

طراحی یک مدل دینامیک برای تدوین سیاست‌های صنعت گاز ایران با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم^۱

علی حسین صمدی^۲

شهرام عیدی زاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۰۱

چکیده

هدف اصلی مقاله حاضر ارزیابی وضعیت فعلی صنعت گاز ایران و تدوین سیاست‌هایی مناسب برای رسیدن به اهداف سند چشم‌انداز (ایران ۱۴۰۴) بوده است. برای رسیدن به این هدف یک مدل دینامیکی (شامل سه زیرسیستم اکتشاف، تولید و مصرف و تقاضا) بر اساس رهیافت پویایی‌شناسی سیستم طراحی و برای دوره ۱۳۸۹-۱۴۰۴ شبیه‌سازی صورت گرفته است. در این مدل عوامل موثر بر اکتشاف گاز طبیعی، میزان تقاضا و مصرف گاز، همچنین عوامل موثر بر تولید، صادرات، واردات، سهم سایر سوخت‌ها در عرضه انرژی شناسایی و روابط متقابل دینامیکی بین آنها بررسی شد. نتایج حاصل از حل مدل پایه نشان داد که با ادامه سیاست‌های فعلی، به هیچ‌کدام از اهداف سند چشم‌انداز (به جز هدف ۷۵ درصدی سهم مصرف گاز) نخواهیم رسید. بر این اساس، سیاست‌های جدیدی طراحی، و در قالب پیش‌نویس‌هایی در مدل لحاظ شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی پیش‌نویس‌ها نشان می‌دهد که برای رسیدن به اهداف در نظر گرفته شده در صنعت گاز باید علاوه بر هماهنگی در زیربخش‌های صنعت گاز، نرخ تولید و اکتشاف افزایش یافته و پیشرفت‌های تکنولوژیکی چشم‌گیری در زمینه اکتشاف و تولید صورت پذیرد، هم‌چنین می‌بایست استفاده

۱. مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آقای شهرام عیدی‌زاده به راهنمایی دکتر علی حسین صمدی در بخش اقتصاد دانشگاه شیراز است. با توجه به اینکه این پایان‌نامه تحت حمایت مالی شرکت ملی گاز ایران انجام یافته است، از مسئولان محترم شرکت ملی گاز ایران و استان فارس، به خصوص مسئول امور پژوهشی استان، جناب آقای امین عربی قدردانی می‌کنم.

۲. استادیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول)، Email: asamadi@rose.shirazu.ac.ir

۳. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی از دانشگاه شیراز، Email: sh.eydizadeh@yahoo.com

از منابع انرژی‌های پاک مانند منابع آبی و بادی و خورشیدی برای تامین بخشی از مصرف داخلی افزایش یابد. نتایج حاصل از آزمون‌های اعتبارسنجی مدل نیز بیانگر این مطلب بوده که مدل از اعتبار قابل قبولی برخوردار است.

واژگان کلیدی: تفکر سیستمی، صنعت گاز ایران، شبیه‌سازی، پویایی‌شناسی سیستم، نمودار علی-حلقوی، سند چشم انداز ۱۴۰۴.

JEL: C15, C54, C63, C88, L95, L78

۱. مقدمه

حامل‌های انرژی نقش اساسی و تعیین‌کننده‌ای در اقتصاد ملی و اقتصاد بین‌الملل دارند. این حامل‌ها از سه نظر دارای اثر و نقش بسیار مهمی در اقتصاد ایران هستند؛ نخست آن که برای تأمین روشنایی، گرما، سرما و پخت و پز مورد استفاده قرار می‌گیرند. دوم آن که تامین‌کننده سوخت مورد نیاز بخش‌های اقتصادی و تولیدی کشور مانند کشاورزی، صنعت و معدن و خدمات می‌باشند و سوم آن که نقش ارزآوری انرژی از طریق صادرات نفت خام و گاز از اهمیت زیادی برخوردار است و عملاً بودجه دولت مستقیماً و فعالیت بخش خصوصی به طور غیر مستقیم، به میزان درآمدهای ارزی ناشی از صادرات نفت و گاز کشور وابسته است.^۱

امروزه گاز (به عنوان یک حامل انرژی) جایگاهی ویژه در سبد انرژی جهان برای خود پیدا کرده است تا آنجا که قرن ۲۱ را قرن گاز^۲ نامیده‌اند.^۳ ایران یکی از مهم‌ترین کشورهای صاحب ذخایر هیدروکربوری دنیا بوده و یکی از اعضای سازمان کشورهای صادرکننده نفت^۴ و سازمان کشورهای صادرکننده گاز^۵ است. ایران رتبه دوم ذخایر گازی و رتبه چهارم ذخایر نفت در جهان را داراست. در سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران نیز، تصویر مطلوب آینده صنعت گاز کشور در افق ۱۴۰۴ به ترتیب زیر ارائه شده است:

۱. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. گزارش شماره ۶۷۲۰، مرداد ماه ۱۳۸۲.

2. Gas Century

۳. اقتصاد آنلاین، کد مطلب ۴۶۱۴، تیرماه ۱۳۹۱ (www.eghtesadonline.com)

4. OPEC

5. GECF

سومین تولیدکننده گاز در جهان با سهم ۸ تا ۱۰٪ از تجارت جهانی گاز و فراورده‌های گازی و سهم ۷۵ درصدی مصرف گاز طبیعی در سبد مصرفی فراورده‌های انرژی‌زا. از این رو لازم است تا سیاست‌های دقیقی در سرمایه‌گذاری، تولید و افزایش درآمد ناشی از استخراج این منبع به کار گرفته شود.

بر این اساس، هدف اصلی مقاله حاضر، تدوین یک الگوی پویای قابل شبیه‌سازی برای صنعت گاز (به صورت سیستمی متشکل از عوامل و متغیرهای موثر در مصرف و تولید، اکتشاف، صادرات و واردات و تقاضای گاز) و استفاده از آن برای ارزیابی وضعیت کنونی و آینده صنعت گاز در ایران با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم^۱ است. برای رسیدن به این هدف، مقاله حاضر در شش بخش تنظیم شده است. پس از بررسی مطالعات مختلف در زمینه صنعت گاز در بخش دوم، الگوی پویای سیستمی برای صنعت گاز در ایران طراحی و در بخش سوم آورده شده است. شبیه‌سازی مدل طراحی شده با استفاده از نرم‌افزار و نسیم^۲ در بخش چهارم، اعتبارسنجی مدل در بخش پنجم و نتیجه‌گیری در بخش ششم آورده شده است.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

هر چند رهیافت پویایی‌شناسی سیستم نخستین بار جی. دابلیو. فارستر^۳ در سال ۱۹۶۱ مطرح کرد، اما مدل‌سازی با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم در زمینه برنامه‌ریزی راهبردی انرژی و تحلیل حساسیت‌ها از دهه ۱۹۷۰ آغاز شد. اولین مدل در زمینه انرژی با عنوان کول^۴ به وسیله راجر نیل^۵ ساخته شد. پس از نیل افراد دیگری مثل استرمن^۶، ریچاردسون^۷، لیل^۸ و... در بخش‌های مختلف انرژی از این روش استفاده نمودند. در بین مطالعات موجود، مطالعات نیل^۹ (۱۹۷۰)، چودری و شاو^{۱۰} (۱۹۹۲)، باجر و می^{۱۱} (۱۹۹۲)، اولیا

1. System Dynamics(SD) Approach

2. Vensim(www.vensim.com)

3. J.W.Forrester

4. COAL

5. Roger Nail

6. Sterman

7. Richardson

8. Lebel

9. Nail

10. Chowdhury and Shau

11. Bodger and May

و دینر^۱ (۲۰۰۵)، باسی^۲ (۲۰۰۶)، چی و همکاران^۳ (۲۰۰۸)، و کارلو و همکاران^۴ (۲۰۰۹)، با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم صورت گرفته است که در ادامه خلاصه‌ای از آنها آورده شده است.

نیل (۱۹۷۰) به مدل‌سازی بخش‌های اکتشاف و مصرف در صنعت گاز آمریکا پرداخت. چودری و شاو (۱۹۹۲) مدلی برای بخش اکتشاف و استخراج گاز در هند طراحی کردند و رفتار درازمدت نفت و گاز را در این کشور بررسی نمودند. باجر و می (۱۹۹۲) نیز مدل پویای انرژی را برای نیوزیلند طراحی کردند، و وضعیت تقاضای انرژی را برای ۹۰ سال آینده در این کشور پیش بینی کردند. اولیا و دینر (۲۰۰۵) نیز مدلی برای بخش اکتشاف صنعت گاز آمریکا طراحی نمودند. باسی (۲۰۰۶) مدلی برای منابع انرژی در آمریکا طراحی کرد. مدل وی شامل بخش‌های جامعه، اقتصاد، محیط زیست، ارتباطات و بازخوردهای آنها با بخش انرژی است. چی و همکاران (۲۰۰۸) نیز مدلی برای صنعت گاز طبیعی انگلستان طراحی نمودند. در این مدل متغیرهای اصلی اکتشاف، تولید و مصرف در نظر گرفته شده است. کارلو و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهش خود، مدلی برای عرضه و تقاضای گاز طبیعی برای ایتالیا طراحی کردند.

در مطالعات داخلی نیز مطالعات انگشت‌شماری با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم در تمامی زمینه‌ها از جمله بخش انرژی انجام داده شده است. کیانی و پورفخرایی (۲۰۱۰) در تحقیق خود مدلی برای تولید و مصرف در بخش نفت و گاز در ایران ارائه داده‌اند. در این مدل بین عرضه و تقاضای انرژی (نفت و گاز) و درآمد نفت و انرژی بازخورد وجود دارد. پورمعصومی و همکاران (۱۳۸۹) مدلی برای تجزیه و تحلیل سیستم اقتصاد- انرژی ایران ارائه نمودند. شرافت جهرمی و مشرفی (۱۳۹۰) نیز شرایط عرضه‌ی گاز از مخازن گازی مستقل را در قالب نظریه‌ی هابرت شبیه‌سازی کرده‌اند.

در اغلب مطالعات انجام شده در خصوص صنعت گاز در ایران تنها به بررسی بخشی از این صنعت، با توجه به روش‌های اقتصادسنجی پرداخته شده است. در مواردی که کل صنعت در نظر گرفته شده، مدلی ارائه نشده است که تمامی عوامل موثر بر صنعت گاز را در برگیرد. یکی از دستاوردهای مقاله حاضر این

1. Olya and Dynner
2. Bassi
3. Chi
4. Carlo

است که با استفاده از رهیافت پویایی^۳ شناسی سیستم، الگویی برای صنعت گاز کشور تدوین شده‌است.

۳. مبانی نظری و ساختار الگو

پویایی^۳ شناسی سیستم، راهکار قدرتمندی است که با استفاده از روش‌های رایانه‌ای به شبیه‌سازی یک سیستم پرداخته، امکان بررسی مسائل و تشریح رفتار سیستم‌های پیچیده را ممکن می‌سازد. فرایند مدل‌سازی در پویایی^۳ شناسی سیستم در پنج مرحله بیان مسئله (انتخاب مرز)، فرضیه پویا، فرموله کردن، آزمون مدل و طراحی و ارزیابی سیاست بیان می‌شود (استرمن، ۱۳۸۷). پس از مشخص کردن سیستم و عناصر موجود در آن، تغییر آن‌ها را در طول زمان مد نظر قرار داده و بازخوردهای بین عناصر موجود در سیستم را تعیین می‌کنیم. وقتی عنصری از سیستم به صورت غیر مستقیم تحت تأثیر خودش قرار می‌گیرد، یک حلقه علی یا بازخوردی را تشکیل می‌دهد (کر کوود^۱، ۱۹۸۸). در حقیقت هنر الگوسازی پویایی شناسی سیستم فهم و ارایه فرایند بازخوردهاست (استرمن^۲، ۲۰۰۰: ۱۲).

نمودار علی-حلقوی (CLD^۳) یا نمودار علت و معلولی یکی از ابزارهای مهم برای نشان دادن ساختار بازخورد در سیستم‌ها است. بخش انرژی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین سیستم‌ها در جهان واقعیت است و باید به صورت یک دیدگاه کل‌نگری بررسی شود (مک اینتر و پراهان^۴، ۲۰۰۳). بنابراین به نظر می‌رسد که رهیافت پویایی شناسی سیستم یکی از بهترین ابزارها برای درک این سیستم پیچیده باشد.

در مقاله حاضر با طراحی مدلی پویا برای صنعت گاز کشور، علاوه بر تعیین عوامل موثر در این سیستم و روابط علی بین آن‌ها یک چارچوب کاری جدید برای ارزیابی سیاست‌ها، تصمیمات و فعالیت‌ها در این زمینه برای مدیران و سیاست‌گذاران ارایه شده^۳ است. در حقیقت امکان پیش‌بینی اثرات درازمدت تصمیمات و نیز عواقب ناخواسته سیاست‌ها و استراتژی‌ها با این مدل امکان‌پذیر می‌شود.

-
1. Kirkwood
 2. Sterman
 3. Causal-Loop Diagram
 4. McIntyre and Pradhan

از آن جا که در اکثر قریب به اتفاق تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در خصوص گاز ایران و جهان، مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر این صنعت در بخش‌های اکتشاف، تولید و مصرف و تقاضا قرار می‌گیرند، در مقاله حاضر صنعت گاز ایران به سه زیرسیستم اکتشاف، تولید و مصرف و تقاضا تقسیم شده‌است که با یکدیگر در تعامل هستند و این تعامل از طریق متغیرهای موجود در این زیرسیستم‌ها حاصل می‌شود. در زیرسیستم اکتشاف بحث عوامل موثر بر اکتشاف گاز طبیعی، منابع موجود، هزینه‌ها و ... تأثیرات بین آن‌ها بررسی می‌شود. در زیرسیستم تقاضای گاز سخن از عوامل موثر بر میزان تقاضا، سهم دیگر سوخت‌ها در تأمین تقاضای انرژی و ... به میان می‌آید و همچنین تأثیرات بین متغیرها بررسی می‌شود و سرانجام زیرسیستم تولید و مصرف عوامل موثر بر تولید گاز طبیعی، به‌بررسی مصرف، صادرات، هزینه‌های تولید، واردات، تزریق به میادین نفتی و ... می‌پردازد (چی و همکاران، ۲۰۰۸، نیل، ۱۹۷۰، استرمن و همکاران، ۱۹۸۸). در ادامه نمودار علی-حلقوی هر سه زیرسیستم به صورت مختصر توضیح داده می‌شود.

۱.۳. زیرسیستم اکتشاف

زیربخش اکتشاف از چند حلقه بازخوردی منفی (تعادلی) تشکیل شده‌است.^۱ این حلقه‌ها ارتباط بین نرخ اکتشاف، هزینه‌ها، سرمایه‌گذاری و منابع را نشان می‌دهند. در این مدل متغیر ذخایر اثبات‌نشده^۲ یک متغیر انباشت بوده که دارای مقدار اولیه‌ای است. این متغیر تنها تحت تأثیر متغیر نرخ خروجی، یعنی نرخ اکتشاف است؛ یعنی با گذشت زمان با افزایش نرخ اکتشاف و آشکار شدن میدان‌های گازی جدید از میزان ذخایر اثبات‌نشده کاسته می‌شود. در نتیجه این کاهش متغیر کسری از منابع اثبات‌نشده باقی‌مانده (که از تقسیم منابع کشف‌نشده به ارزش اولیه منابع کشف‌نشده حاصل شده‌است) کاهش می‌یابد. کاهش این متغیر سبب خواهد شد تا هزینه اکتشاف و ارزیابی افزایش یابد (چی و همکاران،^۳ ۲۰۰۸).

۱. عوامل بسیاری در اکتشاف گاز طبیعی موثر است؛ اما در این مدل به برخی از عوامل درون‌زا و متغیرهایی اشاره شده‌است که به صورت پرننگ‌تر در وضعیت صنعت گاز ایران دخیل هستند. جریات مدل‌سازی و نمودارهای انباشت-جریان (SFD) برای هر زیرسیستم به دلیل کمبود فضا اینجا آورده نشده و نزد نویسندگان موجود است.

۲. ذخایر اثبات‌نشده عبارت است از میزان کل ذخایری که تاکنون کشف نشده‌اند و انتظار می‌رود در آینده پیدا شوند و این ذخایر به علت رشد ذخایر موجود کشف‌شده نیست.

منابع کشف شده^۱ یک متغیر انباشت می‌باشد که دو متغیر نرخ بر روی آن تأثیرگذار است. نرخ اکتشاف (متغیر نرخ ورودی) تأثیر مثبتی بر منابع کشف شده می‌گذارد؛ بدین صورت که با افزایش نرخ اکتشاف از میزان منابع کشف نشده کاسته می‌شود و بر منابع کشف شده افزوده می‌شود. همچنین متغیر نرخ مصرف نیز (متغیر نرخ خروجی) بر منابع کشف شده اثر منفی می‌گذارد، چون با افزایش نرخ استفاده و ثبات تولید، میزان منابع کشف شده کاهش می‌یابد.

افزایش بهره‌برداری از منابع طبیعی محدود، ممکن است سبب شود تا رفتار متغیرها در سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی تنزل پیدا کند (میدوز و همکاران^۲، ۱۹۷۲). هزینه اکتشاف تأثیر منفی بر دو متغیر شاخص نرخ اکتشاف و سرمایه‌گذاری در اکتشاف می‌گذارد. همچنین با افزایش نرخ اکتشاف منابع اثبات شده افزایش می‌یابد و در پی آن بر نسبت منابع - تقاضا^۳ افزوده می‌شود و بنابراین تأثیر منفی بر سرمایه‌گذاری در اکتشاف دارد. با کاهش ذخایر کشف نشده هزینه اکتشاف افزایش می‌یابد و سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای اکتشاف بالاتر می‌رود. (پورمعصومی و همکاران، ۱۳۸۹)

مانند انواع تصمیمات سرمایه‌گذاری، تصمیم به سرمایه‌گذاری در اکتشاف نیز به بازگشت سرمایه به صنعت بستگی دارد. از طرف دیگر نسبت منابع - تقاضا نیز بر سرمایه‌گذاری در اکتشاف موثر است. سرمایه‌گذاری در اکتشاف یک متغیر کمکی است که تحت تأثیر متغیرهای نسبت منابع - تقاضا، سرمایه‌گذاری مطلوب در اکتشاف گاز، هزینه اکتشاف، بازگشت سرمایه به صنعت و درآمد فروش قرار می‌گیرد.

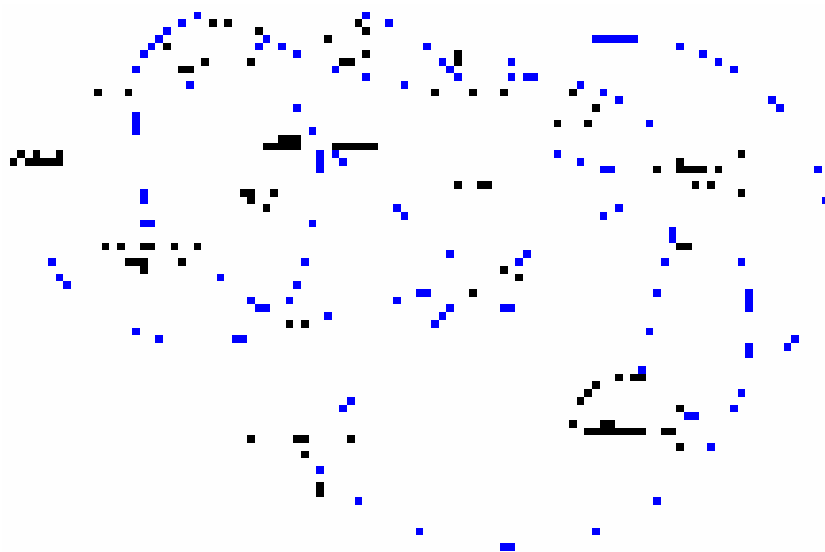
با افزایش بازگشت سرمایه به صنعت، سرمایه‌گذاری در اکتشاف نیز افزایش می‌یابد، همچنین از طرفی هزینه اکتشاف نیز تأثیری منفی بر سرمایه‌گذاری در اکتشاف دارد. دو متغیر درآمد فروش و هزینه کل بر عامل بازگشت سرمایه به صنعت اثرگذار است. با افزایش هزینه‌ها شاهد تأثیر منفی بر عامل بازگشت سرمایه

۱. منظور از منابع کشف شده یا منابع اثبات شده، سطحی از منابعی است که مربوط به گاز طبیعی است و هم‌اکنون به وسیله عملیات حفاری و اکتشاف کشف گردیده، ولی هنوز مورد استفاده قرار نگرفته است (نیل، ۱۹۷۲)

2. Meadows

۳. این نسبت از تقسیم منابع اثبات شده بر تقاضای گاز طبیعی حاصل می‌شود.

به صنعت خواهیم بود، همچنین با افزایش قیمت فروش گاز طبیعی، درآمد حاصل از فروش این محصول افزایش می‌یابد و در نتیجه هزینه‌های تحمیل‌شده در جهت این درآمد بیشتر پوشش داده خواهد شد. با افزایش منابع کشف‌نشده، کسر منابع کشف‌نشده باقی‌مانده نیز کاهش می‌یابد و در پی آن برای پیدا کردن منابع گازی برای جبران نیازهای داخل باید هزینه اکتشاف افزایش یابد. هزینه اکتشاف عاملی اثرگذار بر سرمایه‌گذاری در اکتشاف است که این عامل خود بر نرخ اکتشاف بالقوه اثر می‌گذارد. (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۸۱). با استفاده از مطالب بالا، نمودار علی-حلقوی برای زیرسیستم اکتشاف در شکل ۱ ترسیم شده است.



شکل ۱. نمودار علی-حلقوی زیرسیستم اکتشاف

منبع: یافته‌های تحقیق.

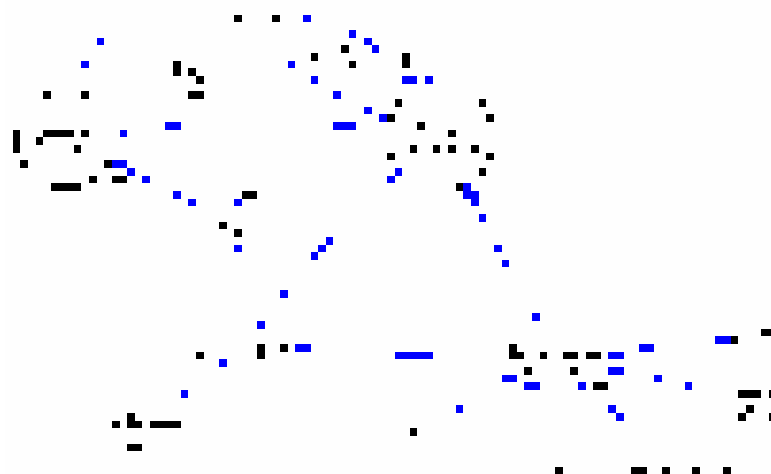
۲.۳. زیرسیستم تقاضا

زیرسیستم تقاضا ارتباط بسیار نزدیکی با زیرسیستم‌های اکتشاف و تولید و مصرف دارد و خود این زیرسیستم به تنهایی حلقه‌ای تشکیل نمی‌دهد و با تعامل با زیرسیستم‌های مذکور، حلقه‌هایی تشکیل می‌شود.

افزایش در تقاضای گاز طبیعی باعث کاهش نسبت منابع - تقاضا می‌شود (چی و همکاران، ۲۰۰۸). نسبت منابع - تقاضا یک متغیر کمکی است که هر چه منابع اثبات‌شده بیشتری وجود داشته باشد، نسبت منابع - تقاضا افزایش می‌یابد و با افزایش تقاضای گاز طبیعی، این نسبت کاهش می‌یابد.

از طرفی این نسبت بر سرمایه‌گذاری در اکتشاف تأثیر منفی دارد، یعنی با افزایش نسبت منابع - تقاضا، سرمایه‌گذاری در اکتشاف کاهش می‌یابد. وقتی نسبت منابع - تقاضا بالاست (یعنی منابع کشف‌نشده زیادی وجود دارد) در این صورت با افزایش کشف منابع، نرخ اکتشاف کاهش می‌یابد، همچنین از طرفی می‌توان نتیجه گرفت که وقتی که نسبت منابع - تقاضا بالاست، تقاضای گاز طبیعی در سطح پایینی قرار دارد که در این حالت نیز مانند حالت قبل سرمایه‌گذاری در اکتشاف به دلیل تقاضای پایین گاز طبیعی کاهش می‌یابد. تقاضای گاز طبیعی نیز از طریق مصرف بر منابع اثبات‌شده گاز طبیعی و نسبت منابع - تولید اثر می‌گذارد، همچنین از قیمت گاز تأثیر می‌پذیرد (اولیا و دینر، ۲۰۰۵). با کاهش نسبت منابع - تقاضا، مصرف گاز کشور نیز از طریق شبکه سرمایه‌گذاری در اکتشافات و منابع اثبات‌شده کاهش می‌یابد.

در اینجا فرض می‌کنیم که زغال سنگ، نفت، انرژی‌های آبی، بادی و خورشیدی به عنوان منابع جایگزین برای گاز طبیعی می‌باشند که با وضعیتشان و نرخ رشد خود، سهم گاز در عرضه انرژی اولیه را تعیین می‌کنند. منابع نفتی، تأثیری منفی بر سهم گاز دارد چون با کاهش سهم منابع نفتی از عرضه کل انرژی، برای تامین تقاضای انرژی، سهم گاز افزایش می‌یابد. همچنین منابع زغال‌سنگ، انرژی‌های آبی، بادی و خورشیدی و منابع تجدیدپذیر نیز تأثیر منفی بر سهم گاز می‌گذارند. سهم گاز در عرضه کل انرژی تأثیری مثبتی بر تقاضای گاز طبیعی دارد، چون با افزایش منابع گازی در یک کشور، استفاده از آن منبع و تقاضای آن منبع نیز افزایش می‌یابد. نمودار علی - حلقوی زیرسیستم تقاضا در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نمودار علی - حلقوی زیرسیستم تقاضا

منبع: یافته‌های تحقیق

۳.۳. زیرسیستم تولید و مصرف

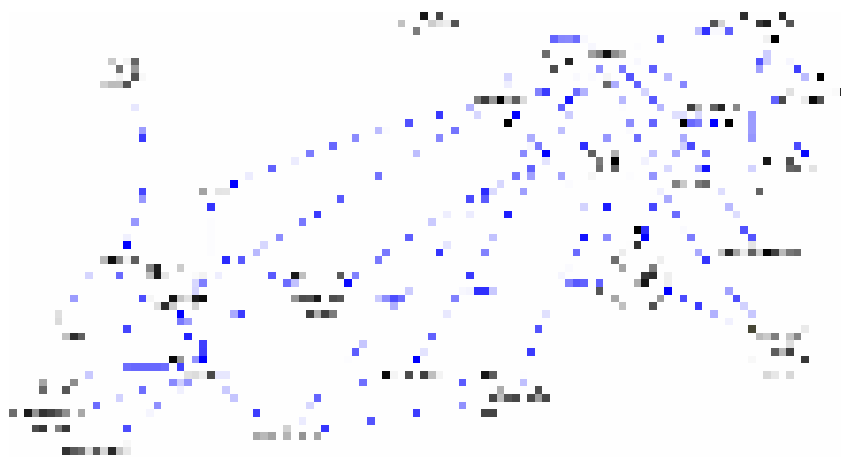
زیرسیستم تولید و مصرف از حلقه‌هایی تشکیل شده‌است که در تعامل با زیربخش‌های اکتشاف و تقاضا می‌باشند. با افزایش در نرخ تولید، تولید کل افزایش، نسبت منابع - تولید^۱ کاهش و هزینه‌های تولید افزایش می‌یابد. همچنین افزایش هزینه‌ها باعث کاهش بازگشت سرمایه به صنعت می‌شود. اثر این متغیر به زیربخش اکتشاف منتقل می‌شود. همچنین نرخ تولید تاثیر منفی بر منابع اثبات شده می‌گذارد، چون با افزایش نرخ تولید، بازگشت سرمایه به صنعت افزایش و با تاثیر بر نرخ اکتشاف، از حجم منابع کشف شده کاهش می‌یابد. با کاهش منابع اثبات شده نسبت منابع - تقاضا نیز کاهش خواهد یافت.

افزایش صادرات گاز طبیعی، تاثیر مثبت بر خالص صادرات دارد. با افزایش خالص صادرات، درآمد فروش افزایش یافته و به نوبه‌ی خود منجر به افزایش بازگشت سرمایه به صنعت و کاهش منابع اثبات شده

۱. از تقسیم منابع اثبات شده بر میزان تولید حاصل می‌شود.

گاز (از طریق اثرگذاری بر زیرسیستم اکتشاف) می‌شود. همچنین واردات گاز طبیعی نیز تحت تاثیر دو متغیر مصرف و تولید قرار می‌گیرد، به نحوی که با افزایش تولید، واردات گاز کاهش و با افزایش مصرف، برای جبران مصرف داخلی، واردات گاز طبیعی افزایش می‌یابد.

در این مدل تزریق گاز به میادین نفتی به عنوان بخشی از مصرف داخلی فرض شده^۳ است. حال اگر فرض شود صادرات گاز طبیعی بنا به دلایلی افزایش یابد، طبق تراز گاز طبیعی کشور^۱ با فرض ثبات تولید، مصرف کاهش می‌یابد. همچنین در صورتی که تولید گاز و میزان صادرات گاز طبیعی ثابت باشد، در صورتی که مصرف گاز طبیعی افزایش یابد، برای پاسخ‌گویی به این مصرف می‌بایست واردات گاز طبیعی در کشور افزایش یابد که این نشانگر رابطه‌ای منفی بین مصرف و واردات گاز طبیعی به صورت یک‌طرفه از سوی مصرف به واردات است. مصرف گاز طبیعی با افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی نیز افزایش می‌یابد (اشراق‌نای جهرمی و ایقانی یزدلی، ۱۳۸۷). همچنین تولید گاز طبیعی بر واردات گاز طبیعی تاثیر منفی و بر صادرات گاز طبیعی تاثیر مثبت خواهد داشت. با این توضیحات می‌توان نمودار علی-حلقوی زیرسیستم تولید و مصرف را همانند شکل ۳ رسم کرد.



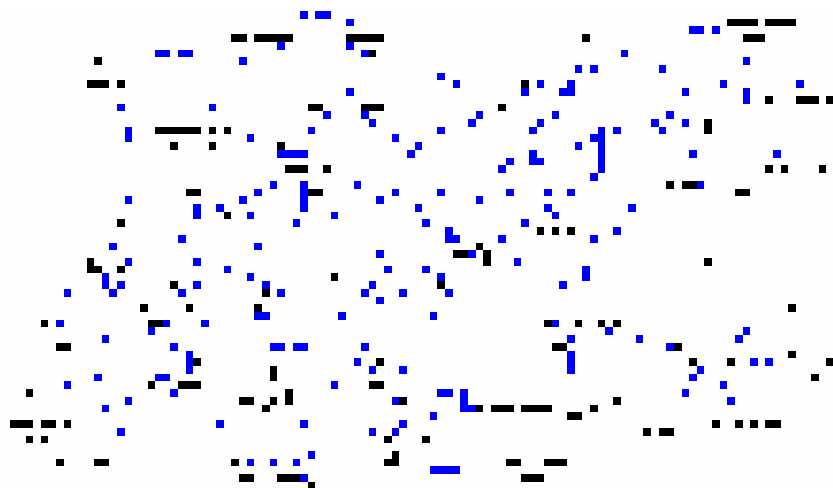
شکل ۳. نمودار علی-حلقوی زیرسیستم تولید و مصرف

منبع: یافته‌های تحقیق

۱. تراز گاز = تولید - (تزریق + مصرف + صادرات)

۴.۳. نمودارهای علی-حلقوی و انباشت-جریان^۱ صنعت گاز ایران

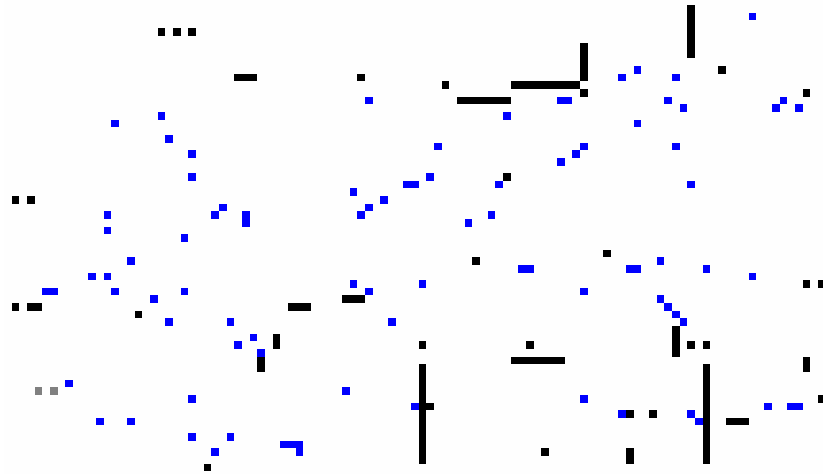
همان‌گونه که اشاره شد، با تلفیق نمودارهای علی-حلقوی هر سه زیرسیستم قبلی، می‌توان نمودار علی-حلقوی برای صنعت گاز را استخراج کرد. نمودارهای انباشت-جریان جزئیات لازم برای نوشتن معادلات را در بر می‌گیرند. نمودارهای علی-حلقوی و انباشت-جریان صنعت گاز ایران در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند. این شکل‌ها از تلفیق نمودارهای CLD و SFD هر سه زیرسیستم حاصل شده‌اند، همچنین متغیرهای مورد نظر به همراه زیرسیستم مربوطه، نوع و واحد اندازه‌گیری آنها در جدول ۱ پیوست آورده شده است.



شکل ۴. نمودار علی-حلقوی صنعت گاز ایران

منبع: یافته‌های تحقیق

1. Stock-Flow Diagram(SFD)



شکل ۵. نمودار انباشت - جریان صنعت گاز ایران

منبع: یافته‌های تحقیق.

۴. حل مدل و شبیه‌سازی

در این پژوهش بازه زمانی شبیه‌سازی، ۱۶ سال (۱۳۸۹-۱۴۰۴) بوده و با دوره تکرار ۰/۲۵ صورت گرفته است. به عبارتی شبیه‌سازی برای ۶۴ فصل صورت گرفته است و برای تمامی متغیرهای سطح و برخی از متغیرهای کمکی هم که احتیاج به مقادیر اولیه دارند، مقادیر سال ۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است. این در حالی است که برای تمامی متغیرهای نرخ و سایر متغیرهای کمکی موجود در مدل که احتیاج به تخمین معادلات بوده از داده‌های آماری ۲۰ ساله و در برخی از محاسبات که داده‌ها موجود نبودند، از داده‌های آماری مربوط به سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۹ بهره گرفته شده است. برای اطلاع از جزئیات بیشتر به جدول ۲ پیوست مراجعه شود. در ادامه نتایج حاصل از حل مدل پایه و شبیه‌سازی در قالب پیش‌نوشته‌های^۱ مختلف ارائه می‌گردند.

1. Scenarios

۱.۴. حل مدل پایه

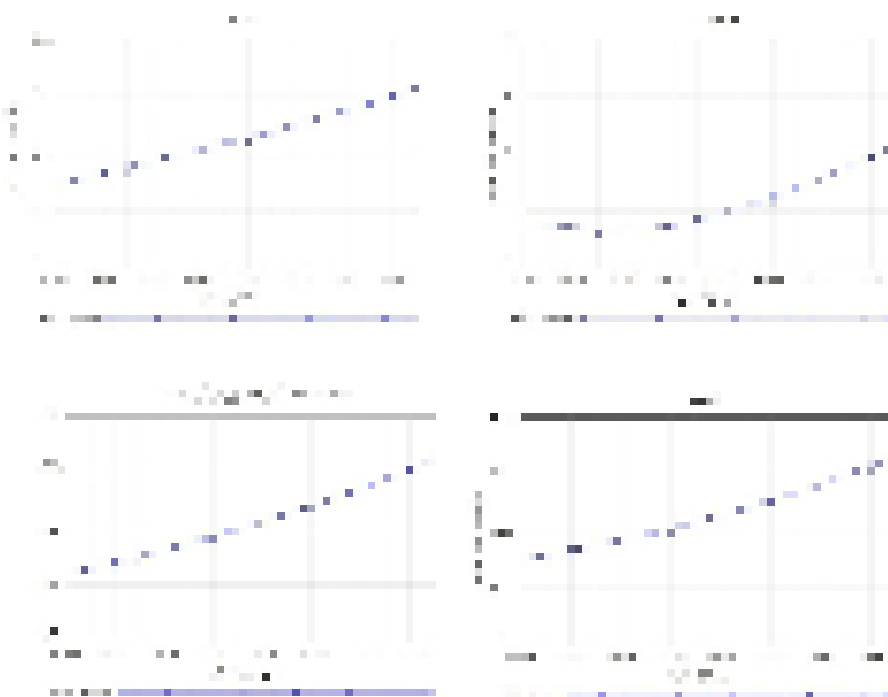
در این مقاله سال ۱۳۸۹ به عنوان سال پایه برای شروع شبیه‌سازی در نظر گرفته شده و شبیه‌سازی برای مدت ۱۶ سال تا سال ۱۴۰۴ صورت گرفته است. برخی از نتایج مهم حاصل از حل مدل پایه در ادامه ارائه شده است.^۱

همان‌طور که از شکل ۶ مشخص است، تولید گاز در طی دوره ۱۳۸۹-۱۴۰۴ با مقدار ۱۴۸ میلیارد متر مکعب در سال آغاز شده و در سال ۱۳۹۵ از مرز ۲۰۰ میلیارد متر مکعب گذشته و در انتهای دوره به میزان ۳۳۳ میلیارد متر مکعب خواهد رسید. در سند چشم‌انداز، یکی از اهداف مد نظر در بخش تولید، این است که ایران سومین تولیدکننده گاز طبیعی در جهان باشد. تولید کل گاز طبیعی جهان در سال ۱۳۸۹ به عدد ۳ تریلیون و ۱۹۳ میلیارد متر مکعب رسید. هرگاه فرض شود که تولید کل گاز جهان ۵ درصد در سال رشد نماید (میانگین رشد سال‌های اخیر)، مقدار این متغیر در سال ۱۴۰۴ به عدد ۶ تریلیون و ۶۰۰ میلیارد متر مکعب خواهد رسید. در حال حاضر، گاز تولیدشده ایران در حدود ۵ درصد از تولید گاز جهان است. ایران برای داشتن رتبه سومی در تولید گاز طبیعی در جهان در سال ۱۴۰۴، بایستی ۷ درصد از تولید گاز طبیعی جهان و به میزان ۴۶۰ میلیارد متر مکعب را داشته باشد، در حالی که در مدل پایه شبیه‌سازی شده، مقدار تولید ایران در سال ۱۴۰۴ به میزان ۳۳۰ میلیارد متر مکعب به دست آمد که فاصله‌ای ۱۳۰ میلیارد متر مکعبی تا رتبه سومی تولید گاز طبیعی در جهان وجود دارد، همچنین حل مدل پایه نشان داد که روند مصرف در کشور در صورت در نظر نگرفتن هیچ پیش‌شرطی همانند گذشته روندی صعودی با شیب نسبتاً فزاینده خواهد داشت؛ به طوری که مصرف گاز کشور در سال ۱۳۸۹، میزان ۱۴۴ میلیارد متر مکعب بوده و در انتهای دوره شبیه‌سازی به ۳۱۶ میلیارد متر مکعب خواهد رسید. صادرات گاز کشور در سال پایه از ۸ میلیارد متر مکعب آغاز شده و با روندی نزولی در سال ۱۳۹۳ به میزان ۶ میلیارد متر مکعب خواهد رسید. پس از آن با روندی صعودی تا انتهای دوره یعنی در سال ۱۴۰۴ به میزان ۲۲ میلیارد متر مکعب می‌رسد. همچنین واردات گاز کشور در سال ۱۳۸۹ با میزان ۸ میلیارد متر مکعب آغاز و در پایان دوره شبیه‌سازی به میزان ۱۴ میلیارد متر مکعب خواهد رسید.

در سال ۱۳۸۹ صادرات گاز طبیعی در جهان، ۹۹۲ میلیارد متر مکعب بوده است. با فرض نرخ رشد

۱. به دلیل کمبود فضا از تحلیل روند کلیه متغیرهای مدل خودداری شده است و تنها روند برخی از متغیرهای مهم تجزیه و تحلیل شده است. این برخورد در بخش پیش‌نویس‌ها نیز صورت گرفته است. نتایج تحلیل روند بقیه متغیرها نزد نویسندگان موجود است.

۳ درصدی صادرات در جهان تا سال ۱۴۰۴ (همانند ادوار پیشین)، صادرات گاز طبیعی جهان در سال پایانی سند چشم‌انداز معادل با ۱ تریلیون و ۵۴۵ میلیارد متر مکعب خواهد شد و با توجه به سهم در نظر گرفته شده برای ایران (۱۰-۸ درصد از تجارت جهانی گاز طبیعی)، سهم ایران در سال ۱۴۰۴ معادل با ۱۵۴-۱۲۳ میلیارد متر مکعب خواهد بود. در صورتی که طبق محاسبات تحقیق سهم صادرات گاز ایران با وضعیت مصرف فعلی و بدون در نظر گرفتن پیش‌شرط‌های لازم معادل با ۲۲ میلیارد متر مکعب در سال ۱۴۰۴ یعنی چیزی در حدود کمتر از یک و نیم درصد خواهد بود. همچنین سهم مصرف گاز طبیعی از کل مصرف فرآورده های نفتی انرژی را با رقم ۶۶ درصد در سال ۱۳۸۹ آغاز و در سال ۱۳۹۷ این رقم به میزان ۷۰ درصد و در انتهای سند چشم‌انداز به ۷۶ درصد خواهد رسید. یکی از اهداف سند چشم‌انداز، رسیدن سهم مصرف گاز طبیعی در بین فرآورده ها به میزان ۷۵ درصد است که در مدل پیش رو برای گاز کشور این سهم با توجه به روند مصرف کشور تحقق می‌یابد.



شکل ۶. روند تغییر متغیرها بر اساس مدل پایه

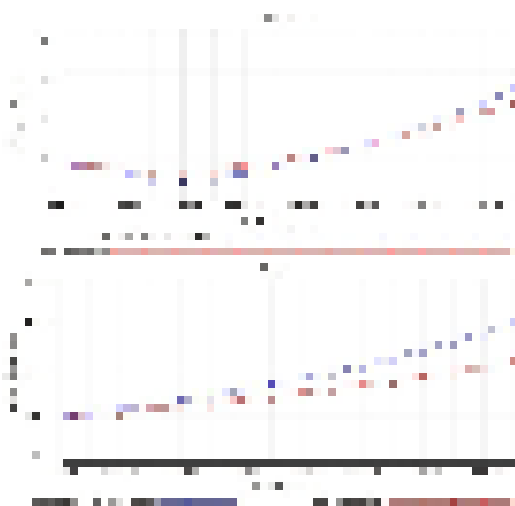
منبع: یافته‌های تحقیق

۲.۴. پیش‌نوشته‌ها (سناریوها)

نتایج حل مدل پایه نشان داد که از میان اهداف تعیین شده در سند چشم‌انداز، تنها به سهم ۷۵ درصدی مصرف دست خواهیم یافت و با جایگاه سوم تولید گاز در جهان و سهم ۸-۱۰ درصدی از تجارت جهانی فاصله‌ای زیاد داریم. در نتیجه در ادامه برای طراحی سیاست‌هایی برای دستیابی به اهداف مذکور پیش‌نوشته‌هایی مطرح و نتایج حاصل از شبیه‌سازی ارائه شده است.

۱.۲.۴. افزایش نرخ اکتشاف

فرض می‌شود که نرخ اکتشاف از ۰/۱۷ درصد به ۰/۲۵ درصد افزایش یابد؛ یعنی ۵۰٪ افزایش در نرخ اکتشاف داشته باشیم. با اعمال این سیاست، همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، تولید گاز از میزان ۳۳۳ میلیارد متر مکعب در سال پایانی مدل پایه، به ۳۶۲ میلیارد در سال ۱۴۰۴ در این پیش‌نوشته افزایش می‌یابد، ولی هنوز تا هدف سند چشم‌انداز در بخش تولید فاصله‌ای ۱۰۰ میلیارد متر مکعبی وجود دارد. همچنین صادرات گاز کشور نیز با افزایش ۵۰ درصدی نرخ اکتشاف، از ۲۲ میلیارد متر مکعب در سال پایانی شبیه‌سازی در مدل پایه به ۲۶ میلیارد متر مکعب در پیش‌نوشته‌ی اول می‌رسد. یعنی در صورت اتخاذ سیاست افزایش ۵۰ درصدی نرخ اکتشاف (به‌تنهایی) به هیچ‌کدام از اهداف سند در بخش تولید و صادرات نخواهیم رسید.

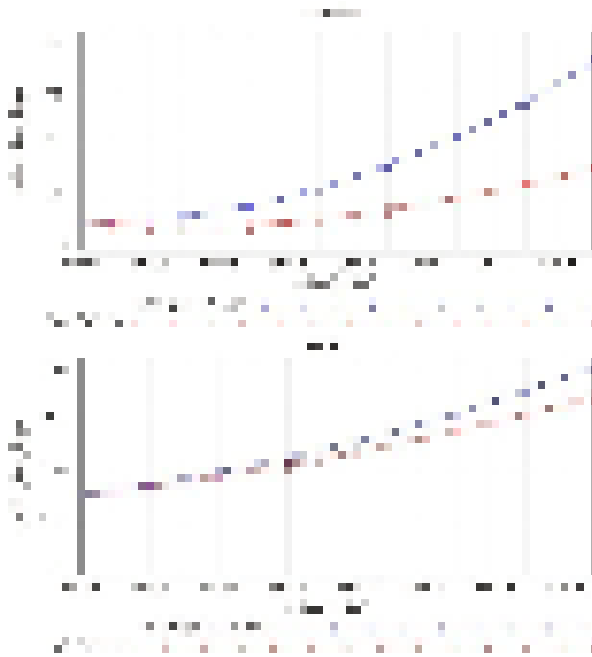


شکل ۷. روند تغییر متغیرها بر اساس افزایش ۵۰ درصدی در نرخ اکتشاف

منبع: یافته‌های تحقیق

۲.۲.۴- افزایش نرخ تولید

همان‌طور که از شکل ۸ پیداست، با فرض افزایش نرخ تولید از ۵/۵ درصد در سال به ۶/۶ درصد در سال (یعنی افزایش ۲۰ درصدی)، میزان تولید گاز طبیعی در پایان سال شبیه‌سازی در مدل پایه از ۳۳۱ میلیارد متر مکعب در مدل پایه به ۳۹۰ میلیارد متر مکعب در این پیش‌نویس خواهد رسید، همچنین با افزایش نرخ تولید صادرات گاز کشور نسبت به مدل پایه ۲/۵ برابر رشد پیدا می‌کند و از میزان ۲۲ میلیارد متر مکعب در سال ۱۴۰۴ در مدل پایه به ۵۲ میلیارد متر مکعب خواهد رسید، ولی هنوز این مقدار با هدف در نظر گرفته شده در سند چشم‌انداز برای رسیدن به ۱۰-۸ درصد از تجارت جهانی، فاصله‌ای به میزان ۷۰-۱۰۰ میلیارد متر مکعبی دارد. با این افزایش نرخ تولید واردات گاز کشور نیز کاهش می‌یابد و از رقم ۱۴ میلیارد متر مکعب در سال پایانی شبیه‌سازی در مدل پایه به زیر صفر خواهد رسید و بیانگر این مطلب بوده که دیگر وارداتی وجود نخواهد داشت و ایران صادرکننده محض گاز طبیعی خواهد شد.

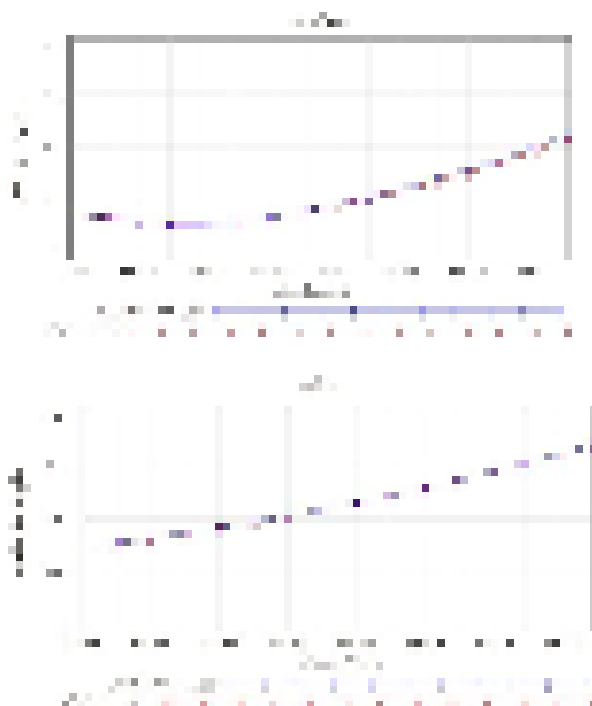


شکل ۸. روند تغییر متغیرها بر اساس افزایش ۲۰ درصدی در نرخ تولید

منبع: یافته‌های تحقیق

۳.۲.۴. پیشرفت تکنولوژیکی

فرض کنید که ضریب بازیافت مخازن گازی کشور (به عنوان عامل تکنولوژی) از ۰/۷ به ۰/۹ افزایش یابد. در اثر افزایش پیشرفت تکنولوژیکی، هزینه‌های اکتشاف به میزان ۹۰۰ میلیون دلار کاهش می‌یابد؛ یعنی از میزان ۴۲۰۰ میلیون دلار در سال ۱۴۰۴ در مدل پایه به میزان ۳۳۰۰ میلیون دلار کاهش می‌یابد. با کاهش هزینه‌های اکتشاف، بازگشت سرمایه به صنعت نیز افزایش می‌یابد، به طوری که از میزان ۴۰ درصد در مدل پایه در سال‌های انتهایی شبیه‌سازی به رقم ۵۱ درصد در این پیش‌نویس خواهد رسید. از شکل ۹ پیداست که صادرات گاز نیز به میزان ۸۰۰ میلیون متر مکعب افزایش می‌یابد و تولید تفاوت چندانی نخواهد کرد. در نتیجه با این پیش‌نویس نیز به تنهایی به اهداف چشم انداز دست نخواهیم یافت.



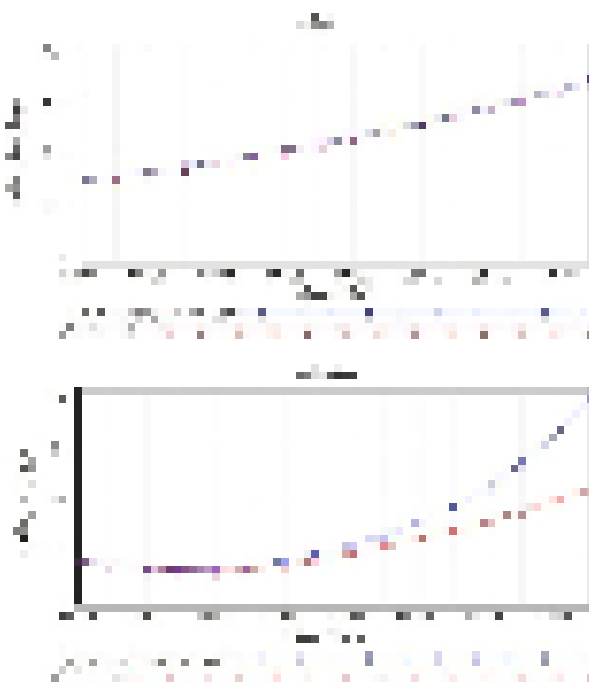
شکل ۹. روند تغییر متغیرها بر اساس افزایش ۳۰ درصدی در پیشرفت تکنولوژی

منبع: یافته‌های تحقیق

۴.۲.۴. تغییر در سهم دیگر سوخت‌ها در عرضه کل انرژی اولیه

منابعی که در عرضه کل انرژی اولیه تأثیر گذارند، منابع زغال سنگ، نفت، آب، تجدیدپذیر قابل احتراق و خورشیدی و بادی می باشند. در این پیش‌نویس فرض می‌شود که نرخ رشد کاهشی منابع زغال سنگ و نفت و منابع تجدیدپذیر ثابت مانده و نرخ رشد منابع آبی افزایش یابد، همچنین فرض شده است که نرخ رشد استفاده از منابع بادی برای گسترش تولید انرژی افزایش یابد.

با اجرای چنین سیاست‌هایی به تنهایی سهم گاز در سبد مصرف کشور همچنان ۷۵ درصد خواهد ماند؛ اما در پی کاهش مصرف گاز، صادرات گاز کشور افزایش یافته، از میزان ۲۲ میلیارد متر مکعب در سال پایانی شبیه‌سازی در مدل پایه، به ۳۹ میلیارد متر مکعب خواهد رسید و این در حالی است که واردات گاز با اعمال این سیاست به نزدیک صفر در سال ۱۴۰۴ خواهد رسید (شکل ۱۰).

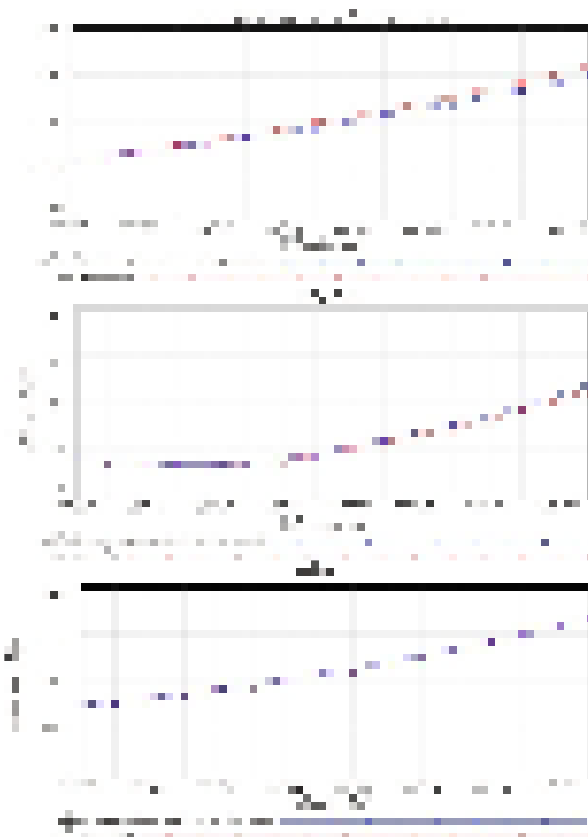


شکل ۱۰. روند تغییر متغیرها با فرض تغییر در سهم دیگر سوخت‌ها

منبع: یافته‌های تحقیق.

۵.۲.۴. کاهش نرخ رشد سهم مصرف گاز

با فرض اینکه نرخ رشد سهم مصرف گاز در بین فراورده‌های انرژی‌زا از ۰/۰۲ درصد به ۰/۰۱۸ درصد در سال کاهش یابد، شاهد تغییرات زیر خواهیم بود (شکل ۱۱): سهم مصرف گاز در بین فراورده‌های دیگر از ۷۶ درصد در سال ۱۴۰۴ در مدل پایه به نزدیک ۷۵ درصد در سال انتهایی شبیه‌سازی در این پیش‌نوشته خواهد رسید، در پی کاهش مصرف، صادرات گاز ۲ میلیارد متر مکعب رشد پیدا کرده و به رقم ۲۴ میلیارد در سال ۱۴۰۴ در این پیش‌نوشته می‌رسد و واردات گاز نیز با کاهش ۱ میلیارد متر مکعبی در سال ۱۴۰۴ با اعمال این سیاست به ۱۳ میلیارد متر مکعب کاهش خواهد یافت.



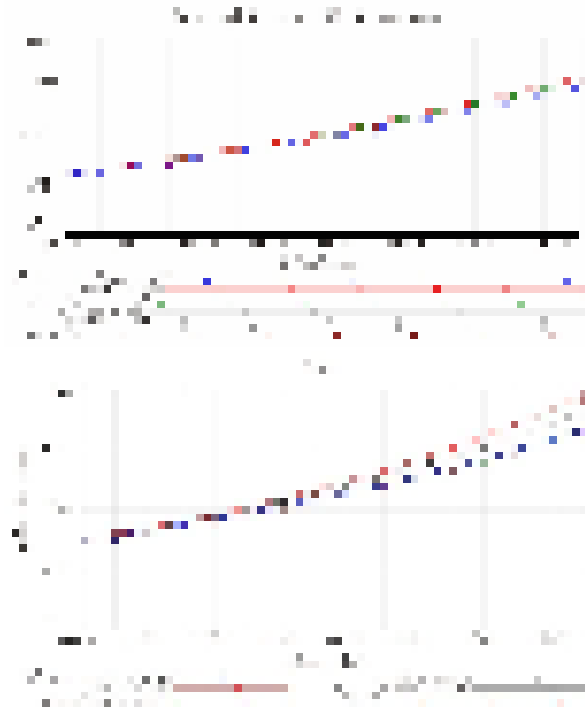
شکل ۱۱. روند تغییر متغیرها بر اساس کاهش نرخ رشد سهم مصرف گاز

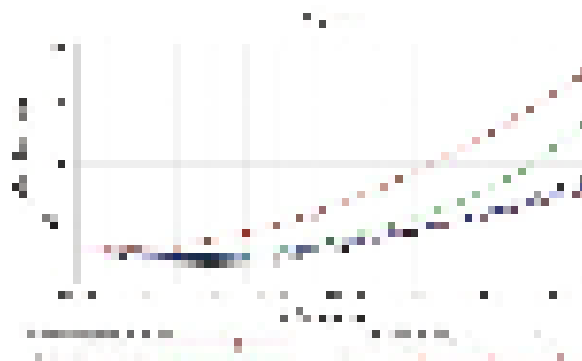
منبع: یافته‌های تحقیق.

مقایسه پیش‌نوشته‌ها

با توجه به زیاد بودن تعداد متغیرها، در اینجا تنها به مقایسه روند سه متغیر تولید، صادرات و سهم گاز در مصرف (اهداف سند چشم‌انداز در بخش گاز) توجه شده است.

همان‌طور که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، با اعمال هر یک از پیش‌نوشته‌ها به‌تنهایی، به هدف چشم‌انداز در بخش گاز - که همانا دسترسی به جایگاه سوم تولید گاز جهان طبق محاسبات تحقیق تولید ۴۶۰ میلیارد متر مکعب در سال ۱۴۰۴ است - دست نخواهیم یافت، همچنین هر یک از این پیش‌نوشته‌ها نیز به‌تنهایی ما را به هدف ۸-۱۰ درصدی تجارت جهانی (طبق محاسبات تحقیق ۱۲۰-۱۵۰ میلیارد متر مکعب برآورد شده است) نخواهد رساند؛ اما با توجه به روند فعلی مصرف و اعمال هر کدام از سیاست‌ها، سهم ۷۵ درصدی در مصرف برای ایران بدون در نظر گرفتن پیش‌نوشته‌ها حاصل خواهد شد، بنابراین برای تحقق احتمالی کلیه اهداف مذکور شده، پیش‌نوشته‌ی ششم طراحی شده است.

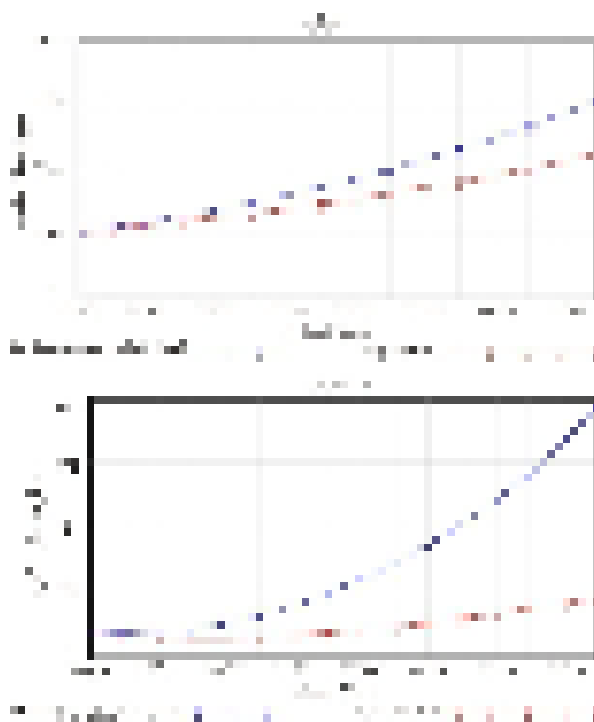




شکل ۱۲. مقایسه‌ی پیش‌نوشته‌ها

منبع: یافته‌های تحقیق

۶.۲.۴. افزایش پیشرفت‌های تکنولوژیکی، افزایش سهم دیگر سوخت‌ها در عرضه انرژی اولیه، افزایش نرخ تولید، افزایش نرخ اکتشاف، کاهش نرخ رشد گاز در مصرف در صورتی که کلیه سیاست‌های پیشنهادی قبلی به طور همزمان اجرا شود، تولید گاز طبیعی کشور از ۳۳۰ میلیارد متر مکعب در سال پایانی شبیه‌سازی در مدل پایه به ۴۵۸ میلیارد افزایش خواهد یافت. بر اساس محاسبات صورت گرفته پیشین، جایگاه سومی تولید گاز طبیعی در جهان در سال ۱۴۰۴ برای ایران رقم خواهد خورد، همچنین صادرات گاز طبیعی به اندازه ۷۵ میلیارد متر مکعب افزایش می‌یابد و به عدد ۹۷ میلیارد متر مکعب خواهد رسید؛ البته این عدد هنوز با سهم در نظر گرفته شده برای ایران فاصله‌ای به اندازه ۳۰-۶۰ میلیارد متر مکعبی دارد؛ اما امکان دارد با همین صادرات نیز کشور ایران سهمی به اندازه ۸ درصد از تجارت جهانی را کسب نماید، چون در سال ۱۴۰۴ با توجه به اینکه منابع گازی اکثر کشورها رو به اتمام بوده و متوسط جهانی منابع گازی ۶۰ سال است، این امکان وجود دارد که ایران ۸ درصد از تجارت جهانی گاز طبیعی را در اختیار داشته باشد و بر اساس این پیش‌نوشته در ۱۵ سال آینده، ایران هم یکی از غنی‌ترین کشورهای دارای گاز طبیعی و هم صادرکننده تأثیرگذاری در صحنه جهانی خواهد بود.



شکل ۱۳. روند تغییر متغیرها بر اساس پیش‌نویس نوشته ششم

منبع: یافته‌های تحقیق

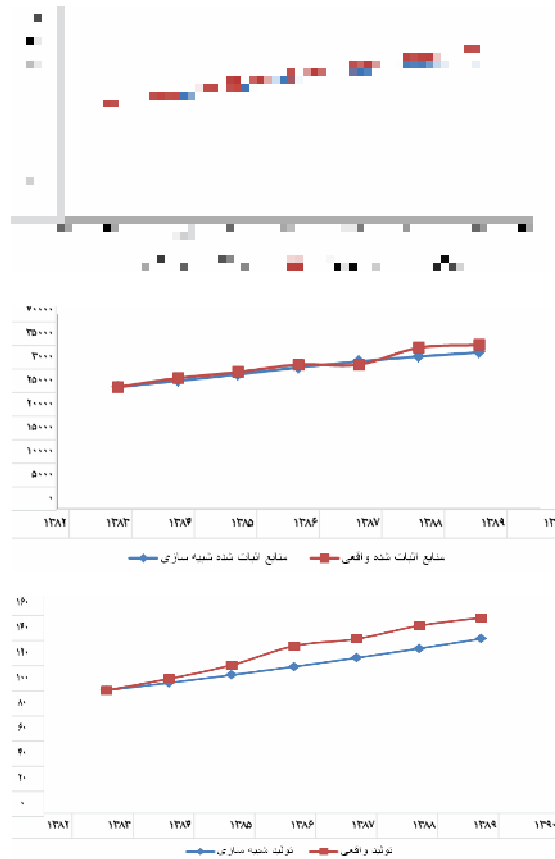
۵. اعتبار سنجی

یکی از مراحل مهم مدل‌سازی، اعتبار و ایجاد اطمینان نسبت به درستی و سودمندی یک مدل است. تنها در صورتی می‌توان از مدل ایجاد شده در جهان واقعی استفاده نمود که نسبت به اعتبار آن اطمینان حاصل کنیم. برای بررسی اعتبار مدل آزمون‌های متفاوتی وجود دارد (استرمن^۱، ۲۰۰۰) در مقاله حاضر برای بررسی اعتبار مدل، از آزمون بازتولید رفتار و وارد ساختن تکانه^۲ به متغیرها به عنوان قوی‌ترین و مورد اتکاترین آزمون‌ها استفاده شده است.

1. Sterman (2000)

2. Shock

برای بررسی آزمون بازتولید رفتار از روش مقایسه نموداری استفاده شده است. در مقایسه نموداری روند تغییر متغیر با استفاده از داده‌های جهان واقعی و داده‌های حاصل از شبیه‌سازی در یک نمودار نشان داده می‌شود. در شکل ۱۴ متغیرهای منابع اثبات‌شده، تولید، سهم گاز در عرضه کل انرژی برای آزمون اعتبارسنجی طی سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۹ انتخاب شده است. برای این منظور ابتدا در مدل طراحی شده، داده‌های مربوط به سال ۱۳۸۳ قرار داده شد و شبیه‌سازی برای سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸۹ صورت پذیرفت، سپس مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر واقعی متغیرها در سال‌های مورد نظر در یک شکل رسم شد. شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان‌دهنده نتایج اعتبارسنجی متغیرهای مورد نظر است.



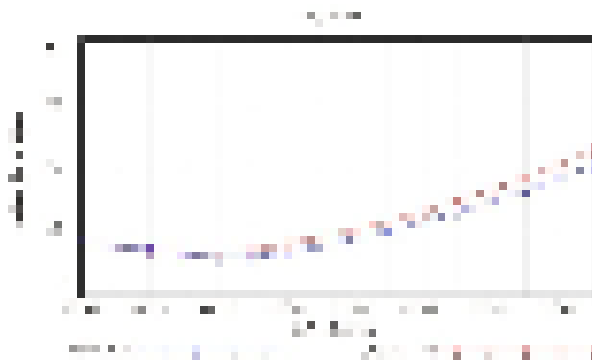
شکل ۱۴. اعتبارسنجی مدل (آزمون بازتولید رفتار)

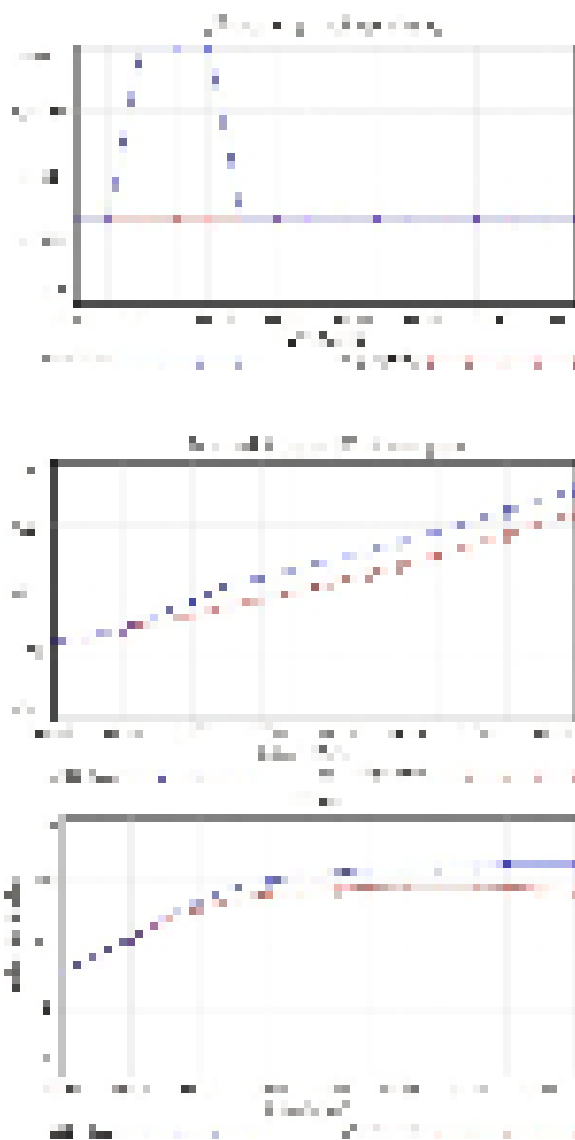
منبع: یافته‌های تحقیق

همچنین از دیگر آزمون‌ها برای بررسی اعتبار مدل می‌توان به وارد کردن تکانه به متغیرها اشاره نمود. در این حالت با وارد کردن تکانه به برخی از متغیرها می‌توان تاثیر آن را بر رفتار سیستم و متغیرهای دیگر مشاهده و این رفتار را با آنچه انتظار می‌رفت رخ دهد، مقایسه نمود.

فرض کنیم نرخ رشد نرمال سهم مصرف گاز در سال ۱۳۹۱ با یک جهش از ۰/۰۲ به ۰/۰۴ روبرو بوده، و این روند تا سال ۱۳۹۳ ادامه یافته (به عبارتی تاثیر شوک ۲ سال دوام داشته باشد) و پس از آن دوباره در سال ۱۳۹۴ به میزان ۰/۰۲ برسد، در این حالت انتظار می‌رود که سهم مصرف گاز در بین فراورده‌های دیگر افزایش و در پی آن مصرف روندی افزایشی داشته باشد و در نتیجه این تغییرات صادرات کاهش و واردات افزایش یابد. در شکل ۱۵ تاثیر تکانه بر نرخ رشد نرمال مصرف گاز نشان داده شده است؛ همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در نتیجه وارد ساختن تکانه به نرخ رشد نرمال مصرف گاز، متغیر سهم مصرف گاز در بین فراورده‌ها در سال ۱۳۹۱ تغییر شیب داده و شیب آن افزایش می‌یابد، سپس این روند تا سال ۱۳۹۳ ادامه پیدا می‌کند و پس از آن همزمان با از بین رفتن اثر تکانه، متغیر با شیب قبلی ولی در سطحی بالاتر به روند خود ادامه می‌دهد و در سال پایانی شبیه سازی مقدار این متغیر به ۰/۷۷ می‌رسد. انتظار می‌رود که در نتیجه افزایش نرخ رشد نرمال مصرف گاز، صادرات کاهش و واردات افزایش یابد. صادرات گاز در سال ۱۴۰۴ در حالت وارد نمودن تکانه نسبت به مدل پایه، ۲ میلیارد متر مکعب کاهش می‌یابد و به میزان ۲۰ میلیارد متر مکعب می‌رسد. همچنین واردات گاز نیز با افزایشی ۲ میلیارد متر مکعبی نسبت به مدل پایه به میزان ۱۶ میلیارد متر مکعب خواهد رسید.

همان‌طور که از نتایج قسمت بالا مشاهده شد، نتایج انتظارات در صورت وقوع تکانه، با مقادیر تحقق یافته تطابق دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اعتبار مدل مورد تایید است.





نمودار ۱۰. اعتبارسنجی مدل (آزمون وارد ساختن تکانه به متغیرها)

منبع: یافته‌های تحقیق.

۶. نتیجه‌گیری

مقاله حاضر با بهره‌گیری از نگرش سیستمی به دنبال تدوین مدلی برای صنعت گاز ایران بود. برای رسیدن به این هدف، پس از طراحی یک مدل دینامیکی و با شبیه‌سازی رفتار آن به بررسی وضعیت آینده این صنعت با توجه به شرایط کنونی پرداخته شد. سرانجام با پیش‌نویس‌های مختلف، سیاست‌های متفاوتی طراحی شد تا به درک بهتری از شرایط لازم برای دستیابی به اهداف این صنعت در سال ۱۴۰۴ برسیم. نتایج حاصل از حل مدل پایه نشان داد که با ادامه روند فعلی و در صورت ایجاد نشدن تغییرات اساسی در سیاست‌های دولت، به هیچ‌کدام از اهداف اساسی سند چشم‌انداز نخواهیم رسید، همچنین نتایج پیش‌نویس‌های مختلف نشان داد که اجرای مجزای هر کدام از سیاست‌های افزایش نرخ اکتشاف، نرخ تولید، پیشرفت فنی، افزایش سهم دیگر سوخت‌ها در عرضه انرژی اولیه و کاهش نرخ رشد سهم مصرف گاز، ما را به اهداف سند چشم‌انداز نخواهد رساند، اما اعمال همزمان این سیاست‌ها وضعیت را تا حدود بسیار زیادی بهبود خواهد بخشید. بنابراین برای دستیابی به اهداف صنعت گاز لازم است تا در زیرسیستم‌ها هماهنگی و تناسب وجود داشته باشد، همچنین بایستی علاوه بر اصلاح الگوی مصرف، پیشرفت‌های تکنولوژیکی صورت گرفته است. نرخ تولید و سهم انرژی‌های پاک افزایش یابد.

در نهایت باید توجه داشت که اگرچه در دنیای مجازی می‌توان شرایط را به راحتی تغییر داد و به اهداف موردنظر دست یافت، اما اعمال این تغییرات در دنیای واقعی به دلیل تاثیر عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی و... چندان آسان نبوده و با محدودیت‌هایی همراه می‌باشد، لذا چنین به نظر می‌رسد که با توجه به شرایطی که در پیش‌نویس ششم برای تحقق هدف سومی در تولید گاز جهان و در اختیار داشتن ۸-۱۰ درصد از تجارت جهانی مطرح شده است، دستیابی به این اهداف در سال ۱۴۰۴ کار بسیار دشواری باشد.

منابع و مآخذ

استرمن، جان، د (۱۳۸۷)، "پویایی‌شناسی سیستم"، ترجمه شهرام میرزایی‌دریانی، احمد اصل‌زاده، کیوان شاهقلیان، علیرضا سلوک‌دار و علیرضا زنده‌بافنده، *تشریحات ترمه* (۲۰۰۰)، صص ۳۵۲-۱.

اشراق‌نای جهرمی، عبدالحمید، و روح‌الله ایقانی‌یزدلی (۱۳۸۷)، "مدل‌سازی مصرف گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی و بررسی امکان جانشینی گاز طبیعی به جای فرآورده‌های نفتی در ایران"، *مجله علمی*

پژوهشی شریف، شماره ۴۵، صص ۶۵-۷۵.

پورمعصومی، سعید، علینقی مشایخی، نادر شتاب‌بوشهری و بهروز ارباب‌شیرانی (۱۳۸۹)، "یک مدل دینامیک سیستم برای تجزیه و تحلیل سیستم اقتصاد- انرژی ایران"، *مجله مهندسی صنایع و مدیریت شریف*، دوره ۲۶، صص ۷۱-۸۷.

ترازنامه انرژی ۱۳۸۹، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.

ترازنامه هیدروکربوری ۱۳۸۷، گروه مدیریت انرژی، موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، تهران.

خالقی، شهلا (۱۳۸۰)، "بهبودسازی مصرف گاز طبیعی"، سومین همایش ملی انرژی.

سوشیل (۱۳۸۷). "پویایی‌های سیستم: رویکردی کاربردی برای مسائل مدیریتی"، ابراهیم تیموری،

ترجمه علیرضا نورعلی و نریمان ولی‌زاده، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت (۱۹۹۳)، صص ۱-۴۵۰.

شرافت جهرمی، محمدناصر و رسام مشرفی (۱۳۹۰)، "شیبه‌سازی تولید گاز از میدین مستقل ایران با

استفاده از تئوری هوبرت: یک مدل پویای سیستمی"، *مطالعات اقتصاد انرژی*، شماره ۳۰، صص ۶۳-۹۵.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. گزارش شماره ۶۷۲۰، مرداد ماه ۱۳۸۲.

Bassi, A(2006), "Modeling U.S. Energy with Threshold 21", *Proceedings of the 24th the International Conference of System Dynamics Society, Nijmegen*.

Bodger, S., May, D.G.(1992), "A System Dynamics Energy Model of New Zealand", *Technological Forecasting and Social Changes*, 41, pp 97-106.

Carlo, Comaschi., Enzo, Di Giulio., Eleonora, Sormani(2009), "Natural Gas Demand and Supply in Italy". <http://www.globalcitizen.net/Data/Pages/2376/Papers/20090902123245579.pdf>

Chi, K.C., Nuttall, W.J., Reiner, D.M.(2008), "Dynamics of the UK Natural Gas Industry: System Dynamics Modelling and Long-Term Energy Policy Analysis", *Technological Forecasting & Social Change*, 76 pp 339-357.

Chowdhury, S., Shau, K.C.(1992), "A System Dynamics Model for the Indian Oil and Gas Exploration Industry", *Technological Forecasting and Social Changes*, 42, pp. 63-83.

Forrester, J.W.(1961). "Industrial Dynamics", Waltham, Pegasus communications

Kiani, B, Pour Fakhraei, M(2010), "A System Dynamic Model for Production and Consumption Policy in Iran Oil and Gas Sector", *Energy Policy*, 38, pp. 7764-7774.

Kirkwood, C.(1988). "System Dynamics Method: A Quick Introduction. Arizona State University.

Lebel J.(1981), *System Dynamics, Dynamica*, 7, Part1.

McIntyre, J., Pradhan, M.(2003). "A Systemic Approach to Addressing the Complexity of Energy Problems", *Systemic Practice and Action Research*, Vol. 16,

pp. 213-223.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J.(1972). "The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind", *Universe Books and Potomac Associates, New York*.

Nail R.(1970), "The Discovery Life Cycle of a Finite Resource: A Case Study of U.S. Natural Gas", *Toward Global Equilibrium: Collected Papers/book auth. Meadows D.L., Cambridge: MIT Press*.

Nail R.F.(1992), "A System Dynamics Model for National Energy Policy Planning", *System Dynamics Review*, 8: 1-19.

Olaya, Y., Dyer, I.(2005), "Modelling for Policy Analysis in the Natural Gas Industry", *Journal of the Operational Research Society*, 10 pp. 1122-1131.

Richardson, P., Pugh, A.(1981), "Introduction to System Dynamics Modeling with Dynamo", *Productivity Press, Cambridge, Massachusetts*.

Sterman, J. D., Richardson, G. P., Davidsen, P. I.(1988), "Modeling the Estimation of Petroleum Resources in the United States", *Technological Forecasting & Social Change*, 33, pp. 219-249.

Sterman, J.D.(1981), "The Energy Transition and the Economy: A System Dynamics Approach", Cambridge: MIT, *Sloan School of Management, Ph.D. Dissertation*.

Sterman, J.D.(2000), "Business Dynamics ,Systems Thinking and Modeling for Complex World", *McGraw-Hill, New jersey*.

پیوست:

جدول ۱. متغیرهای به کاررفته در مدل و نوع آنها

متغیر	نماد	زبسیستم	نوع متغیرها و توابع	واحد اندازه‌گیری
منابع اثبات‌شده	PR	اکتشاف	سطح	میلیارد متر مکعب
منابع کشف‌نشده	UPR	اکتشاف	سطح	میلیارد متر مکعب
نرخ اکتشاف	DR	اکتشاف	جریان (نرخ) تابع تأخیر	—
کسری از منابع اثبات‌نشده باقی‌مانده	FURR	اکتشاف	کمکی	—
هزینه اکتشاف	COE	اکتشاف	کمکی، تابع نمایی	میلیون دلار
سرمایه‌گذاری اکتشاف	IE	اکتشاف	کمکی	میلیون دلار
شاخص نرخ اکتشاف	IDR	اکتشاف	کمکی	—
تکنولوژی	TECH	اکتشاف، تولید	ثابت	—
مقدار اولیه منابع کشف‌نشده	IUPR	اکتشاف	ثابت	میلیارد متر مکعب
هزینه تولید	PC	تولید	کمکی، تابع نمایی	میلیون دلار
مقدار اولیه هزینه تولید	IPC	تولید	ثابت	میلیون دلار
هزینه کل	TOTC	تولید، اکتشاف	کمکی	میلیون دلار
نسبت منابع - تولید	RPR	تولید	کمکی	—
بازگشت سرمایه به صنعت	ROI	اکتشاف، تولید	کمکی	درصد
صادرات	EX	تولید	کمکی	میلیارد متر مکعب
واردات	IM	تولید	کمکی	میلیارد متر مکعب
خالص صادرات	NX	تولید	کمکی	میلیارد متر مکعب
تولید	PRO	تولید	سطح	میلیارد متر مکعب
نرخ رشد تولید	PRO gr	تولید	جریان (نرخ)	—
مصرف	CR	تولید	جریان (نرخ)	میلیارد متر مکعب
نسبت منابع - تقاضا	RDR	تقاضا	کمکی	سال
تقاضای گاز طبیعی	NGD	تقاضا	کمکی	میلیارد متر مکعب
عرضه کل انرژی اولیه	TPED	تقاضا	سطح	میلیارد متر مکعب
نرخ رشد عرضه کل انرژی	TPED gr	تقاضا	جریان (نرخ)	—
سهم گاز از عرضه انرژی اولیه	GSTPED	تقاضا	کمکی	درصد
سهم ذغال سنگ	COAL	تقاضا	سطح	درصد
سهم نفت	OIL	تقاضا	سطح	درصد
سهم آب	WATER	تقاضا	سطح	درصد
سهم منابع	RER	تقاضا	سطح	درصد
سهم باد	WIND	تقاضا	ثابت	درصد
نرخ رشد ذغال سنگ	COAL gr	تقاضا	نرخ	—
نرخ رشد نفت	OIL gr	تقاضا	نرخ	—
نرخ رشد منابع	RER gr	تقاضا	نرخ	—
عامل قیمت	P factor	تقاضا	ثابت	ریال / متر مکعب
درآمد فروش	SR	تولید و مصرف	کمکی	میلیارد ریال
سهم گاز از مصرف کل فرآورده‌های نفتی	SHGC	تقاضا	سطح	درصد
نرخ رشد سهم گاز در مصرف	gr SHGC	تقاضا	نرخ	—
تزیق	INJ	تولید و مصرف	کمکی	میلیارد متر مکعب
هزینه اولیه تولید	IPC	تولید و مصرف	ثابت	میلیارد ریال
نرخ رشد نرمال سهم گاز در مصرف	N gr	تولید و مصرف	ثابت	—
نرخ رشد منابع آبی	WATER gr	تقاضا	نرخ	—

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۲. داده‌های مورد استفاده همراه با منبع آماری آنها

نام متغیر	مقدار اولیه و ضرایب	منبع آماری	توضیحات
منابع اثبات‌شده	۳۳۰۹۰	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
منابع کشف‌نشده	۵۰۵۲۰	ترازنامه هیدروکربوری ۱۳۸۷	-----
تکنولوژی	٪۷۱۸۲	-----	ضریب بازیافت از مخازن گازی کشور به عنوان عامل تکنولوژی در نظر گرفته شده است.
هزینه اولیه اکتشاف	۱۷۴۴	قریشی و رحیمی (۱۳۸۶)	-----
مصرف	۰/۰۰۴۲ و -۵۶/۵۰	محاسبات تحقیق	NGD*SHGC+(-56.507+0.004277*PR
تولید	۱۴۸/۱۳۸	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد تولید	۰/۰۵۵	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
صادرات	٪۴۸ و ٪۵۲۵	محاسبات تحقیق	0.525*PRO-0.4814*CR
واردات	٪۳۳ - ٪۴۰	محاسبات تحقیق	0.4027*CR-0.3393*PRO
عرضه کل انرژی اولیه	۲۵۳/۴۹۲	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد عرضه انرژی اولیه	۰/۰۴	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
سهم زغال سنگ در عرضه انرژی	۰/۰۰۲	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد سهم زغال سنگ	۰/۰۰۴۷	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
سهم نفت در عرضه انرژی	٪۶۳۶۱	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد سهم نفت	۰/۰۰۳	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
سهم منابع آبی در عرضه انرژی	۰/۰۰۲۲	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد سهم منابع آبی	٪۱۲	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
سهم منابع تجدیدپذیر در عرضه انرژی	۰/۰۲۲	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد سهم منابع تجدیدپذیر	٪۴	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
سهم منابع بادی و خورشیدی در عرضه انرژی	٪۰۰۰۰۶۴	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
نرخ رشد شمال سهم گاز در مصرف	٪۲	محاسبات تحقیق	میانگین نرخ رشد سالهای ۱۳۸۳-۱۳۸۹ در نظر گرفته شده است
سهم مصرف گاز از کل مصرف	٪۶۶	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	-----
توزیع به میادین نفتی	٪۲۲	محاسبات تحقیق	0.22*CR
سرمایه‌گذاری در اکتشاف	٪۶۸ و ٪۹۹ و -۱/۴ و ٪۰۰۵	محاسبات تحقیق	(0.0686*LN(ROI))*(-0.99*LN(RDR)-1.4)*COE0. 005*SR
هزینه اکتشاف	۳/۷۳ و -۱/۵۳	نیل ۱۹۷۰	EXP((3.73-1.53*(LN(10*FURR))))*(1/TECH)*I COE
هزینه کل	۲۶۸۸۶	قریشی و رحیمی (۱۳۸۶)	میلیون ریال
هزینه اولیه تولید	۲۵۱۴۲	(قریشی و رحیمی ۱۳۸۶)	میلیون ریال
قیمت گاز	۵۲۷	ترازنامه انرژی ۱۳۸۹	ریال

منبع: محاسبات تحقیق