذخایر توسعه نیافته محاسبه می‌شوند:

(۲)

$$Development\ Rate = delay\,۱(Index\ Discovery\ Rate, ۱) * (۰/۳ Undeveloped\ Resources)$$

در رابطه (۲)، به پیروی از اکر و وندالین (۲۰۱۲) شاخص نرخ اکتشاف با تاخیری یکساله بر نرخ توسعه اثر گذاشته است. ضریب استخراج از منابع توسعه نیافته نیز بر اساس یافته‌های محقق از آمارهای ترازنامه انرژی کشور در سال‌های مختلف تعیین شده است.

در آخر، نرخ تولید مطابق رابطه (۳) بر اساس تقاضای موجود گاز و میزان ذخایر توسعه یافته گاز در کشور تعیین خواهد شد. در این رابطه ضریب تقاضای گاز و همچنین ضریب ذخایر توسعه یافته بر اساس روندهای گذشته تولید گاز در کشور در آمارهای ترازنامه انرژی سال‌های ۹۱-۱۳۸۰ استخراج شده است.

(۳)

$$Production\ Rate = ۰/۰۲۵ * Conventional\ Gas\ Demand + ۰/۰۱۴ * Developed\ Resources$$

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱-۲- سرمایه‌گذاری

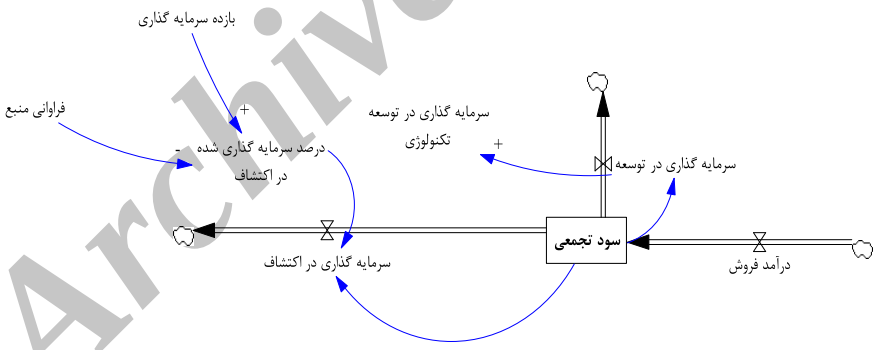
توسعه و گسترش اکتشاف‌های جدید به سرمایه‌گذاری در فعالیت‌های صنعت مورد نظر بستگی دارد. در الگوی پایه، فرض شده است که سرمایه‌گذاری، درصدی از سود تجمعی حاصل از فروش گاز است. این درصدها تحت تأثیر دو عامل است که در نمودار (۴) نشان داده شده است. این دو عامل عبارتند از:

۱- بازدهی سرمایه‌گذاری[1]: این عامل به صورت نسبت قیمت سر منبع[2] به کل هزینه واحد اکتشاف قابل محاسبه است. این نسبت دارای تأثیر مثبتی بر سرمایه‌گذاری در اکتشاف است. (نیل[3]، ۱۹۷۴؛ چای[4] و همکاران، ۲۰۰۹)

۲- فراوانی منبع[5]: به صورت نسبت کل ذخایر به تقاضا قابل محاسبه است. این نسبت دارای تأثیر منفی بر درصد سرمایه‌گذاری در اکتشاف است.

سرمایه‌گذاری در توسعه ذخایر توسعه یافته که برای تولید گاز آماده هستند نیز، عامل مثبت و مؤثری بر سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری است.

نمودار (٤)- سرمایه‌گذاری در الگوی پایه



1- Return on Investment
2- Wellhead Price
3- Neil
4- Chai
5- Abundance

Archive of SID

www.SID.ir

در زیرسیستم سرمایه‌گذاری، سود تجمعی بر اساس انتگرال درآمد فروش منهای سرمایه‌گذاری در توسعه و اکتشاف به صورت رابطه (۴) (به پیروی از اکر و وندالین (۲۰۱۲)) محاسبه می‌شود:

(۴)

$$Cumulative\ Profit = INTEG\begin{pmatrix} Sales\ Revenune - Investment\ in\ Development \\ -Investment\ in\ Exploration, InitialValue \end{pmatrix}$$

سرمایه‌گذاری در توسعه و اکتشاف به صورت درصدی از سود تجمعی محاسبه می‌شود که به ترتیب در رابطه‌های (۵) و(۶) نشان داده شده است:

(۵)

$$Inv.in\ Dev. = \max\left(Commulative\ Profit * Percentage\ Invested\ in\ Development, ۰\right)$$

(۶)

$$Inv.in\ Dev. = \max\left(Commulative\ Profit * Percentage\ Invested\ in\ Discovery, ۰\right)$$

درصد سرمایه‌گذاری در اکتشاف به پیروی از صمدی و عیدی‌زاده (۱۳۹۲) به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

(۷)

$$Percentage\ Invested\ in\ Exploration = \begin{pmatrix} (۰/۰۶۸۶In(Return\ on\ Investment)) \\ *(-۰/۹۹*In(Abundance)) \\ *(-۱/۴*Exploration\ Cost) \\ +(۰/۰۰۵*Sales\ Revenunes) \end{pmatrix} / Exploration\ Cost$$

در رابطه (۷)، بازده سرمایه‌گذاری، فراوانی ذخایر گازی، هزینه اکتشاف و نسبت درآمد به هزینه به عنوان عوامل مؤثر در درصد سرمایه‌گذاری در اکتشاف مورد توجه قرار گرفته است.

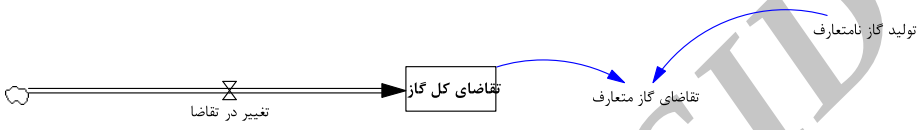
Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱-۳- تقاضا

عاملی مهمی که تصمیمات سرمایه‌گذاری و نرخ تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد، تقاضا است. تقاضای گاز متعارف به صورت اختلاف کل تقاضای جهانی و تولید گاز غیرمتعارف فرموله می‌شود. نمودار (۵)، انباشت- جریان تقاضا برای گازهای متعارف است.

نمودار (۵)- انباشت- جریان تقاضا برای گازهای متعارف



مطابق با الگوهای موجود در حوزه منابع انرژی گاز نظیر نیل (۱۹۷۴) و چای و همکاران (۲۰۰۹)، ارتباط بین سرمایه‌گذاری‌ها و نرخ اکتشاف یا توسعه از طریق هزینه واحد اکتشاف یا توسعه یعنی هزینه هر متر مکعب گاز فرموله می‌شود. نرخ اکتشاف و نرخ توسعه مستقل از متغیرهای انباشت فرموله خواهند شد. این نرخ‌ها به ترتیب نمی‌توانند بیشتر از میزان منابع آینده‌نگر و ذخایر توسعه نیافته باشند[۱].

کل تقاضای گاز به پیروی از اکر و وندالین (۲۰۱۲) به صورت رابطه شماره ۸ بر اساس انتگرال مقدار اولیه تقاضا و تغییر در تقاضای جهانی گاز محاسبه می‌شود:

$$Total\ Demand = INTEG\,(Change\ in\ Demand\ ,\ Initial\ Value) \qquad (۸)$$

تفاوت کل تقاضای گاز جهان و تولید گازهای نامتعارف، میزان تقاضای گازهای متعارف را به دست می‌دهد. از این‌رو، تقاضای گازهای متعارف به شکل رابطه (۹) خواهد بود. در این رابطه عبارت max برای منفی نشدن تقاضای گازهای متعارف استفاده شده است.

۱- متوسط سهم تولید گاز کشور از تقاضای گازهای متعارف جهان، به عنوان بخشی از نرخ تولید گاز در کشور در نظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

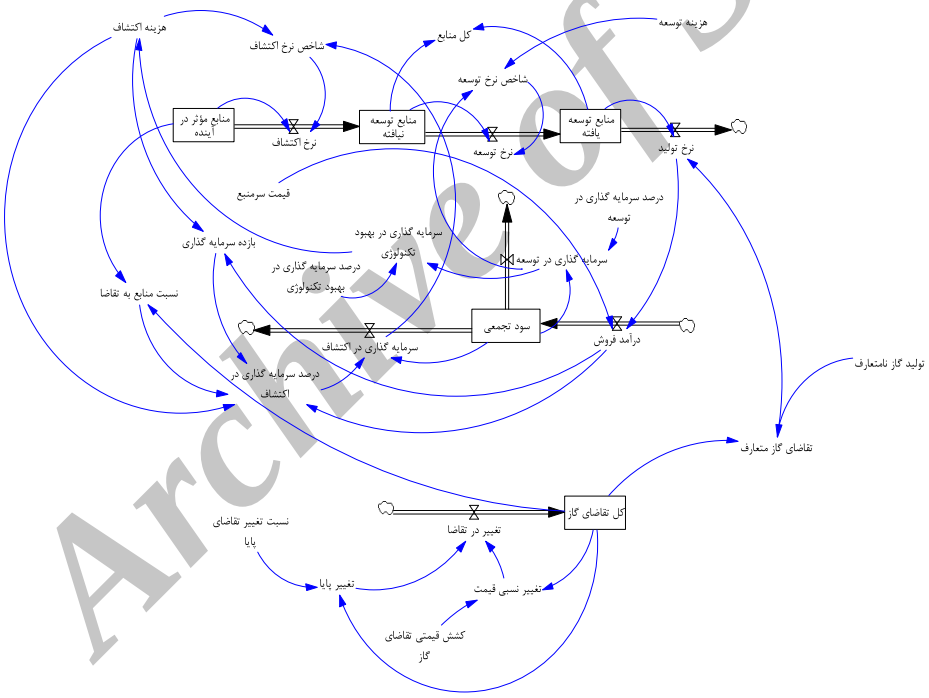
(۹)

$$Conventianl\ Gas\ Demand = \max\begin{pmatrix} Total\ Gas\ Demand \\ -Unconventianl\ Gas\ Production, 0 \end{pmatrix}$$

۳-۱-٤- الگوی نهایی با ترکیب تمامی بخش‌ها

در نمودار (۶)، نمودار انباشت- جریان نهایی برای ترسیم ساختارهای بازخورد برای تعیین میزان تولید به تصویر کشیده است. این الگو، با استفاده از نرم‌افزار ونسیم[1] طراحی شده است.

نمودار (٦)- انباشت- جریان الگوی پایه



1- Vensim

Archive of SID

www.SID.ir

٤- تعیین اعتبار الگو

یکی از مراحل مهم الگوسازی پویایی‌شناسی سیستم، تعیین اعتبار الگو است. تنها در صورتی می‌توان به الگوی طراحی شده اعتماد کرد و از آن در دنیای واقعی استفاده کرد که اعتبار آن سنجیده شده باشد. (استرمن، ۲۰۰۰) برای بررسی اعتبار الگوی پویایی‌شناسی سیستمی طراحی شده، آزمون‌های مختلفی وجود دارد که در این مطالعه از دو آزمون بازتولید رفتار و وارد ساختن تکانه به متغیرها استفاده شده است.

٤-١- آزمون بازتولید رفتار

آزمون بازتولید رفتار به این صورت است که روند شبیه‌سازی شده برخی از متغیرهای مهم الگو توسط نرم‌افزار و الگوی طراحی شده با روند تغییرات آنها در دنیای واقعی (بر اساس آمارهای واقعی) به صورت جدول و نموداری مورد مقایسه قرار می‌گیرند. الگوی طراحی شده باید بتواند مقادیری نزدیک به واقعیت را در خصوص متغیرهای مورد بررسی شبیه‌سازی کند. در این مطالعه برای بررسی دقیق‌تر اعتبار الگوی طراحی شده، بازه زمانی ۱۱ ساله شامل دوره ۹۱-۱۳۸۰ در نظر گرفته شده است.[۱]

جدول (۱)، مقادیر واقعی (آمار و اطلاعات ترازنامه انرژی کشور) و شبیه‌سازی شده (یافته‌های حاصل از حل الگوی پویایی‌شناسی سیستم طراحی شده) برای سه متغیر مجموع ذخایر گازی قابل استحصال در ایران، تولید گاز در ایران و تقاضای گاز جهانی را طی دوره ۹۱-۱۳۸۰ به تصویر کشیده است.

ترسیم نموداری روند تغییرات سه متغیر مورد اشاره بر اساس مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده در شکل‌های نمودارهای (۷)، (۸) و (۹) آورده شده است. براساس این نمودارها، روند مقادیر شبیه‌سازی شده در سه متغیر مورد بررسی به مقادیر واقعی متغیرها نزدیک است. به عبارت دیگر، الگوی طراحی شده توانایی تشریح روند واقعی داده‌ها را دارد و به نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها می‌توان اعتماد کرد.

۱- بر اساس در دسترس بودن آمار و اطلاعات مورد نیاز، دوره ۱۱ ساله ۹۱-۱۳۸۰ برای آزمون بازتولید رفتار انتخاب شده است.

Archive of SID

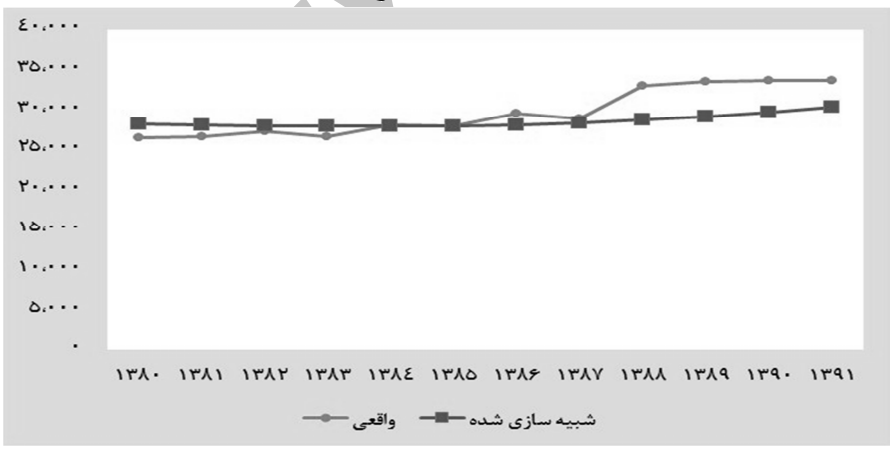
www.SID.ir

جدول (۱)- مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده متغیرها (میلیارد متر مکعب)

سال	مجموع ذخایر گازی قابل استحصال ایران		تولید گاز ایران		تقاضای گاز جهان	
	واقعی	شبیه‌سازی شده	واقعی	شبیه‌سازی شده	واقعی	شبیه‌سازی شده
۱۳۸۰	۲۶۵۷۰	۰/۲۸۳۰۹	۱۱۴	۰/۸۳	۲۴۰۵	۰/۲۴۰۵
۱۳۸۱	۲۶۷۵۰	۰/۲۸۲۲۶	۱۲۳	۳/۱۰۶	۲۵۳۶	۹/۲۵۳۴
۱۳۸۲	۲۷۴۵۰	۷/۲۸۱۱۹	۱۳۸	۱/۱۲۸	۲۵۹۱	۸/۲۶۷۱
۱۳۸۳	۲۶۷۴۰	۹/۲۸۰۳۶	۱۴۹	۱/۱۴۴	۲۶۸۹	۰/۲۸۱۶
۱۳۸۴	۲۸۱۷۰	۷/۲۸۰۲۳	۱۵۹	۵/۱۵۷	۲۷۴۹	۱/۲۹۶۸
۱۳۸۵	۲۸۱۳۰	۲/۲۸۱۰۰	۱۶۹	۷/۱۶۹	۲۸۵۱	۴/۳۱۲۸
۱۳۸۶	۲۹۶۱۰	۷/۲۸۲۷۱	۱۸۵	۲/۱۸۱	۲۹۲۲	۳/۳۲۹۷
۱۳۸۷	۲۹۰۰۰	۹/۲۸۵۳۶	۲۰۱	۴/۱۹۲	۳۰۱۹	۴/۳۴۷۵
۱۳۸۸	۳۳۰۹۰	۹/۲۸۸۹۰	۲۱۳	۳/۲۰۳	۲۹۴۰	۰/۳۶۶۳
۱۳۸۹	۳۳۶۲۰	۸/۲۹۳۲۷	۲۲۵	۱/۲۱۴	۳۱۶۹	۸/۳۸۶۰
۱۳۹۰	۳۳۷۹۰	۰/۲۹۸۴۱	۲۳۰	۷/۲۲۴	۳۲۲۳	۳/۴۰۶۹
۱۳۹۱	۳۳۸۰۰	۶/۳۰۴۲۳	۲۲۷	۴/۲۳۵	۳۲۸۱	۱/۴۲۸۹

منبع: یافته‌های تحقیق و ترازنامه انرژی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱

نمودار (۷)- روند تغییرات مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده مجموع ذخایر گازی قابل استحصال در ایران: ۹۱-۱۳۸۰

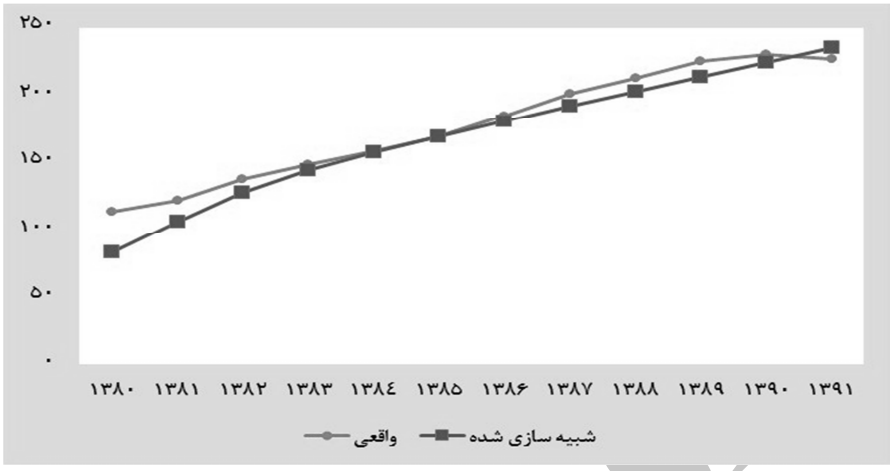


منبع: یافته‌های تحقیق

Archive of SID

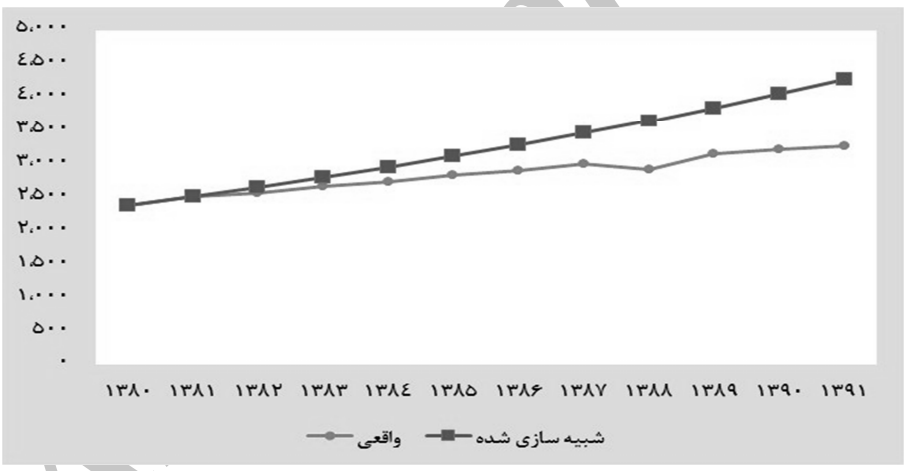
www.SID.ir

نمودار (۸)- روند تغییرات مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تولید گاز در ایران: ۹۱-۱۳۸۰



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار (۹)- روند تغییرات مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تقاضای گاز جهان: ۹۱-۱۳۸۰



منبع: یافته‌های تحقیق

برای بررسی اعتبار الگو و به پیروی از استرمن (۱۹۸۳) که پیشنهاد کرده است در الگوهای پویایی‌شناسی سیستم از روش RMSPE[1] استفاده شود، در اینجا نیز از این روش استفاده شده است. نتایج حاصل در جدول (۲) ارائه داده شده است. همان‌طور که مشاهده

1- Root Mean Square Percent Error, RMSPE

www.SID.ir

می‌شود، شبیه‌سازی تقاضای گاز جهانی نسبت به شبیه‌سازی دو متغیر تولید گاز در کشور و مجموع ذخایر گازی قابل استحصال ایران بالاترین سطح خطا را داشته است. در مجموع می‌توان اعتبار الگوی مورد بررسی را مناسب دانست.

جدول (۲)- ارزیابی اعتبار الگو با روش RMSPE

شاخص	تولید گاز کشور	تقاضای گاز جهانی	مجموع ذخایر گازی قابل استحصال
RMSPE	۰/۰۹٤	۰/۱٦٦	۰/۰۷٦

منبع: یافته‌های تحقیق

٤-۲- آزمون وارد ساختن تکانه به متغیرها

در این آزمون با وارد کردن تکانه به برخی از متغیرها، می‌توان تأثیر آن را بر رفتار سیستم و متغیرهای دیگر مشاهده و این رفتار را با آنچه مورد انتظار بوده است، مقایسه کرد. به عبارت دیگر، این آزمون به دنبال آن است که اگر تکانه‌ای به برخی متغیرها وارد شود، آیا الگوی طراحی شده می‌تواند رفتار مورد انتظار از ورود تکانه و اثرگذاری آن بر سایر متغیرها را شبیه‌سازی کند؟

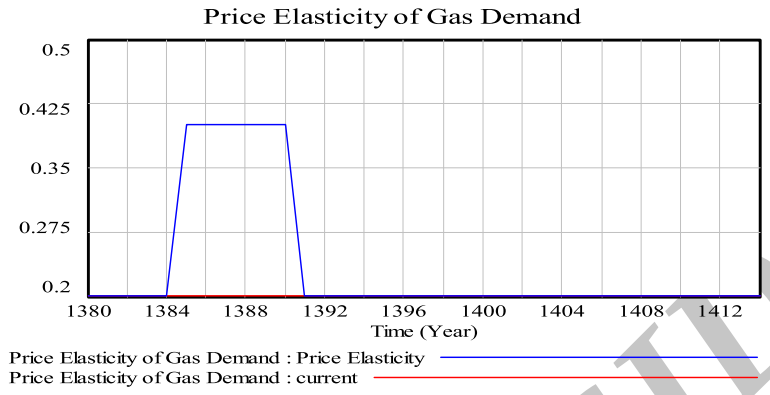
فرض شده است که کشش قیمتی تقاضای گاز در جهان از سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) تا ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) با جهشی از ۰/۲ به ۰/۴ افزایش یابد و پس از آن دوباره به مقدار ۰/۲ بازگردد. این موضوع در نمودار (۱۰) نشان داده شده است. انتظار بر آن است که این جهش منجر به کاهش تقاضای گاز طبیعی در جهان و در نتیجه آن، کاهش میزان تولید گازهای متعارف در جهان و در ایران شود.

نمودارهای (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) به ترسیم رفتار شبیه‌سازی شده سیستم از اعمال تکانه فوق پرداخته‌اند. براساس این سه نمودار، تقاضای گاز طبیعی در جهان، تقاضای گازهای متعارف و تولید گاز در ایران با اعمال تکانه در سال ۱۳۸۵ تغییر شیب داده‌اند که تا سال ۱۳۹۰ ادامه یافته و پس از آنکه مقدار متغیر به مقدار اولیه آن بازگشته است (از بین رفتن اثر تکانه)، با شیب قبلی و در سطحی پایین‌تر به روند خود ادامه داده‌اند. در مجموع، رفتار شبیه‌سازی سیستم از اعمال تکانه کشش قیمتی گاز در جهان بر رفتار متغیرها مطابق با انتظار بوده که این موضوع بیان‌گر اعتبار الگوی طراحی شده است.

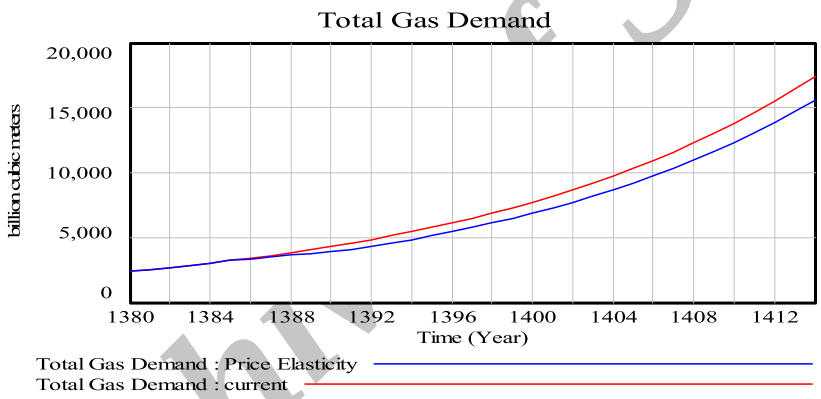
Archive of SID

www.SID.ir

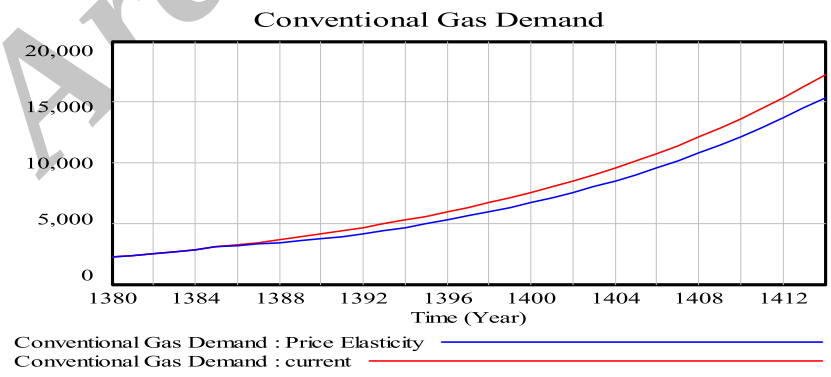
نمودار (۱۰)- اعمال تکانه افزایش کشش قیمتی گاز در جهان



نمودار (۱۱)- روند تغییرات تقاضای گاز جهان با اعمال تکانه افزایش کشش قیمتی گاز در جهان (میلیارد متر مکعب)



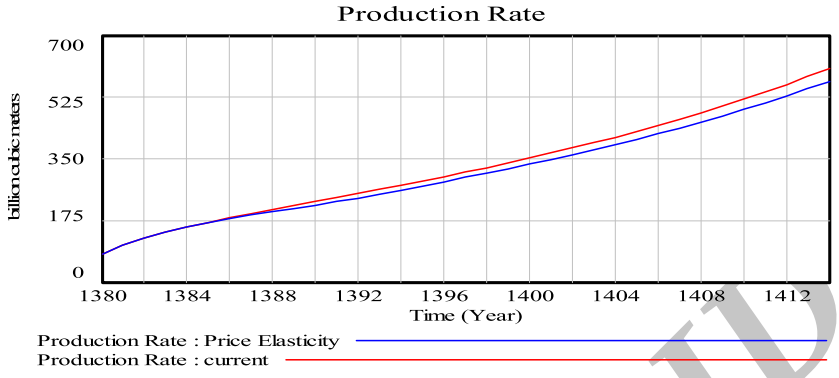
نمودار (۱۲)- روند تغییرات تقاضای گاز متعارف جهان با اعمال تکانه افزایش کشش قیمتی گاز در جهان (میلیارد متر مکعب)



Archive of SID

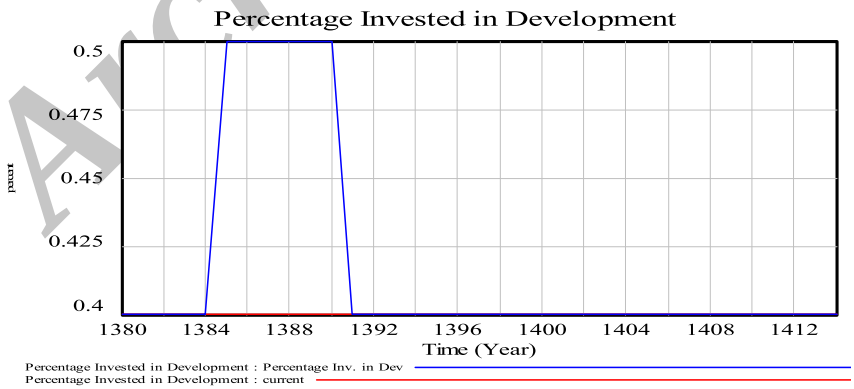
www.SID.ir

نمودار (۱۳)- روند تغییرات تولید گاز متعارف ایران با اعمال تکانه افزایش کشش قیمتی گاز در جهان (میلیارد متر مکعب)



افزایش درصد سرمایه‌گذاری در توسعه دیگر آزمون تکانه‌ای است که مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا فرض شده است، درصد سرمایه‌گذاری در توسعه از سال ۱۳۸۵ (۲۰۰۶) تا ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) از ۰/۴ به ۰/۵ افزایش یابد. از آنجایی که سرمایه‌گذاری در توسعه بر سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی و هزینه‌های اکتشاف تأثیرگذار است از این‌رو انتظار بر آن است که افزایش درصد سرمایه‌گذاری در توسعه منجر به افزایش سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی و کاهش هزینه‌های اکتشاف شود. این موضوع در نمودارهای (۱۴)، (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده و می‌تواند تأییدی بر اعتبار الگوی مورد بررسی باشد.

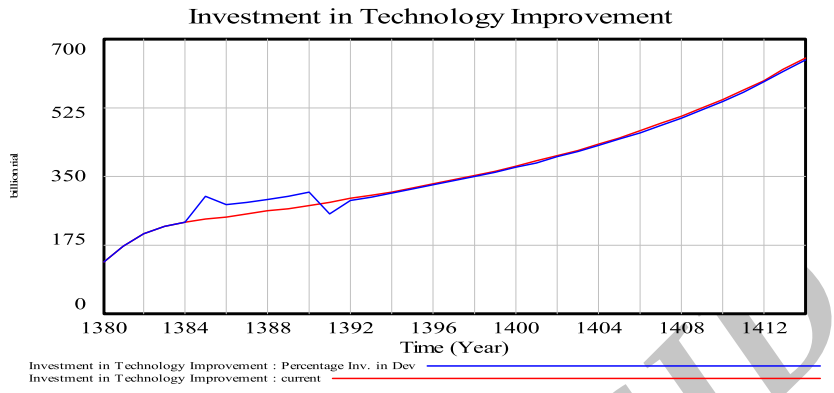
نمودار (۱٤)- اعمال تکانه افزایش درصد سرمایه‌گذاری در توسعه



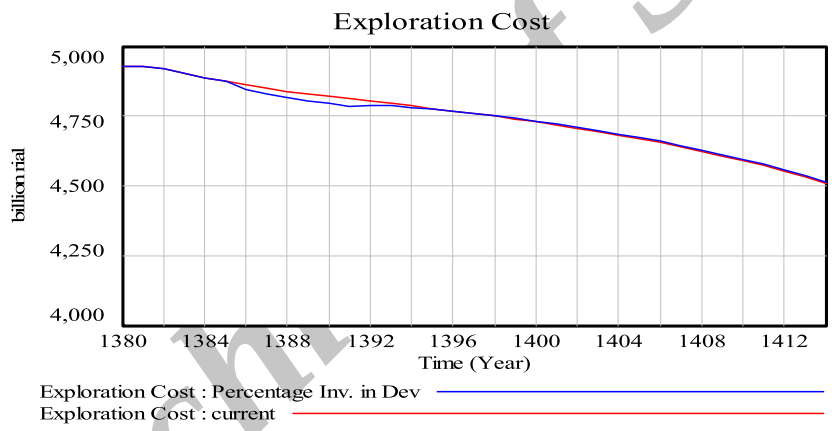
Archive of SID

www.SID.ir

نمودار (۱۵)- روند تغییرات سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی (میلیارد ریال)



نمودار (۱۶)- روند تغییرات هزینه اکتشاف (میلیارد ریال)



۵- شبیه‌سازی سیستم و یافته‌ها

پس از اطمینان از صحت اعتبار الگوی طراحی شده، در این بخش به ارائه نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم و همچنین طرح پیش‌نوشته‌های مختلف می‌پردازیم. خاطرنشان می شود شرح متغیرها، آمار و اطلاعات به کار گرفته شده و نحوه محاسبه متغیرها در پیوست مقاله آورده شده است.

Archive of SID

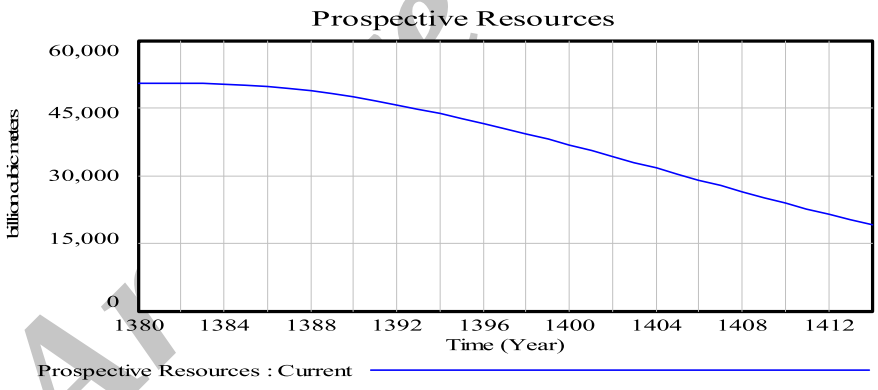
www.SID.ir

۵-۱- حل الگو و شبیه‌سازی یافته‌ها (حل الگوی پایه)

در این قسمت الگوی نهایی طراحی شده در نرم‌افزار ونسیم حل و نتایج شبیه‌سازی شده برای متغیرهای مختلف استخراج شده است. نتایج نیز در یک دوره دراز مدت از سال ۱۳۸۰ (۲۰۰۱) تا ۱۴۱۴ (۲۰۳۵) شبیه‌سازی شده است.

نمودار (۱۷)، روند تغییرات منابع گازی مؤثر در آینده را نشان می‌دهد که از حدود ۵۰ هزار میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به کمتر از ۲۵ هزار متر مکعب در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. به عبارت دیگر، در صورت کشف نشدن ذخایر گازی جدید، منابع موجود طی ۳۵ سال مورد بررسی به کمتر از نصف خواهد رسید. نکته قابل توجه از نمودار (۱۷)، شدت گرفتن استخراج از ذخایر طی سال‌های ۱۴۰۰ به بعد است که این موضوع بیانگر افزایش تقاضا برای گاز طبیعی در سبد مصرف انرژی است. موضوعی که در گزارش‌های جهانی آژانس بین‌المللی انرژی نیز پیش‌بینی شده است.

نمودار (۱۷)- روند تغییرات منابع گازی مؤثر در آینده در کشور: ۱٤۱٤-۱۳۸۰ (میلیارد متر مکعب)



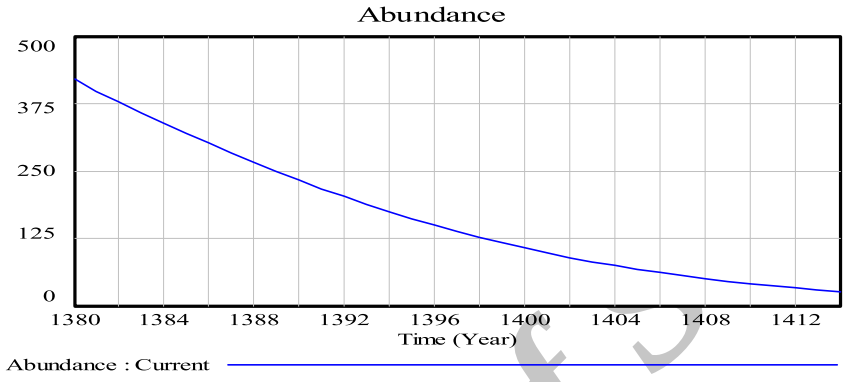
نسبت کل ذخایر به کل تقاضا یکی از شاخص‌های مهمی است که در الگوی طراحی شده گنجانده شده است. حاصل این نسبت بیانگر عمر ذخایر گازی است. شبیه‌سازی روند این متغیر برای دوره ۱۴۱۴-۱۳۸۰ در نمودار (۱۸) ترسیم شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در

Archive of SID

www.SID.ir

سال ۱۳۸۰ عمر ذخایر گازی کشور حدود ۴۰۰ سال برآورد شده است که این میزان تا سال ۱۴۰۴ به کمتر از ۱۰۰ سال و تا سال ۱۴۱۴ به حدود ۳۰ سال کاهش خواهد یافت.

نمودار (۱۸)- روند تغییرات عمر ذخایر گازی ایران (نسبت ذخایر به تقاضا): ۱٤۱٤-۱۳۸۰ (سال)



نرخ اکتشاف (منابع مؤثر در آینده)، متغیر دیگری است که شبیه‌سازی آن برای دوره ۱۴۱۴-۱۳۸۰ در نمودار (۱۹) آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، روند تغییرات این نرخ به شکل منحنی U معکوس است به طوری‌که بیشترین میزان نرخ اکتشاف در سال ۱۴۰۴ (سال سند چشم‌انداز) و حدود ۱۳۰۰ میلیارد متر مکعب در سال بوده است.

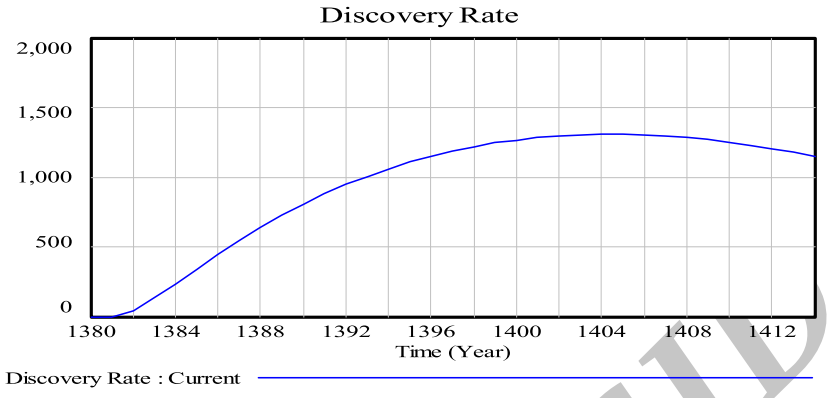
وزارت نفت بر اساس بند الف ماده ۱۲۵ و ماده ۱۲۶ قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی کشور اجازه دارد تا با ایجاد فضا و شرایط رقابتی، نسبت به صدور پروانه اکتشاف، توسعه و تولید مورد نیاز برای بهره‌برداری با اولویت میادین مشترک با تأکید بر توسعه میدان گاز پارس جنوبی اقدام کند و به شناسایی و اکتشاف هر چه بیشتر منابع نفت و گاز در سراسر کشور بپردازد. بنابراین موضوع توسعه اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر گازی از برنامه پنجم توسعه شدت گرفته است که روند نشان‌داده شده در نمودار (۱۴) نیز می‌تواند مؤید این موضوع باشد. با این وجود، کاهش نرخ اکتشاف از سال ۱۴۰۴ به بعد می‌تواند ناشی از نگرانی از کاهش عمر ذخایر (در صورت عدم اکتشافات جدید) باشد.[۱]

۱- قانون برنامه پنجم توسعه فقط برای توجیه روند تغییرات نرخ اکتشاف ذخایر گازی در کشور آورده شده است.

Archive of SID

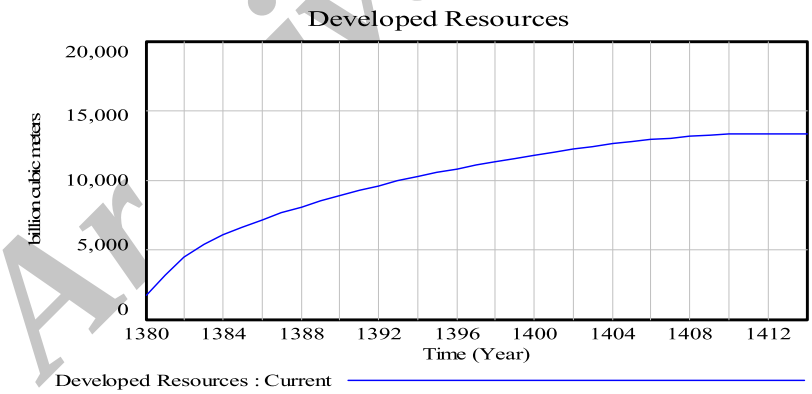
www.SID.ir

نمودار (۱۹)- روند تغییرات نرخ اکتشاف ذخایر گازی ایران: ۱٤۱٤-۱۳۸۰ (میلیارد متر مکعب)



نمودار (۲۰)، شبیه‌سازی میزان ذخایر توسعه یافته برای تولید گاز طبیعی در کشور طی دوره ۱۴۱۴-۱۳۸۰ را به تصویر کشیده است. براساس این نمودار، میزان ذخایر توسعه یافته تا سال ۱۴۱۴ با نرخی کاهنده در حال افزایش است. بیشترین میزان ذخایر نیز مربوط به سال ۱۴۱۲ و بیش از ۱۳ هزار میلیارد متر مکعب است.

نمودار (۲۰)- روند تغییرات میزان ذخایر توسعه یافته گازی ایران: ۱٤۱٤-۱۳۸۰ (میلیارد متر مکعب)



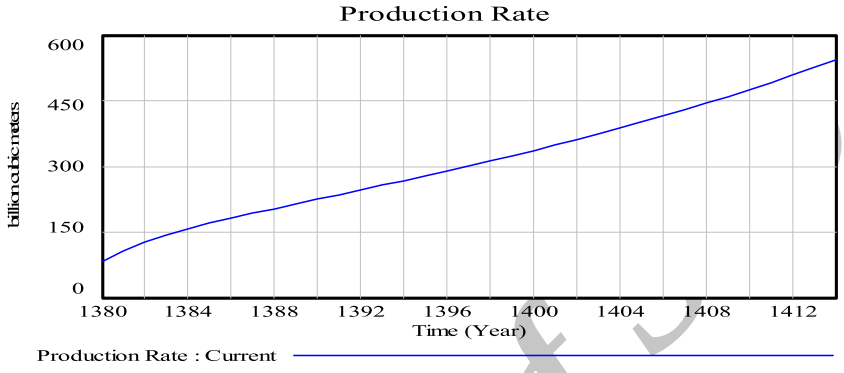
شبیه‌سازی نرخ تولید گاز طبیعی در ایران نیز در نمودار (۲۱) نشان داده شده است. براساس این نمودار، تولید گاز طبیعی با روندی افزایشی از حدود ۱۰۰ میلیارد متر مکعب در سال

Archive of SID

www.SID.ir

۱۳۸۰ به بیش از ۵۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. به عبارت دیگر، میزان تولید گاز طبیعی در ایران طی یک دوره ۳۵ ساله در حدود ۵ برابر خواهد شد.

نمودار (۲۱)- روند تغییرات نرخ تولید گاز در ایران: ۱۴۱۴-۱۳۸۰ (میلیارد متر مکعب)



۵-۲- تحلیل پیش‌نوشته‌ها

پس از شبیه‌سازی نتایج الگوی طراحی شده، طراحی پیش‌نوشته‌های مختلف برای توسعه و گسترش صنعت گاز کشور، موضوع مهم دیگری است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

الف- پیش‌نوشته اول: افزایش نرخ اکتشاف

از آنجایی‌که در برنامه‌های توسعه بر گسترش پروانه‌های اکتشاف و ظرفیت‌های بهره‌برداری از ذخایر کشف نشده گازی کشور تأکید شده است، پیش‌نوشته اول به سیاست افزایش نرخ اکتشاف اختصاص یافته است. بر این اساس، فرض شده است که نرخ اکتشاف با افزایشی ۷۵ درصدی از حدود ۱/۷ درصد به ۲/۷ درصد در سال افزایش یابد.

نمودار (۲۲)، روند تغییرات چهار متغیر منابع مؤثر در آینده، عمر ذخایر (نسبت ذخایر به تقاضا)، ذخایر توسعه یافته و نرخ تولید با اعمال پیش‌نوشته اول (افزایش ۷۵ درصدی نرخ اکتشاف) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با اعمال این پیش‌نوشته، میزان ذخایر

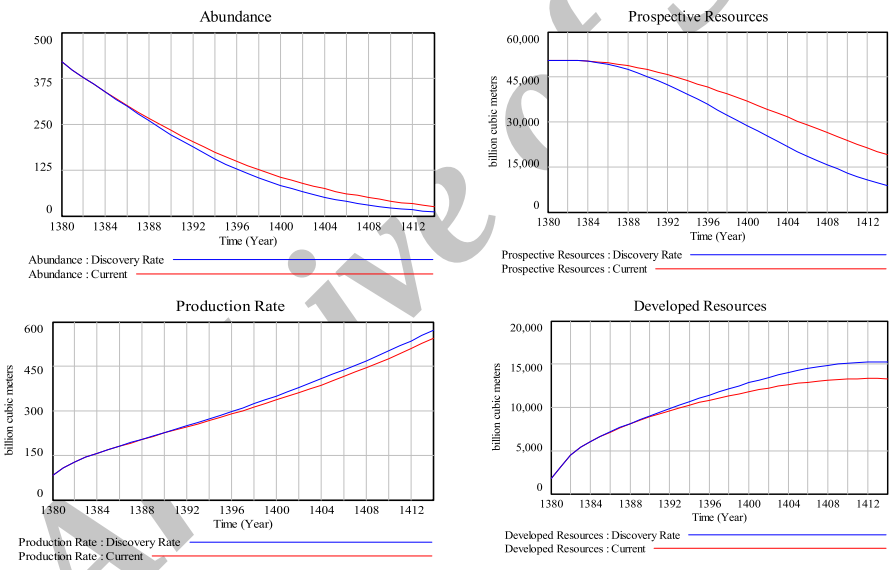
Archive of SID

www.SID.ir

گازی مؤثر در آینده کشور نسبت به حالت الگوی پایه در سال ۱۴۱۴ در حدود ۱۰ هزار میلیارد متر مکعب کمتر خواهد شد. این موضوع باعث خواهد شد تا عمر ذخایر گازی کشور در این سال که در الگوی پایه حدود ۳۰ سال برآورد شده است به کمتر از ۱۵ سال کاهش یابد. با این وجود، ذخایر توسعه یافته و نرخ تولید گاز نسبت به الگوی پایه افزایش خواهد یافت.

نکته قابل توجه آن است که افزایش نرخ اکتشاف با تأخیری ۵ ساله منجر به افزایش نرخ تولید گاز طبیعی در کشور خواهد شد. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود تأخیر اثر فناوری و توسعه میادین گازی باشد که در الگو طراحی شده است. این سیاست به طور متوسط منجر به افزایش سالیانه ۲۰ میلیارد متر مکعب تولید گاز طبیعی در کشور خواهد شد.

نمودار (۲۲)- روند تغییرات متغیرها بر اساس افزایش ۷۵ درصدی نرخ اکتشاف: ۱۴۱۴-۱۳۸۰



ب) پیش‌نوشته دوم: افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه

توسعه ظرفیت‌های بهره‌برداری از ذخایر توسعه یافته گازی کشور به منظور تولید گاز طبیعی، دیگر موضوع مهمی است که به صراحت در برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور به ویژه برنامه پنجم توسعه در بخش انرژی مورد تأکید قرار گرفته است. بر این اساس، در پیش‌نوشته دوم به

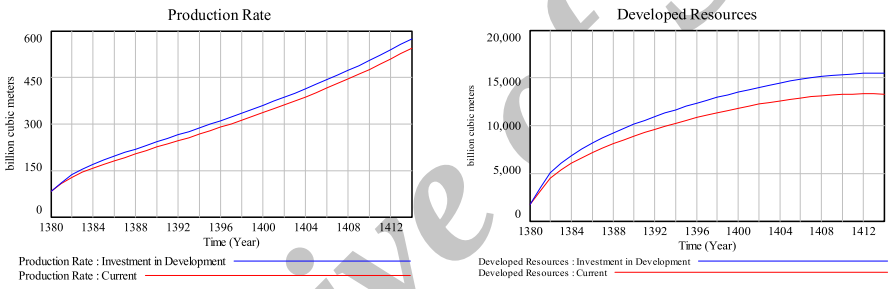
Archive of SID

www.SID.ir

موضوع افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه پرداخته شده است. در این پیش‌نوشه فرض شده است که افزایشی حدود ۲۰ درصد در سرمایه‌گذاری‌های توسعه گاز طبیعی صورت پذیرد.

نمودار (۲۳)، روند تغییرات دو متغیر ذخایر توسعه یافته و نرخ تولید گاز طبیعی در کشور را با اعمال پیش‌نوشته افزایش ۲۰ درصدی سرمایه‌گذاری در توسعه طی دوره ۱۴۱۴-۱۳۸۰ نشان می‌دهد. براساس این نمودار، افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه با تأخیری حدود ۲ تا ۳ سال منجر به افزایش ذخایر توسعه یافته و تولید گاز طبیعی در کشور شده است. اعمال سیاست افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه به طور متوسط منجر به افزایش سالیانه حدود ۲۵ میلیارد متر مکعبی در تولید گاز طبیعی در کشور خواهد شد.

نمودار (۲۳)- روند تغییرات متغیرها بر اساس افزایش ۲۰ درصدی سرمایه‌گذاری در توسعه: ۱۴۱٤-۱۳۸۰



ج) پیش‌نوشته سوم: افزایش سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری

پیشرفت فناوری همواره یکی از موضوعات مهم در صنعت نفت و گاز بوده است که بر این اساس، پیش‌نوشته سوم به این موضوع اختصاص یافته است. سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری به صورت تابع تأخیر بر هزینه‌های اکتشاف اثر می‌گذارد. هزینه اکتشاف نیز بر نرخ اکتشاف از طریق شاخص نرخ اکتشاف تأثیرگذار است. به عبارت دیگر، سرمایه‌گذاری در توسعه و بهبود فناوری از کانال هزینه‌های اکتشاف بر نرخ اکتشاف و نرخ تولید اثرگذار است. در اینجا فرض شده است که درصد سرمایه‌گذاری در بهبود و توسعه فناوری از ۵ به ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

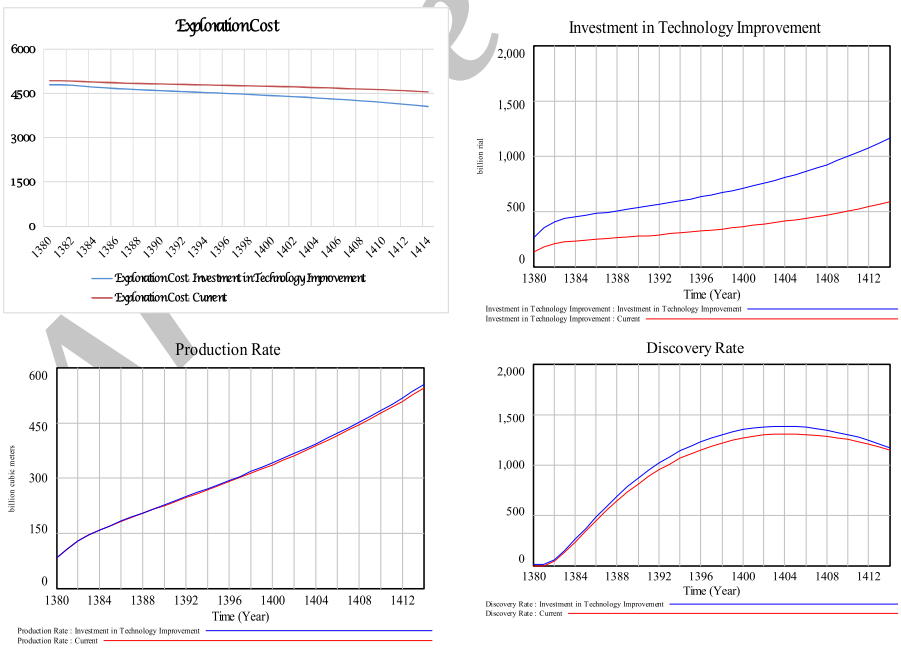
Archive of SID

www.SID.ir

نمودار (۲۴)، روند تغییرات متغیرهای سرمایه‌گذاری در توسعه و بهبود فناوری، هزینه اکتشاف، نرخ اکتشاف و تولید گاز طبیعی در کشور را با اعمال سیاست افزایش ۵ درصدی سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری را نشان می‌دهد. براساس این نمودار، سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری در سال ۱۴۱۴ در حالت پایه حدود ۵۹۰ میلیارد ریال (قیمت ثابت سال ۱۳۸۰) بوده که با اعمال سیاست افزایش درصد سرمایه‌گذاری در فناوری به حدود ۱۲۰۰ میلیارد ریال افزایش خواهد یافت. به طور متوسط، سالیانه حدود ۳۴۰ میلیارد ریال با اعمال سیاست مطرح شده به میزان سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری افزوده خواهد شد.

بررسی هزینه‌های اکتشاف بیانگر آن است که به طور متوسط، اعمال سیاست افزایش سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری منجر به کاهشی حدود ۳۰۰ میلیارد ریال سالیانه در هزینه‌های اکتشاف خواهد شد. با این وجود، سیاست مورد اشاره نتوانسته است افزایش قابل ملاحظه‌ای در ذخایر توسعه یافته و میزان تولید گاز طبیعی در کشور ایجاد کند.

نمودار (۲٤)- روند تغییرات متغیرها بر اساس افزایش ۵ درصدی سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی: ۱٤۱٤-۱۳۸۰



Archive of SID

www.SID.ir

د) پیش‌نوشته چهارم: گسترش تولید گاز از منابع نامتعارف (شیل گازی)

تولید گاز از منابع نامتعارف آن به یکی از موضوعات مهم در عرصه امنیت انرژی جهان در سال‌های اخیر تبدیل شده است. در این راستا، گسترش تولید گازهای نامتعارف می‌تواند چالشی برای امنیت عرضه و تقاضای گازهای متعارف در سطح جهان و بالتبع آن، گازهای متعارف ایران باشد. بر این اساس، پیش‌نوشته چهارم به موضوع گسترش گازهای نامتعارف اختصاص یافته است.

گازهای نامتعارف که فناوری استخراج آن تنها در اختیار آمریکا است، از سال ۲۰۰۷ و حدود ۳۷ میلیارد متر مکعب تولید آن آغاز شده است. جدول (۳)، میزان تولید گازهای نامتعارف آمریکا به همراه درصد رشد سالیانه آن را از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ به تصویر کشیده است. براساس اطلاعات این جدول، میزان تولید گازهای نامتعارف آمریکا در سال ۲۰۱۳ به ۳۲۳ میلیارد متر مکعب رسیده است. به طور متوسط در طول دوره مورد بررسی، ۱۶۸ میلیارد متر مکعب گاز نامتعارف به طور سالیانه تولید شده است. همچنین متوسط رشد طول دوره نیز حدود ۴۰ درصد بوده است.

در الگوی پایه، فرض شده است که میزان تولید گازهای نامتعارف در تمامی سال‌های مورد بررسی حدود ۱۶۸ میلیارد مترمکعب است. برای پیش‌نوشته چهارم که بر مبنای گسترش تولید گازهای نامتعارف است، برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ (۲۰۰۶-۲۰۰۷) مقدار تولید صفر، برای سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ (۲۰۱۳-۲۰۰۷) مقدار تولید بر اساس جدول (۳) و برای سال‌های پس از آن، متوسط رشد سالیانه ۱۰ درصد به عنوان حالتی خوشبینانه و عدم ورود دیگر کشورها به چرخه تولید گازهای نامتعارف در نظر گرفته شده است.

جدول (۳)- تولید گازهای نامتعارف در آمریکا: ۲۰۱۳-۲۰۰۷

سال		۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	متوسط دوره
تولید گازهای نامتعارف (شیل گازی)	مقدار (میلیارد مترمکعب)	۳۷	۶۰	۸۸	۱۵۱	۲۲۶	۲۹۴	۳۲۳	۱۶۸
	رشد سالیانه (درصد)	-	۶۳/۷	۴۷/۰	۷۱/۶	۴۹/۸	۲۹/۷	۱۰/۱	۳۸/٤

منبع: گزارش اداره اطلاعات انرژی آمریکا، ۲۰۱٤

Archive of SID

www.SID.ir

نمودار (۲۵)، رفتار شبیه‌سازی شده سه متغیر تولید گازهای نامتعارف، تقاضای گازهای متعارف جهان و تولید گاز در ایران را با اعمال پیش‌نوشته افزایش تولید گازهای نامتعارف طی دوره ۱۴۱۴-۱۳۸۰ به تصویر کشیده است. روند افزایشی تولید گازهای نامتعارف در این نمودار کاملاً آشکار است.

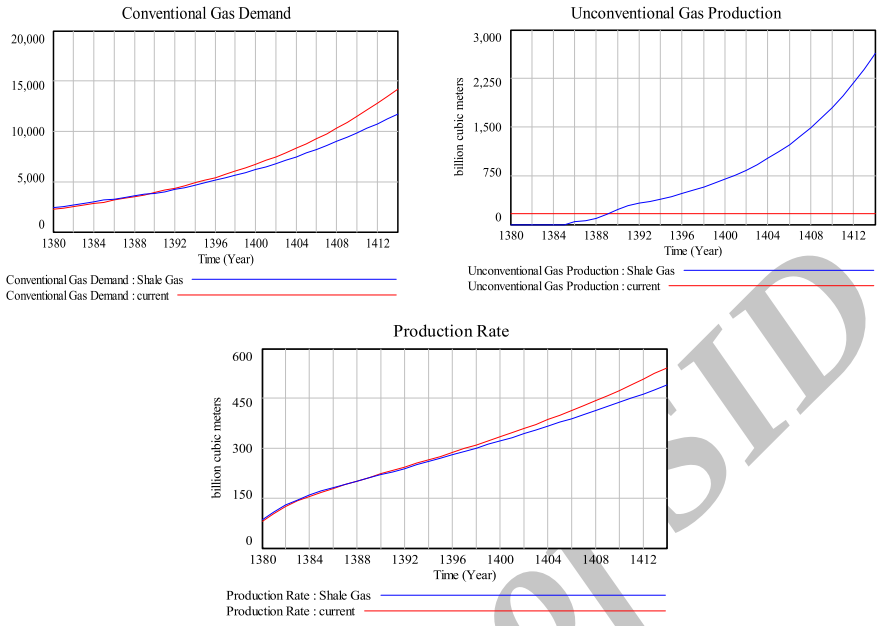
در خصوص تقاضای گازهای متعارف در سطح جهان، افزایش تولید گازهای نامتعارف منجر به کاهش تقاضای گازهای متعارف جهان از سال ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) به بعد شده است. نکته قابل توجه، افزایش شکاف میان تقاضای گازهای متعارف قبل از اعمال سیاست و بعد از آن است. به عبارت دیگر، اگرچه تولید گازهای نامتعارف تا حداکثر ۱۰ سال آینده تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر امنیت تقاضای گازهای متعارف در سطح جهان نخواهد داشت، اما با گسترش تولید این گازها که در حالت خوشبینانه آن رشد سالیانه ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است، در یک دوره میان‌مدت و درازمدت تأثیرات قابل توجهی بر امنیت تقاضای گازهای متعارف جهان خواهد گذاشت.

بررسی رفتار تولید گاز در کشور پس از اعمال سیاست گسترش تولید از گازهای نامتعارف (در حالت رشد سالیانه ۱۰ درصدی تولید این نوع گازها) بیانگر آن است که صنعت گاز ایران نیز از گسترش این گازها متأثر خواهد شد. این سیاست منجر به کاهش تولید گازهای متعارف کشور از سال ۱۳۹۰ به بعد شده است به طوری‌که در سال ۱۴۱۴ حدود ۶۰ میلیارد متر مکعب کاهش تولید گاز به وجود خواهد آمد. گسترش سالیانه ۱۰ درصدی گازهای نامتعارف که حالتی خوشبینانه است، به طور متوسط منجر به کاهش سالیانه ۲۰ میلیارد متر مکعب در تولید گاز کشور خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

نمودار (۲۵)- روند تغییرات متغیرها بر اساس افزایش تولید گازهای نامتعارف: ۱۴۱۴-۱۳۸۰



هـ) پیش‌نوشته‌های ترکیبی

ترکیب پیش‌نوشته‌ها و یا به عبارت دیگر، اجرای همزمان آنها می‌تواند به عنوان یک پیش‌نوشته کلی مورد توجه قرار گیرد. بر این اساس، افزایش ۷۵ درصدی نرخ اکتشاف، افزایش ۲۰ درصدی سرمایه‌گذاری در توسعه، افزایش ۵ درصدی سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری و گسترش گازهای نامتعارف در جهان (متوسط سالیانه رشد ۱۰ درصدی) به صورت همزمان اجرا شده است.

شبیه‌سازی نتایج پیش‌نوشته‌های ترکیبی در نمودار (۲۶) نشان داده شده است. براساس این نمودار، اعمال تمامی پیش‌نوشته‌ها منجر به افزایش قابل توجه در ذخایر توسعه یافته گازی کشور شده است. در خصوص نرخ تولید گاز در کشور نیز می‌توان افزایشی را در تمامی سال‌ها مشاهده کرد. با این وجود، شکاف میان مقدار تولید قبل و پس از اعمال پیش‌نوشته‌ها روند افزایشی داشته به طوری‌که بیشترین شکاف مربوط به سال ۱۴۰۴ و در

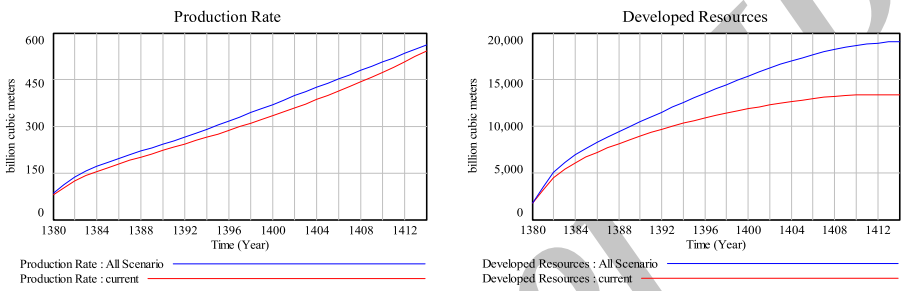
Archive of SID

www.SID.ir

حدود ۴۰ میلیارد متر مکعب بوده است. از این سال به بعد، شکاف موجود تا سال ۱۴۱۴ در حال کاهش است.

در مجموع، اعمال تمامی پیش‌نوشته‌ها می‌تواند کاهش تولید ناشی از گسترش گازهای نامتعارف را جبران کند، با این وجود در دوره درازمدت و با توجه به کاهش شکاف میان تولید قبل و پس از اعمال پیش‌نوشته‌ها می‌تواند تردیدی را در این خصوص مطرح کند.

نمودار (۲۶)- روند تغییرات متغیرها بر اساس اجرای هم‌زمان تمامی پیش‌نوشته‌ها: ۱۴۱۴-۱۳۸۰



۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به بررسی مسیر دراز مدت اکتشاف، استخراج و تولید گاز طبیعی در ایران در شرایط گسترش تولید گاز از منابع نامتعارف آن در سطح جهان با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم پرداخته است.

الگوی مورد استفاده در این مطالعه به پیروی از الگوی اکر و وندالین (۲۰۱۲) دارای سه زیر سیستم شامل چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف، سرمایه‌گذاری و تقاضای جهانی است.

زیرسیستم چرخه اکتشاف و تولید گازهای متعارف به فرآیند اکتشاف، استخراج و تولید گاز در کشور برمی‌گردد به طوری‌که از اکتشاف منابع مؤثر در آینده شروع و به تولید از ذخایر توسعه یافته گازی ختم می‌شود. ذخایر گازی مؤثر در آینده، ذخایر توسعه نیافته و ذخایر توسعه یافته، سه متغیر سطح و نرخ اکتشاف، نرخ توسعه و نرخ تولید، مهم‌ترین متغیرهای جریان در این زیرسیستم هستند.

Archive of SID

www.SID.ir

زیرسیستم سرمایه‌گذاری به طور خاص بر چهار موضوع درآمدهای فروش، سرمایه‌گذاری در توسعه، سرمایه‌گذاری در بهبود فناوری و سرمایه‌گذاری در اکتشاف تمرکز یافته است.

زیرسیستم تقاضای جهانی بر سه محور اصلی تقاضای کل جهانی گاز، تقاضای گازهای متعارف جهان و تولید گازهای نامتعارف شکل گرفته است. در الگوی نهایی، ارتباطی منطقی میان سه زیرسیستم برقرار شده است و الگو طی یک دوره دراز مدت ۱۴۱۴-۱۳۸۰ شبیه‌سازی شده است.

یکی از مراحل مهم در الگوسازی پویایی‌شناسی سیستم، تعیین اعتبار الگوی طراحی شده است. در این مطالعه از دو آزمون معتبر و پرکاربرد این حوزه یعنی آزمون بازتولید رفتار و آزمون وارد کردن تکانه به متغیرها استفاده شده است که نتایج آنها بیانگر اعتبار و اعتماد به نتایج شبیه‌سازی است. به عبارت دیگر، روند شبیه‌سازی شده متغیرهایی نظیر ذخایر توسعه یافته گازی کشور، تولید گاز در کشور و تقاضای گاز جهان نزدیکی قابل توجهی به مقادیر واقعی آن دارد. همچنین شبیه‌سازی رفتار متغیرها بر اساس وارد کردن تکانه به برخی متغیرها مطابق با انتظار بوده است.

عمده‌ترین نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگو بیانگر آن است که منابع گازی مؤثر در آینده از حدود ۵۰ هزار میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به کمتر از ۲۵ هزار متر مکعب در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. در این راستا، عمر ذخایر گازی کشور با روند کنونی به حدود ۳۰ سال در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. نکته قابل توجه در این خصوص، شدت گرفتن استخراج از ذخایر طی سال‌های ۱۴۰۰ به بعد است که این موضوع بیانگر افزایش تقاضا برای گاز طبیعی در سبد مصرف انرژی مطابق پیش‌بینی‌های آژانس بین‌المللی انرژی است. تولید گاز طبیعی نیز با روندی افزایشی از حدود ۱۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به بیش از ۵۰۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۴۱۴ خواهد رسید. به عبارت دیگر، میزان تولید گاز طبیعی در ایران طی یک دوره ۳۵ ساله در حدود ۵ برابر خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

اعمال پیش‌نوشته‌های مختلف و بررسی رفتار متغیرهایی نظیر تولید گاز طبیعی، موضوعی است که در این مطالعه به عنوان پیشنهادهای سیاستگذاری مورد بررسی قرار گرفته است. افزایش ۷۵ درصدی نرخ اکتشاف، افزایش ۲۰ درصدی سرمایه‌گذاری در توسعه، افزایش ۵ درصدی سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی، گسترش تولید گاز از منابع نامتعارف آن در سطح جهان و اعمال هم‌زمان تمامی پیش‌نوشته‌ها به ترتیب پیش‌نوشته‌های اول تا پنجم این مطالعه را تشکیل می‌دهد.

به طور کلی اعمال پیش‌نوشته‌های اول تا سوم منجر به افزایش تولید گاز در کشور به طور متوسط، حداکثر ۲۰ میلیارد متر مکعب در سال خواهد شد. با این وجود، اعمال پیش‌نوشته چهارم که گسترش تولید گازهای نامتعارف است، منجر به کاهش تقاضای گازهای متعارف در جهان و تولید گاز در ایران از سال ۱۳۹۰ (۲۰۱۱) به بعد خواهد شد. نکته قابل توجه در این میان، افزایش شکاف میان تقاضای گازهای متعارف قبل از اعمال سیاست و بعد از آن است. به عبارت دیگر، اگرچه تولید گازهای نامتعارف تا حداکثر ۱۰ سال آینده تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر امنیت تقاضای گازهای متعارف در سطح جهان نخواهد داشت، اما با گسترش تولید این گازها که در حالت خوشبینانه آن، رشد سالیانه ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است در یک دوره میان و دراز مدت تأثیرات قابل توجهی بر امنیت تقاضای گازهای متعارف جهان خواهد گذاشت.

اعمال تمامی پیش‌نوشته‌ها منجر به افزایش تولید گاز در کشور خواهد شد. با این وجود، شکاف میان مقدار تولید قبل و پس از اعمال پیش‌نوشته‌ها روند افزایشی داشته به طوری‌که بیشترین شکاف مربوط به سال ۱۴۰۴ و حدود ۴۰ میلیارد متر مکعب بوده است. از این سال به بعد، شکاف موجود تا سال ۱۴۱۴ در حال کاهش است. به عبارت دیگر، اگرچه اعمال تمامی پیش‌نوشته‌ها می‌تواند کاهش تولید ناشی از گسترش گازهای نامتعارف را جبران کند با این وجود در دوره درازمدت و با توجه به کاهش شکاف میان تولید قبل و پس از اعمال پیش‌نوشته‌ها می‌تواند تردیدی را در این خصوص مطرح کند.

Archive of SID

www.SID.ir

یکی از مهم‌ترین یافته‌های این مطالعه را می‌توان ضرورت بررسی صنعت گاز به صورت سیستماتیک و پویا دانست. مطالعه حاضر از کاستی‌هایی نیز برخوردار است که رفع آنها می‌تواند زمینه‌ای برای انجام پژوهش‌های دقیق‌تر و جامع‌تر را فراهنم کند. طراحی و وارد کردن الگوی سیستمی پویا در خصوص گازهای نامتعارف به صورت زیرسیستم به الگو که بتواند رفتار پویای این نوع از گازها را شبیه‌سازی کند و همچنین ورود بحث رقابت گازی به الگو در قالب بازی‌های پویا و استراتژیک از جمله مواردی است که می‌تواند زمینه‌ای برای انجام پژوهش‌های آتی باشد.

مقاله حاضر همچنین تنها سعی داشته تصویری از وضعیت صنعت گاز ایران را طراحی کند تا بتوان تأثیر تولید گازهای نامتعارف را در یک دوره بلندمدت مورد بررسی قرار داد. قاعدتاً مدلسازی صورت گرفته کامل نبوده و موارد متعددی است که باید به آن اضافه شود. از آنجایی که چنین الگویی در داخل کشور قدمتی ندارد، این مقاله می‌تواند زمینه انجام مطالعات بعدی را فراهم آورده و منجر به تدوین الگویی جامع برای صنعت گاز کشور شود. یکی از این موارد، بحث دیگر حامل‌های انرژی است که لازم است در مدلسازی‌های بعدی صنعت گاز مورد توجه قرار گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

پیوست ۱- توصیف متغیرها و آمار و اطلاعات آن‌ها

	نام متغیر	نوع متغیر	زیرسیستم	واحد	مقدار اولیه	منبع
۱	ذخایر مؤثر در آینده	سطح	چرخه عمر	میلیارد مترمکعب	۵۰۵۲۰	ترازنامه هیدروکربوری ۱۳۸۷
۲	نرخ اکتشاف	جریان	چرخه عمر	میلیارد مترمکعب	۰/۰۱۷	صمدی و عیدی‌زاده (۱۳۹۲)
۳	شاخص نرخ اکتشاف	کمکی	چرخه عمر	-	-	-
٤	هزینه اکتشاف	ثابت	چرخه عمر	میلیون دلار	۱۷٤٤	قریشی و رحیمی (۱۳۸٦)
٥	ذخایر توسعه نیافته	سطح	چرخه عمر	میلیارد مترمکعب	۲٦٥۷۰	ترازنامه انرژی ۱۳۸۰
٦	نرخ توسعه	جریان	چرخه عمر	میلیارد مترمکعب	-	-
۷	ذخایر توسعه یافته	سطح	چرخه عمر	میلیارد متر مکعب	۱۷۳۹	ترازنامه انرژی ۱۳۸۰
۸	نرخ تولید	جریان	چرخه عمر	میلیارد مترمکعب	-	-
۹	کل ذخایر	کمکی	چرخه عمر	میلیارد مترمکعب	-	-
۱۰	سود تجمعی	سطح	سرمایه‌گذاری	میلیارد ریال	٦٦۰۰	ترازنامه انرژی و محاسبات محقق
۱۱	درآمد فروش	جریان	سرمایه‌گذاری	میلیارد ریال	-	-
۱۲	سرمایه‌گذاری در توسعه	جریان	سرمایه‌گذاری	میلیارد ریال	-	-
۱۳	درصد سرمایه‌گذاری در توسعه	ثابت	سرمایه‌گذاری	درصد	٤۰	اکر و وندالین (۲۰۱۲)
۱٤	سرمایه‌گذاری در اکتشاف	جریان	سرمایه‌گذاری	میلیارد ریال	-	-
۱٥	سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی	کمکی	سرمایه‌گذاری	میلیارد ریال	-	-
۱٦	درصد سرمایه‌گذاری در تکنولوژی	ثابت	سرمایه‌گذاری	درصد	٥	اکر و وندالین (۲۰۱۲)
۱۷	درصد سرمایه‌گذاری در اکتشاف	کمکی	سرمایه‌گذاری	-	-	-
۱۸	بازده سرمایه‌گذاری	کمکی	سرمایه‌گذاری	-	-	-

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه پیوست ۱-

	نام متغیر	نوع متغیر	زیرسیستم	واحد	مقدار اولیه	منبع
۱۹	فراوانی منبع	کمکی	سرمایه‌گذاری	میلیارد مترمکعب	-	-
۲۰	قیمت سرمنبع	ثابت	سرمایه‌گذاری	ریال/مترمکعب	۵۸	ترازنامه انرژی
۲۱	نسبت تغییرات پایای تقاضا	ثابت	تقاضا	-	۰/۰۱	اکر و وندالین (۲۰۱۲)
۲۲	تغییرات پایدار	کمکی	تقاضا	-	-	-
۲۳	کشش قیمتی تقاضای گاز	ثابت	تقاضا	-	۰/۲	اکر و وندالین (۲۰۱۲)
۲٤	تغییر نسبی قیمت	کمکی	تقاضا	-	-	-
۲۵	تغییر در تقاضا	جریان	تقاضا	-	-	-
۲٦	کل تقاضای گاز	سطح	تقاضا	میلیارد مترمکعب	۲٤۰۵	ترازنامه انرژی
۲۷	تقاضای گاز متعارف	کمکی	تقاضا	میلیارد مترمکعب	-	-
۲۸	تولید گاز نامتعارف	ثابت	تقاضا	میلیارد مترمکعب	۱٦۸	ترازنامه انرژی

پیوست ۲- معادلات ریاضی متغیرها

	نام متغیر (فارسی)	نام متغیر (لاتین)	فرمول
۱	ذخایر مؤثر در آینده	Prospective Resources	$= \text{INTEG}(-\text{Discovery Rate}, \text{Initial Value})$
۲	نرخ اکتشاف	Discovery Rate	$=delay۳(Index\ Discovery\ Rate,۴/۵)*۰/۰۱۷*Perspective\ Resources$
۳	شاخص نرخ اکتشاف	Index Discovery Rate	$=Invested\ in\ Exploration\ /\ Exploration\ Cost$
٤	ذخایر توسعه نیافته	Undeveloped Resources	$=INTEG\left(Discovery\ Rate-Development\ Rate\right)$
۵	نرخ توسعه	Development Rate	$=delay۱(Index\ Discovery\ Rate,۱)*(۰/۳Undeveloped\ Resources)$
٦	ذخایر توسعه یافته	Developed Resources	$=INTEG\left(Development\ Rate-Production\ Rate\right)$
۷	نرخ تولید	Production Rate	$=۰/۰۲۵*Conventional\ Gas\ Demand+۰/۰۱۴*Developed\ Resources$
۸	کل ذخایر	Total Resources	$=Developed\ Resources+Undeveloped\ Resources$
۹	سود تجمعی	Cumulative Profit	$=INTEG\begin{pmatrix}Sales\ Revenune-Investment\ in\ Development\\-Investment\ in\ Exploration, InitialValue\end{pmatrix}$

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه پیوست ۲-

	نام متغیر (فارسی)	نام متغیر (لاتین)	فرمول
۱۰	درآمد فروش	Sale Revenues	$= Production\ Rate * Wellhead\ Price$
۱۱	سرمایه‌گذاری در توسعه	Investment in Development	$= \max(Commulative\ Profit * Percentage\ Invested\ in\ Development, ۰)$
۱۲	سرمایه‌گذاری در اکتشاف	Investment in Exploration	$= \max(Commulative\ Profit * Percentage\ Invested\ in\ Discovery, ۰)$
۱۳	سرمایه‌گذاری در بهبود تکنولوژی	Investment in Technology Improvement	$= Investment\ in\ Development * Percentage\ Invested\ in\ Technology$
۱٤	درصد سرمایه‌گذاری در اکتشاف	Percentage Invested in Exploration	$= \begin{pmatrix} (۰/۰۶۸۶ In(Return\ on\ Investment)) \\ *(-۰/۹۹ * In(Abundance)) \\ *(-۱/۴ * Exploration\ Cost) \\ +(۰/۰۰۵ * Sales\ Revenunes) \end{pmatrix} / Exploration\ Cost$
۱۵	بازده سرمایه‌گذاری	Return on Investment	$= Sales\ Revenunes / Exploration\ Cost$
۱٦	فراوانی منبع	Abundance	$= Total\ Revenunes / TotalGas\ Demand$
۱۷	تغییرات پایدار	Steady Change	$= TotalGas\ Demand * Steady\ Demand\ Change\ Fraction$
۱۸	تغییر نسبی قیمت	Price Related Change	$= ۰/۲۲ * Price\ Elasticity\ of\ Gas\ Demand * Total\ Gas\ Demand$
۱۹	تغییر در تقاضا	Change in Demand	$= Price\ Related\ Change - Steady\ Change$
۲۰	کل تقاضای گاز	Total Gas Demand	$= INTEG(Change\ in\ Demand, Initial\ Value)$
۲۱	تقاضای گاز متعارف	Conventional Gas Demand	$= \max(Total\ Gas\ Demand - Unconventianl\ Gas\ Production, ۰)$
۲۲	هزینه اکتشاف	Exploration Cost	$= ۵۰۶۱ - DELAY\ ۱(Investment\ in\ Technology\ Improvement, ۲)$

Archive of SID

www.SID.ir

۱۰- منابع

الف) فارسی

۱- صمدی، علی حسین و عیدی‌زاده، شهرام (۱۳۹۲)، «طراحی یک مدل دینامیک برای تدوین سیاست‌های صنعت گاز ایران با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستم»، *فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، شماره ۱۴.

ب) انگلیسی

1- Chi Chyong, Kong, William J. Nuttall, and David M. Reiner (2009), "Dynamics of the UK Natural Gas Industry: System Dynamics Modelling and Long-term Energy Policy Analysis", *Technological Forecasting and Social Change*, No. 76 (3):339-357.
2- Craig W. Kirkwood (1998), *System Dynamics Methods:A Quick Introduction*.
3- EIA. (2011), *Natural Gas Annual (2010)*, Washington, DC: Energy Information Administration, Office of Oil, Gas, and Coal Supply Statistics.
4- Eker, S., and C. van Daalen (2012), "Uncertainties in the Development of Unconventional Gas in the Netherlands", Paper read at 9th International Conference on European Energy Market, 10-12 May, 2012, Florence.
5- IEA (2009), *World Energy Outlook 2009*, Paris: OECD/IEA.
6- Kiani, Behdad, Mohammad Ali Pourfakhraei (2010), "A System Dynamic Model for Production and Consumption Policy in Iran Oil and Gas Sector", *Energy Policy,* 38.
7- Howarth , Robert W. and Renee Santoro and Anthony Ingraffea (2011), "Methane and the Greenhouse-gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations". *Climatic Change,*106:679–690
8- Sterman, John. D . (2000), *Business Dynamics*, Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management.
9- World Energy Outlook (2011), *Special Report: Are We Entering a Golden Age of Gas?* Paris: OECD/IEA.
http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.003

Archive of SID

www.SID.ir