بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده: مهندسی صنایع و مدیریت

رشته اقتصاد گرایش برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تبیین روابط علّی- معلولی سیستم جامع انرژی ایران

رویکرد سیستم‌های پویا

نگارنده:

منیره زمانی‌فر

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی مولایی

استاد مشاور:

دکتر حسین رضایی

آبان ۱۳۹۵

شماره: ۳-۹۵-۵۲۲۳
تاریخ: ۱۳۹۵/۰۸/۲۷
ویرایش:

دانشگاه شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

فرم شماره ۶: صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای **منیره زمانی فر** به شماره دانشجویی **۹۳۰۸۹۴۴** رشته **برنامه ریزی سیستمهای اقتصادی** تحت عنوان تبیین روابط علی سیستم جامع انرژی ایران با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه : عالی امتیاز ۱۹٫۲۵) دفاع مجدد ☐ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استادراهنمای اول	دکتر مولایی	دانشیار	
۲- استادراهنمای دوم			
۳- استاد مشاور	دکتر رضایی		
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مزینانی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر بهبهانی	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر دلقندی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

دانشگاه شاهرود
دانشکده مهندسی مدیریت

تقدیم به

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت‌نامه دلم،

مـــــــــــــادرم مهربانم که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می-دانم.

پـــــــــــــــدرم، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

همســـــــــــــــرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

بـــــــــرادرم همراه همیشگی و پشتوانه‌ی زندگیم.

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خداوندی را سزاست که کسوت هستی را بر اندام موزون آفرینش بپوشانید و تجلیات قدرت لایتزالی را در مظاهر و آثار طبیعت نمایان گردانید.

بار الها!

من با یاد تو، به تو تقرّب می‌جویم و تورا به پیشگاه تو شفیع می‌آورم و از تو خواستارم، به کرمت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام وا داری.

"من لم یشکرالمخلوق لم یشکر الخالق". بر خود لازم می‌دانم از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایان‌نامه یارس نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص از استاد فرزانهجناب آقای دکتر **محمدعلی مولائی** (استاد راهنما) که در کلیه مراحل انجام این پژوهش با خوشروئی، یاری و راهنمائی‌ام نمودند و همچنین از استاد فرهیخته جناب آقای دکتر **حسین رضایی** (استاد مشاور) که وقت خود را بی-شائبه در اختیار من گذاشته و با دقت نظر خاصی مشاوره لازم در این خصوص ارائه نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در پایان از دوستان گرامی خانم‌ها **"ساناز جورابلو"** و **"فاطمه ایروانی"** که مرا در این راه پر مشقت همراهی نمودند، کمال تشکر را دارم.

منیره زمانی‌فر

پاییز۹۵

تعهد نامه

اینجانب منیره زمانی‌فر دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **برنامه‌ریزی سیستم‌های اقتصادی** دانشکده **مهندسی صنایع و مدیریت** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **تبیین روابط علّی-معلولی سیستم جامع انرژی ایران رویکرد سیستم‌های پویا** تحت راهنمایی دکتر محمدعلی مولایی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahroud University of Technology**» به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج ازپایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافته‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده استاصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد

چکیده

مطالعه پیش رو روابط علّی– معلولی سیستم جامع انرژی ایران را با رویکرد پویایی سیستمی تبیین نموده است. هدف از اجرای این تحقیق دستیابی به مدل‌ها و عوامل اثرگذار بر این بخش بوده است تا با استفاده از ویژگی‌های مثبت رویکرد پویایی سیستمی به صورت همه‌جانبه‌تری در بخش انرژی کشور به تصمیم‌گیری پرداخت. جامعه مورد بررسی این تحقیق انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل نفت و گاز و انرژی‌های تجدیدپذیر شامل الکتریسیته، انرژی خورشیدی، برقآبی و بادی می‌باشند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از ۹۲-۱۳۷۰ گردآوری و در نمودارهای مربوطه بیان شدند. با مرور مدل‌های مرجع انرژی، تحقیق و مطالعات پیشین، تعداد ۸۸ متغیر در رابطه با کنش‌ها و واکنش‌های موجود میان متغیرهای انرژی و زیربخش‌های آن در راستای اهداف پژوهش برآورد شدند. اثرات این متغیرها بر یکدیگر در فضای نرم‌افزار ونسیم با روابط علّی در چهار نمودار جداگانه «عرضه و تقاضا، امنیت انرژی، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های فسیلی و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر» ترسیم شدند. طبق نتایج تحقیق بهای ارزان انرژی پدیده‌هایی مانند تشویق استفاده ناکارا و زیاد از منابع انرژی‌بر، استفاده از مازاد درآمد انرژی، منفعت‌رسانی به گروه‌های ثروتمند، وارد آمدن آثار مخرب زیست‌محیطی، کاهش توسعه انرژی‌های جایگزین تجدیدپذیر، عدم ذخیره انرژی و سرمایه‌گذاری مکفی برای تولید جهت انطباق با تقاضای فزاینده و واردات بنزین به دلیل مصرف بالا را ایجاد نموده است. در این تحقیق استفاده از اهرم قیمت تعادلی به عنوان یکی از راه‌های جلوگیری از اتمام زودهنگام ذخایر و حفظ آنها برای سالیان بیشتر معرفی می‌شود. با آزادسازی بهای انرژی تعدیل تقاضا رخ می‌دهد و منافع حاصل از آن منجر به سودآوری بخش انرژی، تأمین منابع و درآمدهای مورد نیاز برای تحقیق و توسعه سرمایه-گذاری در این بخش در جهت توسعه فعالیت‌های صرفه‌جویی‌کننده در مصرف انرژی، افزایش ذخایر موجود برای صادرات و در نتیجه افزایش درآمدهای صادراتی خواهد شد. با سرمایه‌گذاری در بخش انرژی، ظرفیت تولید منابع در دسترس افزایش می‌یابد و می‌توان بر مقدار عرضه افزود. البته با تولید از

منابع، مجدداً از مقدار آنها کاسته می‌شود و نیاز به تزریق نفت و گاز و انجام سایر روش‌های ازدیاد برداشت بروز می‌کند.

کلمات کلیدی:

نفت، گاز، برق، انرژی تجدیدپذیر، پویایی سیستمی، روابط علّی- معلولی، سرمایه‌گذاری، اقتصاد مقاومتی، صادرات و واردات انرژی، امنیت انرژی.

طبقه‌بندی JEL:

Q20, Q21, Q31, Q40, Q41, Q42, Q48, Q5

فهرست مطالب

فصل اول- کلیات تحقیق ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- طرح تحقیق و بیان مسئله ۴

۱-۳- ضرورت و اهمیت تحقیق ۵

۱-۴- سوال تحقیق ۷

۱-۵- اهداف تحقیق ۷

۱-۶- نوآوری تحقیق ۷

۱-۷- روش تحقیق ۸

۱-۸- روند تدوین پایان‌نامه ۹

فصل دوم- ادبیات پژوهش ۱۱

۲-۱- ادبیات موضوع ۱۲

۲-۱-۱- مقدمه ۱۲

۲-۱-۲- روند شاخص‌های عمده اقتصاد انرژی ۱۳

۲-۱-۸- حامل‌های انرژی ۱۹

۲-۱-۸-۱- نفت ۲۰

۲-۱-۸-۱-۱- میادین و ذخایر نفت خام ۲۰

۲-۱-۸-۱-۲- اکتشاف ۲۰

۲-۱-۸-۱-۳- حفاری ۲۱

۲-۱-۸-۱-۴- ازدیاد برداشت نفت ۲۱

۲-۱-۸-۱-۵- تولید، واردات و صادرات نفت خام ۲۱

۲-۱-۸-۱-۶- تولید، صادرات و مصارف مایعات و میعانات گازی ۲۲

۲-۱-۸-۱-۷- انتقال نفت خام ۲۲
۲-۱-۸-۱-۸-پالایش نفت و تولید فرآورده‌های نفتی ۲۳
۲-۱-۸-۱-۹- واردات و صادرات فرآورده‌های نفتی ۲۳
۲-۱-۸-۱-۱۰-انتقال فرآورده‌های نفتی ۲۴
۲-۱-۸-۱-۱۱- مخازن نگهداری نفت خام و فرآورده‌های نفتی ۲۵
۲-۱-۸-۱-۱۲- مصرف فرآورده‌های نفتی ۲۵
۲-۱-۸-۱-۱۳- قیمت نفت‌خام و فرآورده‌های نفتی ۲۷
۲-۱-۸-۲- گازطبیعی ۲۸
۲-۱-۸-۲-۱- میادین و ذخایر گاز طبیعی ۲۸
۲-۱-۸-۲-۲-تولید گاز غنی ۲۹
۲-۱-۸-۲-۳- تولید گوگرد ۲۹
۲-۱-۸-۲-۴- تزریق گاز و آب به میادین نفتی ۲۹
۲-۱-۸-۲-۵-پالایش گاز طبیعی ۳۰
۲-۱-۸-۲-۶- انتقال گاز طبیعی ۳۱
۲-۱-۸-۲-۷- ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی ۳۱
۲-۱-۸-۲-۸- صادرات و واردات گاز طبیعی ۳۲
۲-۱-۸-۲-۹- مصرف گاز طبیعی ۳۴
۲-۱-۸-۲-۱۰- قیمت گازطبیعی ۳۵
۲-۱-۸-۳- برق ۳۵
۲-۱-۸-۳-۱- ظرفیت اسمی و عملی نیروگاه‌ها ۳۵
۲-۱-۸-۳-۲- راندمان نیروگاه‌ها ۳۶
۲-۱-۸-۳-۳- تولید انرژی الکتریکی ۳۷
۲-۱-۸-۳-۴- سوخت مصرفی نیروگاه‌ها ۳۷

۲-۱-۸-۳-۵- مصرف داخلی و تلفات ۳۸

۲-۱-۸-۳-۶- شبکه‌های انتقال و توزیع..... ۳۸

۲-۱-۸-۳-۷- پست‌های انتقال و توزیع ۳۸

۲-۱-۸-۳-۸- مبادلات انرژی الکتریکی..... ۳۸

۲-۱-۸-۳-۹- مصرف برق ۳۹

۲-۱-۸-۳-۱۰- قیمت برق..... ۳۹

۲-۱-۸-۳-۱۱- خصوصی‌سازی در صنعت برق..... ۴۰

۲-۱-۸-۴- انرژی‌های تجدیدپذیر ۴۰

۲-۱-۸-۴-۱- خرید تضمینی برق از منابع تجدیدپذیر ۴۱

۲-۲- سوابق تحقیق..... ۴۱

فصل سوم- روش تحقیق ۵۱

۳-۱- مقدمه ۵۲

۳-۲- مروری بر مدل‌های انرژی..... ۵۳

۳-۳- چرا پویایی‌شناسی سیستمی؟ ۵۸

۳-۴- تعریف سیستم و روش سیستم‌های پویا ۶۱

۳-۵- ابزارهای تفکر سیستمی..... ۶۲

۳-۱۰- مدل‌های مرجع ۶۵

۳-۱۰-۱- مدل انرژی برای اکتشاف و تقاضای گاز طبیعی ۶۶

۳-۱۰-۲- مدل FOSSIL2 ..... ۶۷

۳-۱۱- دورنمای مدلسازی منابع انرژی ۷۵

۳-۱۱-۱- مدل COAL2 ..... ۷۵

۳-۱۱-۱-۲- بخش نفت و گاز ۸۰

۳-۱۱-۱-۳- زغالسنگ ۸۲
۳-۱۲- مواد و روش‌ها ۸۳
فصل چهارم- تبیین روابط علّی– معلولی **۸۷**
۴-۱- مقدمه ۸۸
۴-۲- روابط علّی- معلولی ۸۸
۴-۲-۱- اکتشافات، عرضه، تقاضای انرژی فسیلی ۸۸
۴-۲-۲- نمودار علّی– معلولی جذب سرمایه‌گذاری ۹۳
۴-۲-۳- نمودار علّی– معلولی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر ۹۶
۴-۲-۴- نمودارعلّی– معلولی امنیت انرژی ۱۰۰
۴-۳- نتیجه‌گیری ۱۰۴
فصل پنجم- مدل حالت - جریان **۱۰۷**
۵-۱- مقدمه ۱۰۸
۵-۲- مدل علّی- معلولی ۱۰۹
۵-۳- مدل حالت- جریان ۱۱۰
۵-۴- روابط ریاضی ۱۱۱
۵-۵- سناریوسازی ۱۱۲
۵-۵-۱- طول عمر ظرفیت‌های تولید برق ۱۱۲
۵-۵-۲- مدت زمان ساخت نیروگاه ۱۱۴
۵-۵-۳- سرمایه‌گذاری تکنولوژیکی در تولید برق ۱۱۵
۵-۶- نتیجه‌گیری ۱۱۶
فصل ششم– جمع‌بندی و نتیجه‌گیری **۱۱۹**
۶-۱- مقدمه ۱۲۰
۶-۲- جمع‌بندی مطالعه ۱۲۰

۶-۳- نتیجه‌گیری ۱۲۳

۶-۴- توصیه‌های سیاستی ۱۲۴

۶-۵- مشکلات و محدودیت‌های تحقیق ۱۲۴

پیوست‌ها ۱۲۷

۳-۵- ابزارهای تفکر سیستمی ۱۲۸

منابع و مآخذ ۱۲۰

الف) منابع داخلی ۱۲۱

ب) منابع خارجی ۱۲۳

ج) پایگاه اطلاعاتی ۱۲۶

فهرست اشکال

شکل **(۲-۱) مقایسه قیمت اسمی و واقعی حامل‌های انرژی در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۴ ..... ۱۴**

شکل (۲-۲) مقاسه شدت مصرف انرژی در ایران و چند کشور دیگر بر اساس تولید ناخالص داخلی ۱۶

شکل (۲-۳) نمودار تولید، صادرات و مصرف داخلی نفت خام در ایران طی سال‌های..... ۲۱

شکل (۲-۴) میزان تولید و مصرف نفت و فرآورده‌های نفتی در ایران ۲۴

شکل (۲-۵) میزان تولید و مصرف گاز طبیعی در ایران ۳۲

شکل (۲-۶) میزان تولید و مصرف برق در ایران ۳۷

شکل (۳-۲) مدل سیستمی اکتشاف و تقاضای گاز طبیعی ۶۳

شکل (۳-۳) ساختار بنیادی مدل انرژی FOSSIL2 ..... ۶۶

شکل (۳-۴) شمای کلی مکانیسم بازار و مدل انفعالات میان تولیدکنندگان و مصرف-کنندگان انرژی 67

شکل (۳-۵) تقاضا در بخش نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ ۶۸

شکل (۳-۶) حلقه‌های تقاضا در مدل Naill..... 69

شکل (۳-۷)ساختار علّی مورد استفاده برای تعیین تغییرات تقاضا ۷۰

شکل (۳-۹) ساختار علّی مدل COAL2 ..... ۸۰

شکل (۴-۱) روابط علّی- معلولی موجود در بازار انرژی ایران ۹۲

شکل (۴-۲) روابط علّی- معلولی در رابطه با جذب سرمایه‌گذاری خارجی در انرژی فسیلی در ایران ۹۴

شکل (۴-۳) نمودار علّی- معلولی در رابطه با انرژی‌های تجدیدپذیر ۹۹

شکل (۴-۴) نمودار علّی- معلولی در رابطه با امنیت انرژی در ایران ۱۰۲

شکل (۵-۱) مدل پایه علّی- معلولی ۱۰۸

شکل (۵-۲) مدل حالت- جریان ظرفیت تولید برق ۱۰۹

شکل (۵-۳) تأثیر طول عمر سرمایه تولید برق بر حجم سرمایه مستهلک شده ۱۱۲

شکل (۵-۴) تأثیر مدت زمان ساخت نیروگاه بر ظرفیت‌های نصب شده نیروگاهی ۱۱۲

شکل (۵-۵) تأثیر سرمایه‌گذاری در تکنولوژی تولید برق بر ظرفیت‌های نیروگاهی در حال ساخت ۱۱۴

فصل اول- کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

اقتصاد انرژی یک زمینه علمی گسترده است که موضوعات مرتبط با عرضه و استفاده از انرژی در جوامع را دربر می‌گیرد. به دلیل تنوع مسایل و روش‌های اعمال شده و مشترک با شماری از زمینه‌های دانشگاهی، اقتصاد انرژی یک زمینه کامل و مستقل نیست بلکه زیرزمینه‌ای کاربردی از علم اقتصاد است. تمرکز اخیر اقتصاد انرژی بر مسائل مانند تحلیل ریسک و امنیت عرضه، بازارهای انرژی و بازارهای برق آزادسازی یا مقررات‌زدایی، انرژی و رشد اقتصادی، اقتصاد زیرساخت‌های انرژی، سیاست انرژی، مشتقات انرژی، پیش‌بینی تقاضای انرژی و نرمش عرضه و تقاضا در بازار انرژی بوده است. ایران رتبه چهارم ذخایر نفت و رتبه دوم ذخایر گازی جهان را داراست (Eia, 2015). تولید نفت، گاز و الکتریسیته نقش بسیار مهمی درحیات اقتصاد ایران دارد. منابع تأمین انرژی از منظر تجدیدپذیری به دو دسته منابع تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر تقسیم می‌گردند. پنج جزء اصلی بخش انرژی عبارتند از: تقاضای انرژی، منابع انرژی، اقتصاد انرژی، تولید انرژی و آلودگی‌های ناشی از انرژی. تقاضای انرژی تابع ظرفیت اقتصاد، جمعیت و قیمت انرژی است که تحت تأثیر سیاست‌های حفظ منابع طبیعی، مالیات کربن، انتخاب تکنولوژی برق و انگیزه برای تولید نیروی جایگزین است. همچنین تقاضای انرژی را می‌توان در بخش‌های تجاری، مسکونی، صنعتی، حمل و نقل و سایر طبقه-بندی نمود (Simonovic And Davies, 2006).

عرضه انرژی اساس تولید انرژی در سایر بخش‌هاست که ستانده بخش انرژی را تشکیل می‌دهد و شامل تولید هر دو مورد گرما و انرژی الکتریکی می‌شود. بخش عرضه معمولاً به منابع فشرده و مصرف مستقیم (به عنوان انرژی اولیه) از تولید برق و مصرف غیرمستقیم (به عنوان منبع انرژی ثانویه) تقسیم می‌شود، زیرا الکتریسیته به عنوان یک منبع اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای CO_2 و به طور

بالقوه یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در پاسخ به هرگونه سیاست کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای است (Edmond, 2004).

مفاهیم اصلی بخش انرژی، زیرمجموعه‌ای از نظام اقتصادی و اجتماعی است که تأثیر عمده‌ای بر فرآیند توسعه اقتصادی می‌گذارد. می‌توان اهمیت اقتصادی بخش انرژی را به علت ایجاد اشتغال، افزایش درآمدهای ناشی از مبادلات تجاری انرژی، نقش عمده آن در بخش‌های تولید و خدماتی و ایجاد تعاملات گسترده اقتصادی، سیاسی و... دانست.

در میان روش‌های موجود در مبانی نظری اقتصادی، روش پویایی‌های سیستمی از الگوهای مبتنی بر تفکر سیستمی استفاده می‌کنند. این روش در سال ۱۹۵۰ در دانشگاه MIT آمریکا و توسط فارستر[1] ایجاد شد. این روش با در نظر گرفتن روابط بین اجزاءی سیستم، رفتار آن را پیش‌بینی می‌کند. این الگوها روشی برای فهمیدن و درک رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان هستند. چیزی که روش پویایی سیستم را از روش‌های دیگر متمایز می‌سازد استفاده از حلقه‌های بازخورد و متغیرهای جریان و حالت است که در شناخت رفتار سیستم کمک می‌کنند. اساس این روش این است که شناختن ساختار سیستم -روابط غیرخطی، تأخیرات و بازخوردها- در مشخص کردن رفتار سیستم به اندازه شناختن یکایک اجزاء اهمیت دارد. همچنین این روش ادعا می‌کند خواصی در کل سیستم وجود دارد که آنها را نمی‌توان در تک‌تک عناصر یافت. در برخی حالات، رفتار کل سیستم نمی‌تواند بوسیله رفتار اجزای آن شرح داده شود. این روش نتیجه یک نوع نگرش سیستمی پویا است که برای توسعه محدوده مدل‌های ذهنی و توسعه ابزاری برای درک اینکه چگونه ساختار یک سیستم پیچیده رفتار آن را ایجاد می‌کند، استفاده می‌شود. سیستم‌های پویا قابلیت نگاه جامع و همزمان به تعداد کثیری از متغیرها را دارد بدون آنکه از کارکرد یا درجه اعتبار آن کاسته شود در حالی که سایر روش-

[1] Forrester

های اقتصادی چنین نقص‌هایی دارند (Radzicki & Taylor, 2008). بنابراین تمرکز بر بخش انرژی به عنوان اصلی‌ترین بخش بدنه اقتصاد کشور و موتور پیشرفت، در روش پویایی سیستمی و در نظر گرفتن آن به صورت یک مجموعه واحد که متغیرهای بسیاری روی آن اثر دارند، در اقتصاد پیشرفته امروز امری ضروری است.

۱-۲- طرح تحقیق و بیان مسئله

انرژی عنصر مرکزی دستیابی به توسعه اقتصادی، اجتماعی و اهداف مربوط به محیط‌زیست در هر کشوری است. آمارهای جزیی، جامع، زمانبندی شده و قابل اعتماد برای رصد کردن وضعیت انرژی کشور در سطح بین‌المللی بسیار ضروری هستند. رشد تقاضای انرژی در جهان موجب شد بسیاری از کشورهای با منابع هیدروکربنی قوی، از جمله ایران نقش اساسی در عرضه انرژی پیدا کنند. موقعیت ژئواستراتژیک ایران و دستیابی آن به منابع عظیم فسیلی این کشور را در منطقه، حائز اهمیت ساخته و نتیجه آن توسعه سرمایه‌گذاری‌ها در صنعت نفت و گاز این کشور بوده است.

ترکیب انرژی ایران به واقع تحت سلطه هیدروکربن است. گاز طبیعی و مشتقات نفتی مانند گازوئیل و بنزین و سوخت‌های نفتی قابل فروش حدود ۹۸ درصد از تقاضای انرژی ایران را تأمین می‌کنند. دو درصد باقی مانده نیز از ترکیب منابع انرژی برقآبی، هسته‌ای و سایر منابع تجدیدپذیر انرژی به وجود می‌آیند. وابستگی بیش از حد به منابع فسیلی یکی از دلایل بروز و ظهور بحران‌ها و مشکلات در کشور است. ثروت ایران از سوخت‌های هیدروکربنی، به دولت این اجازه را داده است که برای مصارف خصوصی انرژی، یارانه قائل شود که مقدار آن مبلغی حدود ۳۲ سنت در هر لیتر می‌باشد. قیمت گازوئیل و بنزین نیز رقمی مشابه یک بطری آب در ایران است، همچنین قیمت برق به ازای هرکیلو وات نیز حدود ۴.۵ سنت می‌باشد که شهروندان مبلغی کمتر از میانگین قیمت جهانی برای این موارد پرداخت می‌کنند (Eia, 2006).

مسائل مرتبط با انرژی در اقتصاد ایران در زمینه‌های مختلفی همچون چگونگی و میزان عرضه، میزان تقاضای بهینه، قیمت بهینه انرژی، یارانه انرژی برای بخش‌های مختلف، سطح آلاینده‌های ناشی از تولید و مصرف، انرژی‌های جایگزین و همچنین صادرات و واردات اقسام انرژی نمود عینی دارد. درحالی که زمین‌شناسان عمر ذخایر هیدروکربوری را ۱۲۸ سال تخمین می‌زنند اما در حقیقت این مقدار، ذخایری هستند که برای کشف و استحصال آنها به هزینه‌های هنگفتی نیاز است و قابلیت استخراج با هزینه‌های پایین را ندارند (درخشان، ۱۳۸۹). لذا تکیه بر اعداد و ارقامی که توسط رسانه‌ها و مسئولین اعلام می‌شوند و به تعویق افکندن بهینه‌سازی استخراج و مصرف، نادرست است. لذا بحث امنیت انرژی در ایران مطرح است. همانگونه که از سخنرانی‌های مقام معظم رهبری طی سال‌های اخیر تأکید بر اقتصاد مقاومتی و تکیه بر تولیدات داخلی هویداست، بخش انرژی نیرو محرکه رشد و توسعه کشور می‌باشد. بنابراین رسیدن به جایگاهی که در آن وابستگی بودجه دولت از فروش و صادرات سوخت‌های فسیلی فاصله زیادی گرفته باشد و کشور از بحران‌ها، تحریم‌ها و مشکلات فرا روی اقتصاد جهانی رهایی یافته باشد امری بسیار ضروری است. اقتصاد ایران همچون سایر کشورهای دیگر تعمداً و نه از روی اجبار با اقتصاد جهانی در ارتباط است و کاهش دادن وابستگی به صادرات نفتی و سوخت فسیلی می‌تواند کشور را در برابر گزندهای موجود حفظ نماید و امنیت انرژی را با خود به ارمغان بیاورد. از دید پژوهشگر خلأ موجود و آنچه که برای آینده کشور یک تهدید جدی محسوب می‌شود، گذر منابع سوخت‌های فسیلی از نیمه عمر خود، ناکافی و غیربهینه بودن بهره‌وری انرژی‌های جایگزین همچون انرژی‌های برقآبی، بادی و هسته‌ای در کشور می‌باشد. فقدان یک سیستم پیشرفته در جهت تغییر الگوی مصرف سوخت‌های فسیلی، سیستم گرمایشی و سوخت مورد نیاز صنایع از جمله مواردی است که نیازمند تغییر نگرش و چاره اندیشی کاربردی است.

۱-۳- ضرورت و اهمیت تحقیق

به طور سنتی سیاست‌های اقتصادی در ایران بر مبنای دسترسی آسان به انرژی در قیمت‌های بسیار پایین برای تأمین مالی برنامه‌های توسعه اقتصادی کشور بنا گردیده است این در حالیست که توسعه مدل‌های ریاضی انرژی بعنوان ابزاری برای حمایت از تصمیم‌گیری در بخش انرژی، عرضه و تقاضا، قیمت‌ها، آلودگی منابع و محیط‌زیست ناشی از مصرف انرژی در دهه ۱۹۶۰ آغاز گشت. لذا لزوم تغییر و بروزسازی روش‌ها و سیاست‌های انرژی در کشور امری غیرقابل انکار است. جهان امروز از اقتصاد سنتی فاصله گرفته و اگر کشوری نتواند مطابق با این تغییر، سیاست‌های داخلی و خارجی خود را ساماندهی نماید، با مشکلات اساسی مواجه خواهد شد. آنچه که توجه ما را جلب نموده، یافتن و پیاده‌سازی روشی است که با استفاده از آن بتوان نیاز کشور را مرتفع کرد و نهایتاً با ارائه راه‌حلی دقیق، به روز و همه‌جانبه مهمترین بخش کشور را از آشفتگی و وابستگی‌ها نجات داد. رویکرد سیستم‌های پویا[۲] پیشنهاد این مطالعه است. این رویکر می‌تواند به صورتی همه‌جانبه و وسیع مشکلات بخش انرژی را تشخیص داده و راه‌حلی مناسب و کارآمد با اقتصاد ایران را بومی‌سازی و ارائه نماید.

در سال‌های اخیر با نوسانات متعدد قیمت انرژی‌های فسیلی، فشارهای ناشی از سیاست‌گذاری‌ها و تحریم‌های بین‌المللی در مورد کشور ایران، لزوم توجه به سایر منابع انرژی، مدیریت درست و موثر آنها در راستای تقویت نهادهای مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر، بیش از گذشته حس شده است. به عبارتی با روند رو به پایان سوخت‌های فسیلی و نیاز روز افزون جامعه به انرژی الکتریکی باید راهکاری برای مدیریت و مدلسازی سیستم انرژی کشور ارائه شود که با بهره جستن از نتایج آن بتوان چارچوب و پیشنهادات موثر و کاراتری برای برنامه‌ریزی یکپارچه‌ی انرژی کشور ارائه داد. لذا بر آن شدیم با استفاده از روش سیستم‌های پویا، که از نظر گستردگی و همه‌جانبه بودن دارای فاکتورهای قابل قبولی می‌باشد، به تبیین سیستم جامع انرژی کشور بپردازیم.

2 System dynamics approach

۱-۴- سوال تحقیق

چگونه می‌توان با استفاده از روش پویایی‌های سیستمی و روابط علّی- معلولی، سیستم جامع انرژی کشور را مورد تبیین و بررسی قرار داد؟

۱-۵- اهداف تحقیق

با توجه به آنکه تدوین و مدلسازی سیستم جامع انرژی در حیطه پایان‌نامه کارشناسی ارشد امری مشکل و دور از دسترس به نظر می‌رسید، بررسی و تبیین روابط علّی- معلولی و بیان حلقه‌های پنهان سیستم انرژی در دستور کار تحقیق قرار گرفت. در نهایت می‌توان هدف اصلی این تحقیق را تبیین روابط علّی مدل جامع انرژی و اهداف فرعی را به شرح ذیل دانست:

۱. بررسی رابطه قیمت و تقاضای بخش انرژی.
۲. بررسی رابطه‌ی مصرف انرژی و کمیابی منابع سوخت‌های فسیلی.
۳. بررسی رابطه میان پایان‌پذیری منابع فسیلی و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر.
۴. بررسی عوامل موثر بر امنیت انرژی[۳] در ایران.

۱-۶- نوآوری تحقیق

استفاده از روش سیستم‌های پویا در زمینه اقتصاد انرژی چه در جهان چه در ایران روش نسبتاً نوظهوری محسوب می‌گردد. در سوابق پژوهشی اندکی در ایران این رویکرد در مبحث انرژی مورد توجه بوده است و توجه به سیستم جامع انرژی ایران که شامل انرژی‌های فسیلی، برق و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد، با تکیه بر روابط علّی- معلولی به صورت جامع و همزمان تاکنون در کشور ما انجام نشده است. لذا این پژوهش از حیث گستردگی موضوعی، روش انجام تحقیق و تعداد ۸۸ متغیر

3 Energy reliability

در نظر گرفته شده برای اولین بار در ایران انجام می‌پذیرد. البته توجه خاصی که در انجام پژوهش بر اقتصاد مقاومتی و بندهای مرتبط آن در انرژی شده است نیز، حاکی از به‌روز بودن این تحقیق است. در واقع سعی شده ابعاد مربوط به انرژی در اقتصاد مقاومتی و توجه به مفاهیم آن در حین تکمیل فرآیند پژوهش، به طور خاص مد نظر قرار گیرد.

۱-۷- روش تحقیق

اولین بحران قیمتی نفت در سال ۱۹۷۳ موجب افزایش فعالیت در زمینه توسعه مدل‌های انرژی در کل جهان بوده است. انواع مدل‌هایی که توسعه داده شدند عبارتند از:

۱. مدل‌های نسل اول (مدل‌های تک بخشی، مدل‌های تک سوختی)
۲. مدل‌های نسل دوم (مدل‌های سیستم انرژی)
۳. مدل‌های نسل سوم (مدل‌های انرژی- اقتصاد)

در این پژوهش از مدل‌های COAL2(1972) و FOSSIL2(۱۹۹۲) از Naill استفاده شده است. البته مدل COAL2 به عنوان مدل پایه در نظر گرفته شده است. این مدل یک مدل اقتصاد-انرژی- سیستم دینامیکی در سه بخش عرضه و یک بخش تقاضا می‌باشد. عرضه‌ی انرژی در زغال-سنگ، نفت و گاز و برق طبقه‌بندی شده است. مدل، قواعد و سیاست‌های گوناگون تحول را برای انتقال اقتصاد آمریکا از وابستگی واردات نفت و گاز شبیه‌سازی می‌کند. این مدل ساختار علّی، اثرات تخلیه، تولید منابع و سرمایه‌گذاری را عنوان می‌کند. مدل سیستمی پویا را می‌توان در دسته‌ی مدل-های نسل سوم قرار داد زیرا به صورت تواماً با اقتصاد و انرژی سروکار دارد.

مطابق با عنوان پژوهش، این تحقیق به صورت جامع در سطح منابع انرژی ایران اعم از نفت، گاز، برق و انرژی تجدیدپذیر انجام شده است و به عبارتی یک طرح جامع ملی محسوب می‌شود. داده-های مورد استفاده برای بیان پیشینه بخش انرژی کشور نیز به سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۷۰ اختصاص دارد.

این تحقیق با استفاده از رویکرد پویایی سیستمی و در راستای اهداف طراحی شده به شناسایی متغیرهای اساسی و اثرگذار در بخش انرژی کشور پرداخته است. طی مراحل تحقیق متغیرهای اصلی و کمکی برای ایجاد مدل‌های علّی– معلولی و حالت- جریان در نرم‌افزار ونسیم شناسایی شده است. نتیجه مطالعات و تبیین روابط علّی در چهار زیربخش که به صورت همزمان با یکدیگر در ارتباط هستند در زمینه‌های اکتشاف، عرضه و تقاضای انرژی‌های فسیلی، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های فسیلی، امنیت انرژی برای محصولات نفتی ایران و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بدست آمده است که با توجه به شرایط اقتصاد ایران در عصر حاضر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۱-۸- روند تدوین پایان‌نامه

این پایان‌نامه متشکل از ۶ فصل می‌باشد که در ادامه خلاصه‌ای از هر فصل ارائه می‌گردد:

فصل اول در رابطه با بیان مسئله، اهمیت و ضرورت موضوع، اهداف، نوآوری تحقیق، روش تحقیق و مدل پایه برای انجام پژوهش توضیحاتی ارائه می‌کند.

فصل دوم به ادبیات تحقیق اختصاص دارد که در دو بخش مجزا ارائه شده است. در بخش اول ادبیات موضوع مرتبط با اقسام انرژی، شاخص‌های کلان انرژی در اقتصاد، حامل‌های انرژی هر یک به تفکیک بیان شده است. در بخش دوم پیشینه مطالعات داخلی، خارجی و پایان‌نامه‌های انجام شده در حوالی موضوع این تحقیق آورده شده‌اند. سپس مبانی نظری تحقیق شامل مدل‌های انرژی در مکاتب اقتصاد انرژی و دورنمای مدل‌سازی انرژی به صورت کلی مرور شدند.

فصل سوم با عنوان روش تحقیق به بیان چارچوب تئوری و روش مورد استفاده پرداخته است. در ابتدا توضیحاتی در رابطه با چرایی انتخاب این رویکرد در میان سایر روش‌های اقتصادی ارائه گردید. در ادامه فصل توضیحاتی در رابطه با پویایی‌های سیستمی، مدل‌سازی و مراحل آن، ساختار و

الگوهای رفتاری در سیستم‌های پویا، ابزارهای تفکر سیستمی، جامعه تحقیق، قلمرو مکانی و زمانی و روش گردآوری اطلاعات بیان شده است.

در فصل چهارم با مرور مدل‌های انرژی، تحقیق و مطالعات پیشین تعدادی متغیر اصلی در رابطه با مباحث انرژی همچون اکتشاف، استخراج، تولید، عرضه، سرمایه‌گذاری، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و امنیت انرژی بدست آمد. با بررسی‌ها و مطالعه و تحقیقات کتابخآنهای تعداد ۸۸ متغیر در رابطه با کنش‌ها و واکنش‌های موجود میان متغیرهای انرژی و زیربخش‌های آن در راستای اهداف پژوهش برآورد شدند که در این فصل اثرات این متغیرها بر یکدیگر در فضای نرم‌افزار ونسیم با روابط علّی در چهار نمودار جداگانه «عرضه و تقاضا، امنیت انرژی، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های فسیلی و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر» ترسیم شدند و مورد تجزیه و تحلیل جامع و کامل قرار گرفتند و نتایج حاصله بیان گردید.

در فصل پنجم یک مدل سیستم دینامیکی در رابطه با ظرفیت‌های تولیدی نیروگاه‌های برق کشور طراحی و شبیه‌سازی شد. مباحث مربوط به سناریوسازی و نمودارهای مربوط به این سناریوها و نتایجی که از این شبیه‌سازی قابل استخراج می‌باشد، ذکر گردیده است. متغیرهای استفاده شده در این فصل، تعداد ۸ متغیر شامل متغیر حالت و جریان بوده است. البته توجه به این نکته خالی از لطف نیست که این فصل مازاد بر عنوان اصلی پایان‌نامه در دستور کار قرار گرفته است.

فصل ششم نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلیه فصول، ارائه توصیه‌های سیاستی برای برنامه-ریزی آینده، بیان محدودیت‌ها و مشکلات تحقیق اختصاص داده شده است.

فصل دوم- ادبیات پژوهش

این فصل به دو بخش تقسیم شده که در بخش اول ادبیات موضوع در رابطه با انواع انرژی، مقادیر و شاخص‌های متعدد مرتبط و در بخش دوم پیشینه مطالعات و مبانی نظری مرتبط با عنوان تحقیق آورده شده است.

۲-۱- ادبیات موضوع

۲-۱-۱- مقدمه

انرژی و تعریف آن در ایران به عنوان یک صنعت درآمدزا همیشه توجه ما را به نفت، گاز و سوخت‌های فسیلی جلب می‌کند، حال آنکه صنایع دیگر با توجه به پتانسیل و زیرساخت‌های فراهم شده در سال‌های گذشته، می‌توانند به راحتی رقیبی جوان برای صادرات نفتی کشور باشند. برق انرژی مورد نیاز همه بخش‌هاست و مضاف بر آن موقعیت جغرافیایی ما در ایران و در منطقه با تغییرات جوی، فصلی و شرایط آب و هوایی متفاوت این امکان را فراهم ساخته که در تمام سال با توجه به پیک مصرف، ذخیره‌ای قابل اتکا در مجموع مولدهای تولید برق موجود بوده که می‌توان آن را برای تبادل درنظر گرفت. در ایران حدود ۶۲ هزار مگاوات نیروگاه نصب شده موجود است درحالی‌که مصرف انرژی در سال حدود ۳۶ هزار مگاوات برآورد می‌شود، با توجه به اینکه ذخیره مطمئن ۲۰ درصدی برای شرایط خاص کفایت می‌کند، می‌توان از سایر پتانسیل‌های نیروگاهی که در شبکه به علت نبود امکان متناسب شبکه انتقال معطل مانده است، استفاده کرد (واعظی، ۱۳۸۵). لذا به نظر می‌رسد با تکمیل شبکه انتقال، این میزان انرژی شبکه قابل استفاده بوده و قادر است توان صادراتی برق کشور را بالا ببرد. از طرفی نیاز کشورهای منطقه در شرق، غرب، شمال و حتی کشورهای حاشیه خلیج‌فارس، به تولیدات مازاد ایران، باتوجه به تغییر افق و گستردگی شبکه برق ایران در تمامی مرزها این امکان برای کشور فراهم است که از ظرفیت موجود به بهترین نحو استفاده کند و به این ترتیب در ساعاتی که مصرف در ایران از تولید فاصله می‌گیرد، مازاد تولید را به امر صادرات اختصاص داد. در حقیقت

موضوع اختلاف پیک در ایران و دیگر کشورهای همسایه که خواهان برق ایران هستند، پتانسیلی قابل توجه برای کشور محسوب می‌شود. به هر حال باید این مسئله را مد نظر قرار داد که ایران واسط شرق و غرب جهان است، لذا مدیریت ارتباط برق منطقه، مزیتی بالقوه برای تبدیل شدن ایران به هاب انرژی الکتریکی منطقه است که بی‌شک استفاده از این امکان خدادادی تنها به همت و تلاش مسئولین و دست‌اندرکاران این صنعت نیاز دارد. ذخایر نفت و گاز فراوان، کشور ما را به صادرات خام عادت داده اما می‌توان با استفاده از نیروگاه‌های حرارتی و تبدیل انرژی‌های فسیلی، به‌ویژه در میادین مشترک به انرژی برق از ارزش افزوده فراوان آن استفاده کرد. در این صورت صادرات ایران به صادرات مواد خام و نفت و گاز خلاصه نخواهد شد و می‌توان برای افزایش میزان ارزش‌افزوده تولیدات داخل و اشتغالزایی صنایع وابسته به آن به‌خوبی برنامه‌ریزی کرد و برای صنایع تولید برق و شبکه‌های انتقال آن به سایر کشورها و جایگاه آن در اقتصاد کشور، اهمیت بیشتری قائل شد.

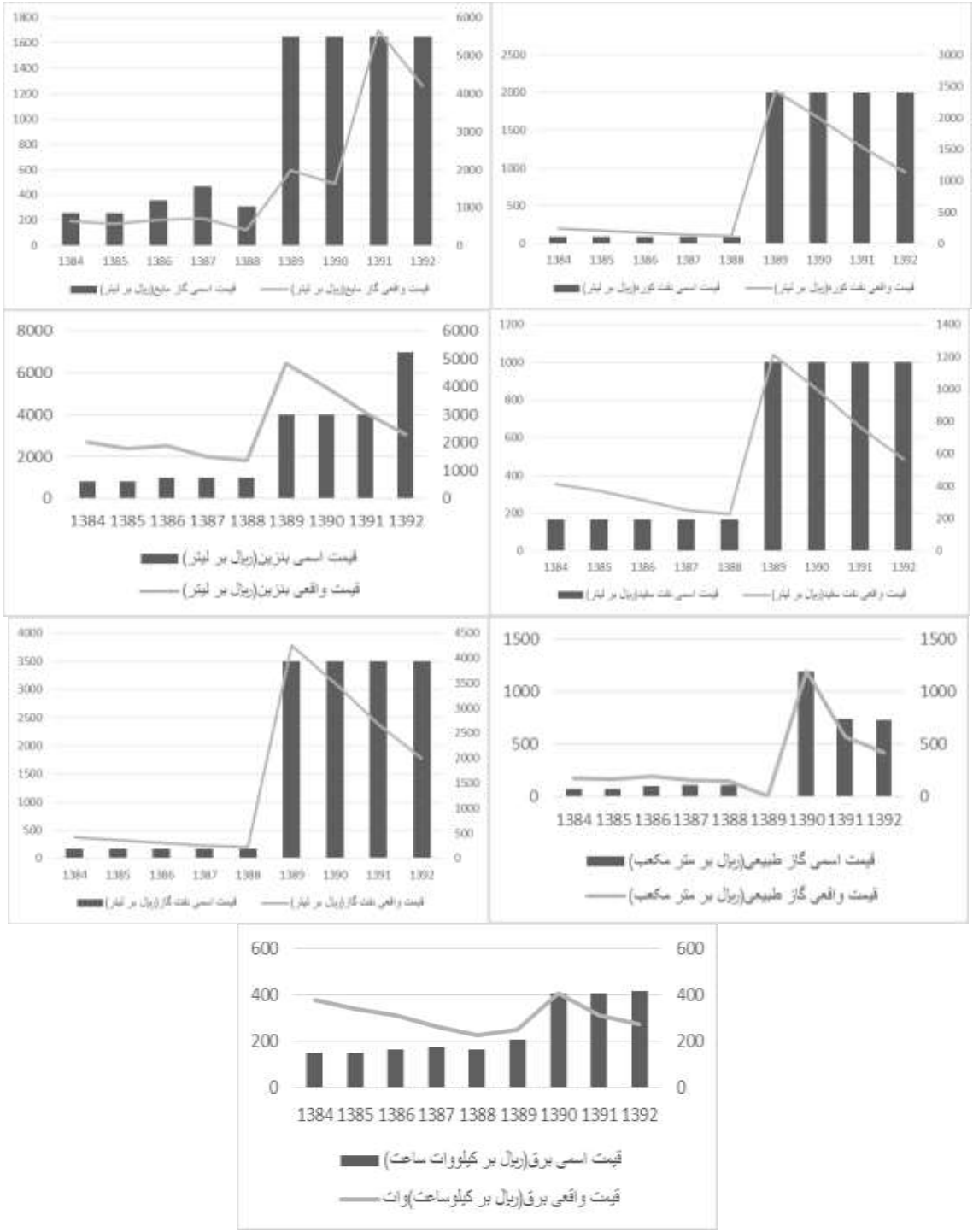
۲-۱-۲- روند شاخص‌های عمده اقتصاد انرژی

در این بخش برخی از مباحث مهم انرژی و اقتصاد به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند. این موضوعات عبارتند از: روند قیمت‌های انرژی، شاخص‌های کلان اقتصاد انرژی (شامل مصرف سرانه، شدت انرژی، ضریب انرژی و بهره‌وری انرژی).

۲-۱-۳- روند قیمت‌های انرژی

یکی از پارامترهای مؤثر در میزان تقاضا و مصرف انرژی، قیمت آن است. بنابراین بررسی روند قیمت انواع مختلف حامل‌های انرژی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در سال ۱۳۸۹، با اجرای طرح هدفمندسازی یارانه‌ها، قیمت حامل‌های انرژی افزایش چشمگیری یافت. در سال ۱۳۹۰ قیمت اسمی فروش برق نیز نسبت به سال قبل حدود 2 برابر گردید و قیمت فرآورده‌های نفتی نسبت به قیمت‌های بعد از هدفمندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ ثابت باقی ماند. در سال ۱۳۹۱ نیز به استثنای قیمت گازمایع که افزایش ۴۶ برابری داشته، قیمت فروش سایر

فرآورده‌ها ثابت بوده است. همچنین قیمت فروش گاز طبیعی نسبت به سال قبل ثابت و به طور متوسط ۷۴۲.۲ ریال به ازای هر مترمکعب بوده است. متوسط قیمت فروش برق نیز در این سال، با اندکی کاهش نسبت به سال قبل به ۴۰۷ ریال به ازای هر کیلووات ساعت رسید. بدیهی است با توجه به شاخص قیمت کالاها در این سال، قیمت واقعی تمامی حامل‌های انرژی نسبت به سال ۱۳۹۱ کاهش داشته است. چنانچه اثر افزایش سطح عمومی قیمت‌ها از قیمت‌های اسمی حذف شود، ملاحظه می‌گردد که قیمت واقعی کلیه حامل‌ها به استثنای گازمایع کاهش داشته است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲). نمودار زیر روند قیمت‌های اسمی و واقعی حامل‌های مختلف انرژی را در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۳۸۴ نشان می‌دهد.



نمودار (۲-۱) مقایسه قیمت اسمی و واقعی حامل‌های انرژی در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۴

۲-۱-۳- مصرف سرانه

معمولاً سرانه مصرف انرژی در جوامع پیشرفته و توسعه‌یافته، به دلیل درآمد سرانه بالا و امکان برخورداری از دستگاه‌ها و تجهیزات متنوع‌تر انرژی‌بر، بیشتر می‌باشد. در عین حال در این کشورها افزایش بهره‌وری طی چند دهۀ اخیر منجر به تعدیل مصرف انرژی شده است. مقایسه سرانه مصرف نهایی انرژی ایران به تفکیک حامل‌های انرژی با مقیاس جهانی نشان می‌دهد که سرانه مصرف گازطبیعی و نفت خام و فرآورده‌های نفتی به ترتیب ۵.۹ و ۱.۶ برابر متوسط مصرف سرانه جهانی می‌باشد. مصرف سرانه سایر حامل‌ها از متوسط جهانی کمتر است. این امر از بهره‌وری پایین در بهره‌برداری، مصرف بالای انرژی و همچنین استفاده از کالاها و خدمات انرژی‌بر ناشی می‌شود. مصرف سرانه در کشورهایی نظیر ترکیه، هند، چین و هنگ‌کنگ، پاکستان، آفریقا، ونزوئلا، کشورهای آسیایی غیر OECD و منطقه خاورمیانه از ایران پائین‌تر است. سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در سال‌های ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱ و ۹۲ ه ترتیب ۱۴.۰۴، ۱۳.۸۴، ۱۴.۱۱، ۱۳.۹۳ و ۱۴.۳۴ بشکه معادل نفت خام بوده است. در سال ۱۳۹۲، شاخص سرانه مصرف نهایی انرژی نسبت به سال گذشته ۲.۹ درصد رشد داشته است (ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۲).

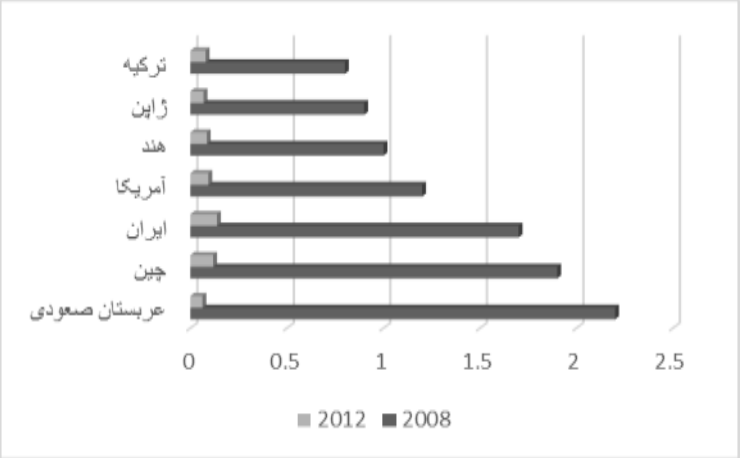
۲-۱-۴- شدت انرژی

شدت انرژی شاخصی برای تعیین کارایی انرژی در سطح اقتصاد ملی هر کشور می‌باشد که از تقسیم مصرف نهایی انرژی (و یا عرضه انرژی اولیه) بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌گردد و نشان می‌دهد که برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات (برحسب واحد پول) چه مقدار انرژی به کار رفته است.

$$\text{شدت انرژی} = \frac{\downarrow \text{مقدار مصرف انرژی}}{\uparrow \text{تولید ناخالص داخلی}} \qquad (۱-۲)$$

عوامل بسیاری در تعیین شدت انرژی یک کشور مؤثر می‌باشد. شدت انرژی می‌تواند متأثر از سطح استانداردهای زندگی، عوامل آب‌وهوایی یا ساختار اقتصادی و صنعتی یک کشور باشد. کشورهایی که دارای سطح بالاتری از استاندارد زندگی هستند مصرف بیشتری داشته و در نتیجه این امر بر شدت

انرژی آنها تأثیر می‌گذارد. نمودار (۱-۲) شدت مصرف انرژی را در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ برای ایران و چند کشور صنعتی دیگر نشان می‌دهد.



نمودار (۲-۲) مقایسه شدت مصرف انرژی در ایران و چند کشور دیگر بر اساس تولید ناخالص داخلی

(منبع: ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲)

با مقایسه این شاخص در سال‌های مختلف و میان کشورهای مختلف می‌توان روند استفاده از منابع انرژی در فرآیند تولید ملی کشورها را ارزیابی نمود. برای تبدیل واحد پول کشورها به یک واحد مرجع (مانند دلار) از دو نرخ متفاوت، یکی نرخ تبدیل ارزی و دیگری نرخ برابری قدرت خرید استفاده می‌شود. در محاسبه شدت مصرف نهایی انرژی بر مبنای برابری قدرت خرید، برخی از اشکالات ناشی از محاسبه نرخ ارز وجود ندارد. اگر مبنای محاسبات نرخ ارز باشد، تفاوت مزبور بسیار بیشتر خواهد بود. همچنین شدت انرژی براساس عرضه انرژی اولیه و بر مبنای برابری قدرت خرید در جهان ۱۶۰ بشکه معادل نفت به ازای میلیون دلار است، در حالی که رقم مشابه در ایران ۲۱۰ بشکه می‌باشد. در سال ۲۰۱۲، در سطح جهان به طور متوسط برای تولید یک میلیون دلار ارزش افزوده حدود ۹۹ تن معادل نفت خام انرژی مصرف شده است، در حالی‌که این رقم در ایران ۴۰ درصد بیشتر است. ایران از لحاظ مصرف انرژی به منظور تولید کالاها و خدمات وضعیت مطلوبی نداشته و جزء کشورهای با شدت انرژی بسیار بالا محسوب می‌گردد. بر این اساس شدت مصرف نهایی انرژی در کشور نه تنها در مقایسه با

کشورهای نفت‌خیز بسیار بالاتر می‌باشد، بلکه از برخی مناطق نظیر خاورمیانه نیز بیشتر است. بهینه-سازی ساختمان‌ها و تجهیزات، ترکیب سوخت‌های مورد استفاده در بخش حمل‌ونقل و حتی مسافت بین مکان‌های جغرافیایی، شیوه‌های حمل‌ونقل و تکنولوژی بکار رفته در خودروها و وسایل نقلیه، ظرفیت حمل‌ونقل عمومی، اقدامات صورت گرفته در امر بهینه‌سازی مصرف انرژی، حوادث طبیعی و قیمت‌ها یا یارانه‌های انرژی برخی از عوامل تأثیرگذار در شدت انرژی می‌باشند.

۲-۱-۵- ضریب انرژی

برای بررسی رابطه بین مصرف انرژی و تولید، می‌توان از شاخص ضریب انرژی نیز استفاده نمود. ضریب انرژی از تقسیم نرخ رشد مصرف نهایی انرژی به نرخ رشد تولید ناخالص داخلی به دست می‌آید. به دلیل استفاده از نرخ رشد در ضریب انرژی، مشکلات تبدیل به واحد یکسان جهت مقایسه (مانند نرخ ارز در مقایسه شدت انرژی) در این شاخص وجود ندارد. خصوصیت دیگر ضریب انرژی این است که برای یک دورهٔ زمانی محاسبه می‌شود، در حالی که شاخص شدت انرژی معمولاً جهت ارزیابی در یک سال معین به کار می‌رود. معمولاً در ارزیابی ضریب انرژی آن را با عدد یک مقایسه می‌نمایند. رشد مصرف انرژی در روند توسعه اقتصادی اغلب از نرخ کاهنده‌ای برخوردار است. همچنین انتظار می‌رود که کشورهای توسعه یافته، مصرف انرژی را با توجه به میزان تولید ملی خود به حداقل ممکن رسانده باشند. در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ شاخص ضریب انرژی نسبت به دو دوره قبل افزایش یافته و به عدد ۰.۵۵ رسیده است. با استفاده از آمار داخلی در ترازنامه، ملاحظه می‌شود که ضریب انرژی ایران در سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۹ به دلیل شرایط ویژه حاکم بر کشور، به خصوص جنگ تحمیلی، روند رشد تولید ناخالص داخلی و همگام با آن رشد مصرف نهایی انرژی، دستخوش تحولات زیادی بوده است. در دوره ۱۳۶۹ تا۱۳۸۰ ضریب انرژی به عدد ۱.۸۲؛ و در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ مجددا مجدداً ضریب انرژی کاهش یافته و به عدد ۱.۳۰ رسیده است. به عبارت دیگر در دوره مزبور، رشد مصرف نهایی انرژی نسبت به رشد تولید ناخالص داخلی متناسب‌تر شده است (تزانامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۶- بهره‌وری انرژی

شاخص بهره‌وری انرژی نیز مانند بهره‌وری نیروی کار و سرمایه، میزان خروجی کالاها و خدمات تولیدی را در مقایسه با ورودی‌ها اندازه‌گیری می‌نماید. با استفاده از این شاخص می‌توان اهداف و سیاست‌های عمومی تقاضا و بهره‌وری انرژی و همچنین رابطه بین تقاضای انرژی و رشد اقتصادی را تحلیل نمود. شاخص بهره‌وری انرژی از تقسیم ارزش تولیدات به مقدار انرژی مصرفی به دست می‌آید (عکس شدت مصرف نهایی انرژی). برای محاسبه بهره‌وری انرژی در سطح ملی می‌توان تولید ناخالص داخلی را بر مقدار مصرف نهایی انرژی تقسیم نمود. بهره‌وری انرژی رابطه مستقیمی با بهای انرژی دارد، به طوری که با افزایش بهای حامل‌های انرژی، بهره‌وری انرژی نیز افزایش می‌یابد. لذا بخشی از این کاهش بهره-وری انرژی طی سال‌های اخیر، ناشی از تثبیت قیمت حامل‌های انرژی بوده است.

۲-۱-۷- سهم هزینه انرژی در کل هزینه‌های خانوار

بررسی متوسط هزینه سالانه انرژی مصرفی خانوارهای شهری و روستایی، به تفکیک دهک‌های مختلف هزینه‌ای در سال ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که هزینه‌های انرژی حدود ۳.۹ درصد از کل هزینه‌های خانوارهای شهری و ۵.۹ درصد از کل هزینه‌های خانوارهای روستایی را به خود اختصاص داده است. بررسی دهک‌های هزینه‌ای نشان می‌دهد که در خانوارهای شهری و روستایی، هرچه سطح درآمد (دهک هزینه‌ای) پائین‌تر باشد، سهم هزینه انرژی خانوار از کل هزینه‌های خانوار افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر سهم هزینه انرژی در کل هزینه‌های خانوار برای خانواده‌های فقیرتر بالاتر است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸- حامل‌های انرژی

طبق تعریف سنتی، انرژی به انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌شود. در این تحقیق سوخت‌های فسیلی نفت و گاز در رده انرژی‌های تجدیدناپذیر و الکتریسیته، انرژی برقآبی، بادی،

خورشیدی و زمین‌گرمایی در دسته‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بررسی قرار می‌گیرند که هر یک را در بخش‌های جداگانه مورد بررسی قرار داده‌ایم. البته انرژی هسته‌ای نیز در ایران رواج دارد ولی به علت مسائل سیاسی از بررسی آن اجتناب شده است.

۲-۱-۸-۱- نفت

۲-۱-۸-۱-۱- میادین و ذخایر نفت خام

میدان‌های نفتی ایران مشتمل بر مخازن و حوضه‌های نفتی واقع در پهنه جغرافیایی ایران می‌باشند. از آنجا که ایران دارای میادین مشترکی با کشورهای عراق، کویت، عربستان، قطر، امارات و عمان می‌باشد، لذا عمده فعالیت‌های اجرایی خود را بر روی این میادین و توسعه آنها متمرکز نموده است. مجموع ذخایر قابل استحصال نفت خام و میعانات گازی کشور در پایان سال ۱۳۹۲، ۱۵۷.۵۲ میلیارد بشکه بوده است. در سال مزبور عمر ذخایر هیدروکربوری مایع ۱۲۸ سال برآورد گردید. ایران به منظور حفظ جایگاه خود در بازارهای بین‌المللی باید در سال‌های آتی ضمن توجه بیشتر به فعالیت‌های اکتشافی بر روی ذخایر متعارف، به ذخایر غیرمتعارف خود در مناطق البرز مرکزی، قالی‌کوه و زردکوه استان لرستان و دشت مغان آذربایجان نیز توجه نماید (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۱-۲- اکتشاف

بر اساس ماده ۱۲۵ قانون برنامه پنجم توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور وزارت نفت اجازه دارد براساس ضوابطی، نسبت به صدور پروانه اکتشاف اقدام نماید. همچنین بر اساس ماده ۱۲۶ قانون مزبور به این وزارتخانه اجازه داده شده است تا در کلیه مناطق کشور قراردادهای بیع متقابل توأم برای اکتشاف و توسعه میادین جدید عقد نماید. عملیات اکتشاف میادین نفتی در سال ۱۳۹۲ منجر به شناسایی ۱۹۶.۲ میلیون بشکه مایعات و میعانات گازی و ۳۵۴.۶ میلیارد متر مکعب گاز خشک (همراه، کلاهک و مستقل) شد.

۲-۱-۸-۱-۳- حفاری

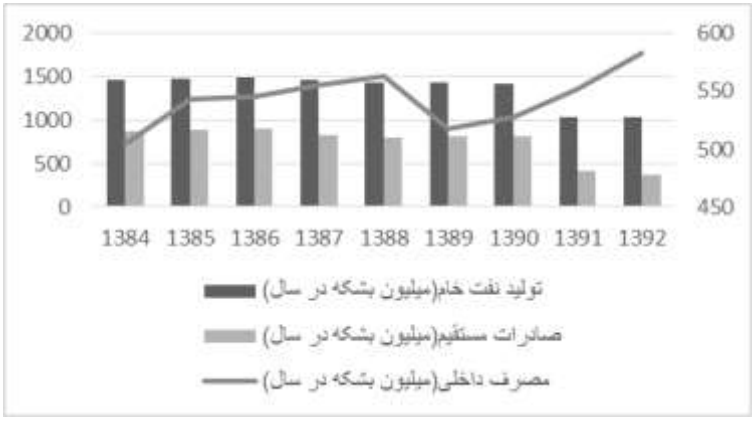
در سال ۱۳۹۲، شرکت ملی حفاری تعداد ۷۴ دستگاه حفاری در اختیار داشته که ۶۸ دستگاه آن در مناطق خشکی و 6 دستگاه در مناطق دریایی فعالیت داشته است. همچنین 20 دستگاه حفاری دیگر نیز در چارچوب پروژه‌های بین‌المللی در خشکی و دریا فعالیت داشته‌اند.

۲-۱-۸-۱-۴- ازدیاد برداشت نفت

استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت از جمله، تزریق گاز و آب با هدف نگهداری فشار و انرژی مخزن از اولویت‌های وزارت نفت برای صیانت از مخازن است. خصوصیات مخزن، نوع سیالات مخزن و سیالات تزریقی و شیوه قرار گرفتن چاه‌های تولیدی و تزریقی، سه عامل مهم در موفقیت روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی است. در حال حاضر، تزریق گاز و آب از مهم‌ترین روش‌های ازدیاد برداشت در مخازن نفت و گاز کشور است. هفت روش شناخته شده در جهان برای ازدیاد برداشت ثانویه از مخازن نفتی شامل تزریق آب، تزریق گاز، تزریق متناوب آب و گاز، روش حرارتی، تزریق فوم و ژل‌های پلیمری، استفاده از مواد شیمیایی کاهش دهنده نیروی کشش سطحی و استفاده از روش میکروبی می‌گردد.

۲-۱-۸-۱-۵- تولید، واردات و صادرات نفت خام

نفت‌خام تولیدی مناطق خشکی، ضمن تأمین خوراک پالایشگاه‌های بندرعباس، آبادان، کرمانشاه، شیراز، اصفهان، اراک، تهران و تبریز، جهت صادرات نیز استفاده می‌شود. همچنین نفت‌خام تولیدی مناطق دریایی بهرگان، خارک و سیری جهت صادرات و منطقه لاوان نیز پس از تأمین خوراک پالایشگاه لاوان، صادر می‌گردد. تولید نفت خام ایران در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال قبل حدود ۰.۸ درصد کاهش داشته است که از عمده دلایل آن تحریم‌ها و محدودیت‌هایی علیه سرمایه‌گذاری، واردات کالا و تجهیزات مربوط به صنعت نفت ایران توسط آمریکا و اروپا می‌باشد.



نمودار (۲-۳) نمودار تولید، صادرات و مصرف داخلی نفت خام در ایران طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۴

منبع: مستخرج از ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲، وزارت نیرو.

۲-۱-۸-۱-۶- تولید، صادرات و مصارف مایعات و میعانات گازی

میعانات گازی هیدروکربن‌های مایع یا مایع شده‌ای هستند که در تجهیزات جداسازی یا (NGL) مایعات گازی تحت عنوان واحدهای فرآوری گاز از گازطبیعی که به وسیله دستگاه‌های تفکیک‌کننده‌ای که بر سر چاه‌ها و یا مراکز جمع‌آوری در میادین گازی نصب می‌گردند، به دست می‌آیند سپس بخشی از آن تحویل پالایشگاه‌های نفت می‌گردد تا به عنوان خوراک در پروسه پالایشی وارد شود و بخش دیگر آن صادر و مقداری نیز به نفت خام صادراتی تزریق می‌شود. این مایعات مصارف متفاوتی همچون افزایش بازیافت نفت در چاه‌های نفت، فراهم ساختن مواد خام برای مجتمع‌های پتروشیمی و غیره دارند. مایعات گازطبیعی معمولاً از گازهای همراه تحویل شده به کارخانجات گاز و گاز مایع به دست می‌آیند. در سال ۱۳۹۲ از کل تولید مایعات و میعانات گازی به میزان ۲۰۱.۷ میلیون بشکه ۴۶.۶ درصد به صادرات، ۳۸.۸ درصد به مجتمع‌های پتروشیمی و ۱۴.۶درصد به سایر مصارف از جمله تحویل به پالایشگاه‌های نفت و شرکت ملی پخش، تزریق، مصارف داخلی و خوراک پالایشگاه گازی مایع و غیره اختصاص داشته است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۱-۷- انتقال نفت خام

به مجموع لوله‌هایی که وظیفه رساندن نفت خام را از نقطه‌ای به نقطه دیگر دارند، خطوط انتقال گویند. در سال ۱۳۹۲، در کل ۶۷.۴ میلیارد لیتر نفت خام توسط خطوط لوله‌ای از مبادی تولید نفت کشور تحویل گرفته شده و کارکرد خطوط لوله نفت خام معادل ۳۲.۶ میلیارد تن کیلومتر بوده است. بیش از 10درصد نفت خام صادراتی جهان، با در نظر گرفتن طولانی بودن فاصله بین کشورهای واردکننده و صادرکننده نفت، توسط کشتی حمل می‌گردد. بیشترین موارد حمل و نقل کالا در ایران، به انتقال نفت و فرآورده‌های نفتی مربوط می‌گردد که از طریق دریا و توسط کشتی انجام می‌گیرد و ترمینال جزیره خارک در این مورد، نقش عمده‌ای را ایفا می‌نماید. در سال ۱۳۹۲، بالغ بر ۹۷.۵ میلیون تن نفت خام از طریق کشتی‌های شرکت ملی نفتکش ایران به پالایشگاه‌های داخلی و بازارهای جهانی حمل گشته است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۱-۸-پالایش نفت و تولید فرآورده‌های نفتی

بخش پالایش نفت ایران توسط ۹ پالایشگاه داخلی با ظرفیت اسمی پالایش نفت خام و میعانات گازی به میزان ۱۸۲۵هزار بشکه در روز به منظور تأمین نیازهای انرژی داخل کشور، تأمین بخشی از خوراک صنایع و واحدهای پتروشیمی و صادرات پاره‌ای از فرآورده‌های مازاد بر مصرف داخلی فعالیت دارد. در سال ۱۳۹۲، عملکرد واقعی پالایشگاه‌های کشور ۱۸۵۹.۹ هزار بشکه نفت و میعانات گازی در روز بوده است. طی سالیان اخیر، وزارت نفت اقدامات متعددی را در زمینه احداث پالایشگاه‌های جدید، توسعه و بهینه‌سازی پالایشگاه‌ها و طرح‌های بنزین سازی انجام داده که برآورد می‌گردد طرح‌های مزبور حداکثر تا سال ۱۳۹۷ به بهره‌برداری برسند (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۱-۹- واردات و صادرات فرآورده‌های نفتی

در سال ۱۳۹۲، صادرات فرآورده‌های عمده نفتی کشور شامل نفت کوره و نفت گاز بوده که به طور عمده از پایانه‌های صادراتی بندرعباس، بندر ماهشهر و لاوان صورت گرفته است. در این سال، صادرات

نفت کوره نسبت به سال قبل به میزان ۴۷.۵ درصد افزایش و صادرات نفت گاز نسبت به سال قبل ۵۹.۵ درصد کاهش داشته است. میزان فروش نفت کوره به کشتی‌های بین‌المللی در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال قبل نیز به میزان ۶۴.۸ درصد افزایش داشته است. کاهش صادرات نفت گاز در سال مزبور، به دلیل نیاز بخش‌های صنعتی و نیروگاهی به نفت گاز می‌باشد که بیش از نیاز بخش خانگی به این فرآورده است. توسعه شبکه حمل و نقل و صنایع و افزایش نیاز این بخش‌ها به نفت‌گاز سبب گردیده تا صادرات این فرآورده در سال مزبور کاهش یابد. در سال ۱۳۹۲، به استثنای واردات بنزین موتور، واردات سایر فرآورده‌های عمده نفتی کاهش داشته است. بررسی روند مصرف بنزین در کشور طی سال‌های گذشته نشان می‌دهد که همواره روند مصرف بنزین در ایران بالاتر از میزان تولید بوده است. در فاصله سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ و با اجرای طرح سهمیه‌بندی بنزین و همچنین قانون هدفمندی یارانه‌ها، افزایش مصرف بنزین تا حدودی مهار شده است. در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به دلیل ثابت ماندن قیمت بنزین و افزایش تورم، مصرف این فرآورده نفتی مجدداً روند افزایشی داشته است. فاصله مصرف و تولید بنزین قاعدتاً از طریق واردات تأمین می‌گردد و طی سال‌های ۹۰-۱۳۸۶ واردات این فرآورده کاهش یافته بود، اما مجدداً در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ افزایش یافته است. یک سوم از بنزین یورو 4 مورد مصرف در کشور از طریق واردات تأمین می‌شود که قرار شده است جای بنزین تولیدی پتروشیمی‌ها را بگیرد.

۲-۱-۸-۱-۱۰-انتقال فرآورده‌های نفتی

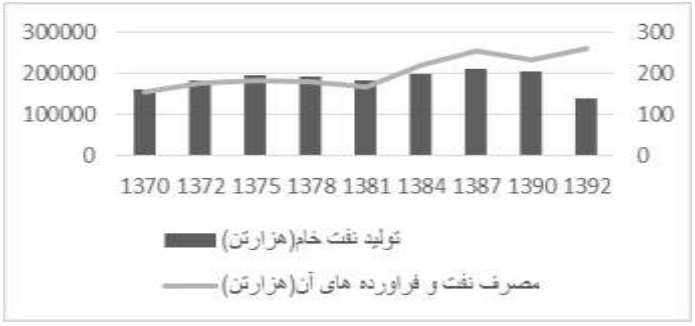
عملیات انتقال فرآورده‌های نفتی در ایران از طریق خطوط لوله، مخزن‌دارهای راه آهن، نفتکش‌های جاده‌پیما، گازکش‌های جاده‌پیما، شناورهای سوخت‌رسان و کشتی‌های سوخت رسان صورت می‌گیرد. بیشترین سهم انتقال فرآورده‌های نفتی در سال ۱۳۹۲ متعلق به خطوط لوله (با ۶۱.۳ درصد از کل عملکرد انتقال) است که حجم انتقال فرآورده‌های نفتی توسط خطوط لوله به میزان ۷۲۳ میلیون تن کیلومتر نسبت به سال گذشته افزایش داشته است.

۲-۱-۸-۱-۱۱- مخازن نگهداری نفت خام و فرآورده‌های نفتی

در سال 1392، ظرفیت کل ذخیره‌سازی نفت و میعانات گازی در انبارهای پالایشگاهی برابر با ۲۰.۱ میلیون بشکه بوده که نسبت به سال گذشته، افزایشی معادل ۳.۷ میلیون بشکه داشته است. این امر به دلیل افزایش ظرفیت انبارهای نگهداری نفت خام و میعانات گازی در 4 پالایشگاه آبادان، اصفهان، تبریز و شیراز بوده است. در این سال، ظرفیت ذخیره‌سازی انبارهای نفت خام پالایشگاهی به طور متوسط برای ۹.۵ روز کفایت می‌کرده است. این ظرفیت برای برخی از پالایشگاه‌های کشور نظیر آبادان، اصفهان، تبریز، شیراز، لاوان و بندرعباس کمتر از 90 روز و برای پالایشگاه‌های اراک، تهران و کرمانشاه بین ۱۱ تا ۲۳ روز می‌باشد.

۲-۱-۸-۱-۱۲- مصرف فرآورده های نفتی

در این قسمت ابتدا به صورت کلی و سپس با تشریح جزئیات مقدار مصرف نفت و فرآورده‌های آن بیان می‌شود. طبق نمودار (۲-۴) میزان مصرف نفت و فرآورده‌های آن در سال‌های اخیر خصوصا از سال ۱۳۸۷ تاکنون در مقدار بسیار بالایی قرار داشته و در سال ۱۳۹۲ میزان مصرف این حامل انرژی از میزان تولیدات داخل بسیار بیشتر بوده است.



نمودار (۲-۴) میزان تولید و مصرف نفت و فرآورده های نفتی در ایران طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۷۰

❖ **بنزین**

در سال ۱۳۹۲، مصرف بنزین نسبت به سال گذشته به دلیل افزایش سالانه تولید خودرو، تردد وسائط نقلیه، افزایش تعداد مصرف‌کنندگان بخش کشاورزی در برخی از مناطق و ... به میزان ۷.۸ درصد افزایش داشته است.

❖ نفت سفید

نفت چراغ یا نفت سفید، که در زبان گفتاری نفت نامیده می‌شود، یکی از ترکیبات نفتی و مواد سوختی است. مصرف نفت سفید در سال ۱۳۹۲در مقایسه با سال گذشته کاهش داشته است. البته از سال ۱۳۹۱ شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران مقداری نفت‌سفید را به نیروگاه‌ها تحویل داده که پس از ممزوج شدن با نفت گاز در نیروگاه مورد استفاده قرار گرفته است. میزان مصرف نفت سفید نیروگاهی در سال ۱۳۹۲ تقریباً ۲.۳ برابر سال قبل می‌باشد.

❖ نفت گاز

نفت گاز یا گازوئیل به عنوان سوخت موتورهای دیزلی و تأسیسات حرارتی بکار می‌رود. در سال ۱۳۹۲، مصرف نفت گاز با ۱۳.۲ درصد افزایش نسبت به سال گذشته به ۳۹۹۵۹.۷ میلیون لیتر رسید. در سال مورد بررسی، مصرف نفت‌گاز در بخش‌های عمومی، تجاری و کشاورزی نسبت به سال قبل به ترتیب به میزان ۷.۴، ۱۰.۰ و ۱.۰ درصد کاهش و در بخش صنعت نسبت به سال قبل ۱۲.۵ درصد افزایش داشته است. بخش حمل و نقل با داشتن سهمی حدود ۵۱.۱ درصد، بزرگترین مصرف‌کننده نفت‌گاز کشور است.

❖ نفت کوره

نفت‌کوره یا مازوت یکی از هیدروکربن‌های نفتی است. در سال ۱۳۹۲، مصرف نفت کوره به ۱۸۸۷۳.۸ میلیون لیتر رسید که نسبت به سال گذشته ۲.۱ درصد افزایش داشته است. این افزایش عمدتاً ناشی از افزایش مصرف بخش‌های حمل‌ونقل و نیروگاهی می‌باشد. در سال ۱۳۹۲، واحدهای نیروگاهی بخش

خصوصی نیز مصرف نفت کوره داشته‌اند. در این سال، بیشترین کاهش مصرف این فرآورده نسبت به سال قبل مربوط به بخش کشاورزی به میزات ۴۶.۵ درصد می‌باشد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

❖ گاز مایع

گاز مایع (یا همان ال‌پی‌جی[4]) برای کاربردهای گرمایشی، سوخت وسایل نقلیه، در ساخت افشانه‌ها و به عنوان گاز خنک‌کننده در وسایل سرمازا همچون یخچال و فریزر استفاده می‌شود. در سال ۱۳۹۲ با ۱.۲ درصد افزایش نسبت به سال قبل به ۲۲۲۷.۹ هزار تن رسید.

۲-۱-۸-۱-۱۳- قیمت نفت‌خام و فرآورده‌های نفتی

قیمت نفت‌خام در سال ۲۰۱۳ در سطح جهانی دارای نوسان بوده است. این نوسانات به عواملی از جمله نهایی نشدن بحث بودجه آمریکا، وجود اختلاف نظر در زمینه مالیات‌ها، افت تولید نفت‌خام شرکت ملی نفت برزیل و تولید نفت‌خام مکزیک، افزایش ارزش دلار در مقابل یورو، تداوم بحران مالی منطقه یورو و نگرانی اقتصادی در این منطقه، افت تولید نفت خام نیجریه در پی رشد سرقت‌های حمل-ونقل نفت‌خام، ناآرامی‌های سیاسی در منطقه خاورمیانه و نگرانی معامله‌گران از بروز اختلال در مبادی استراتژیک حمل‌ونقل نفت‌خام، تمدید معافیت کشورهای چین، هند، مالزی، کره‌جنوبی، سنگاپور، آفریقای‌جنوبی، سریلانکا و ترکیه از تحریم‌های مالی آمریکا علیه معاملات نفتی ایران، افزایش ارزش شاخص‌های بورس در بازارهای جهانی، تقویت احتمال تثبیت سهمیه‌های تولید اوپک به رغم ذخیره سازی‌های بالای نفت، رشد کند تقاضا و اقتصاد ضعیف جهان، مربوط می‌گردد. در داخل کشور، بیشترین افزایش قیمت اسمی فروش فرآورده‌های نفتی بعد از هدفمند کردن یارانه‌ها به بنزین و گاز مایع مربوط می‌گردید. در سال ۱۳۹۲، قیمت اسمی فروش فرآورده‌های نفتی بعد از هدفمند کردن

4 Liquefied Petroleum Gas

یارانه‌ها تغییری نکرده که این امر سبب افزایش مصرف بعضی از حامل‌ها از جمله بنزین در کشور شده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۲- گازطبیعی

۲-۱-۸-۲-۱- میادین و ذخایر گاز طبیعی

میدان گازی به مخازن طبیعی گاز طبیعی می‌گویند که در طی میلیون‌ها سال در اثر فعل و انفعالات شیمیایی بر روی بقایای جانداران مدفون شده در زمین بوجود می‌آید. این میادین را می‌توان اغلب در کنار میادین نفتی یافت. میدان‌های گازی ایران با میزان ذخیره ۲۷ تریلیون متر مکعب، رتبه دوم میدان های گازی جهان از لحاظ حجم گازطبیعی جای داده شده در خود، دارا هستند. این ذخایر غالباً در میدان گازی، کلاهک‌های نفتی و یا همراه با نفت در میادین نفتی هستند. میدان گازی پارس جنوبی، بزرگترین میدان گازی جهان است که در صورت برداشت کامل گاز این میدان، انرژی ۱۰ سال کل ساکنان کره زمین تأمین می‌شود (مصلح و همکاران، ۱۳۸۷). این میدان گازی بین ایران و قطر مشترک است. ذخیره بخش ایرانی میدان ۱۳.۳ تریلیون مترمکعب گاز درجا و ۱۹ میلیارد بشکه میعانات گازی (۹ میلیارد بشکه قابل برداشت) است که ۵۰ درصد ذخایر گازی ایران و ۸ درصد از ذخایر گازی جهان را در خود جای داده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۳). در سال ۱۳۹۲، تعداد 28 میدان فعال گازی در مناطق خشکی و دریایی وجود داشتند. میزان کل ذخایر قابل استحصال ۳۳.۸۵ تریلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۲ رسید (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۲-۲-تولید گاز غنی

گاز خروجی از میادین نفتی و یا کلاهک‌های گازی و یا میادین مستقل گازی را اصطلاحاً "گاز غنی[5]" می‌گویند که به صورت گاز کلاهک، سازنده‌های گازی و گاز میادین مستقل قابل دسترسی می‌باشد. کل تولید گاز غنی در سال ۱۳۹۲، روزانه ۶۳۴.۸ میلیون متر مکعب بود که ۳۱۶.۶ میلیون متر مکعب آن از مناطق خشکی و ۳۱۸.۲ میلیون متر مکعب ان از مناطق دریایی تولید شده است. در سال ۱۳۹۲، از کل گاز غنی مصرفی کشور، ۸۱.۹ درصد در پالایشگاه‌های گاز و واحدهای نم‌زدایی و ۹.۴ درصد در کارخانجات گاز و گاز مایع مصرف شده است. همچنین ۴.۱ درصد آن به صورت گازهای قابل جمع‌آوری به مصرف رسیده است.

۲-۱-۸-۲-۳- تولید گوگرد[6]

گوگرد، دیگر فرآورده ارزشمند صادراتی گاز ایران می‌باشد. گاز طبیعی و نفت مهم‌ترین ذخایر گوگرد در جهان امروز به شمار می‌آیند. در سال ۱۳۹۲ بیش از ۹۷۶.۹ هزار تن گوگرد تولید شده است. میزان صادرات گوگرد در سال ۱۳۹۲ حدود ۸۳۱.۲ هزارتن بوده است. به عبارتی بیش از ۸۵.۱ درصد گوگرد تولیدی از پالایشگاه‌های گاز، صادر و مابقی در صنایع داخلی مصرف شده است.

۲-۱-۸-۲-۴- تزریق گاز و آب به میادین نفتی

تزریق گاز به میدان نفتی فرآیندی است، که جهت جلوگیری از کاهش فشار نفت مخزن و در نتیجه تثبیت میزان استخراج نفت از یک مخزن نفتی در طول زمان انجام می‌شود. این روش از دهه ۱۹۵۰ میلادی در سطح بین‌المللی استفاده شده است و به دلیل کم‌هزینه بودن در مقایسه با حفر چاه‌های

5 Enriched Gas
6 Sulphur

جدید مورد استقبال قرار گرفت. در این روش از گازهای هیدروکربن، گازکربنیک و ازت استفاده می‌شود. هدف از تزریق گاز به مخازن نفتی، افزایش ضریب بازیافت نفت از مخازن و ایجاد ظرفیت برای تبدیل نفت خام درجا به نفت قابل استحصال از مخازن است. بر اساس اعلام کارشناسان هم-اکنون بیشتر مخازن نفتی بزرگ و اصلی کشور نیمه دوم عمر خود را سپری می‌کنند و به تزریق گاز نیاز دارند. بر اساس برآوردهای کارشناسی، تزریق هر یک میلیون فوت مکعب گاز طبیعی به مخازن نفت، موجب افزایش ضریب بازیافت و برداشت به طور متوسط حدود ۱۵۰ بشکه نفت اضافی می‌شود. باید در نظر داشت که تنها تزریق مقدار کافی از گاز به مخازن موجب افزایش ضریب بازیافت نمی‌شود و لازم است تزریق گاز در زمان مناسبی انجام شود. از این رو تدوام و رشد تولید نفت در سال‌های آینده وابسته به پایداری فشار مخازن است که این مهم از طریق تزریق به موقع و حجم کافی گاز امکان پذیر خواهد بود. پرواضح است که در صورت بهینه سازی مصرف گاز در کشور و افزایش سهم تزریق گاز به میدان‌های نفتی، ضمن افزایش ضریب بازیافت مخازن نفتی، شرایطی برای صادرات گاز در دهه‌های آینده فراهم خواهد شد (درخشان، ۱۳۸۹).

۲-۱-۸-۲-۵-پالایش گاز طبیعی

پالایشگاه گاز، واحد پردازشی است که از آن برای خالص و بهینه کردن خواص گاز استخراجی از چاه-های گاز استفاده می‌گردد تا گاز به صورت قابل مصرف در مصارف عمومی تبدیل شود. ظرفیت پالایشگاه‌های گاز کشور در سال ۱۳۹۲، روزانه ۵۴۷.۸ میلیون متر مکعب می‌باشد. به تناسب افزایش مصرف در داخل کشور و همچنین متناسب با افق ترسیمی در سند چشم‌انداز توسعه به منظور حضور در بازار جهانی گاز ظرفیت تولید، پالایش و نمزدایی گاز طبیعی در ایران از روند رو به رشد برخوردار بوده و با در نظر گرفتن طرح‌های توسعه‌ای این روند همچنان ادامه خواهد داشت (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۲-۶- انتقال گاز طبیعی

با توجه به اهمیت گاز طبیعی به عنوان یکی از منابع مهم انرژی و روند رو به رشد مصرف آن در جهان و نیز با توجه به در دست داشتن ذخایر عظیم گاز طبیعی، ضرورت ساخت تجهیزات تولید، فرآوری و مهم‌تر از آن انتقال گاز طبیعی به بازار مصرف افزایش می‌یابد. اما از آنجا که اکثر میادین گاز طبیعی در جهان دور از بازار مصرف هستند، هزینه‌های مربوط به تولید، فرآوری و انتقال گاز طبیعی زیاد است. در چنین وضعیتی انتقال گاز به وسیله راه کارهای جدید همراه با کاهش هزینه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همین مسئله باعث ایجاد روش‌های مختلف برای انتقال گاز طبیعی شده است که از جمله مهم‌ترین روش‌های فروش و صادرات عبارتند از خطوط لوله، گاز طبیعی مایع شده (LNG)، گاز طبیعی متراکم شده (CNG)، هیدرات گاز طبیعی (NGH)، تبدیل گاز به فرآورده‌های مایع (GTL) و سپس فروش فرآورده‌های مایع، استفاده از انرژی گاز برای تولید جریان الکتریسیته (GTW) و سپس فروش برق و بالاخره استفاده از انرژی گاز برای تولید محصولات با ارزش مورد نیاز (GTC)و فروش آنها. انتقال گاز طبیعی به فواصل دور (مکان‌هایی که امکان صدور گاز از طریق خط لوله میسر نیست) به صورت هیدرات گازی یا CNG با قیمت کمتر از LNG امکان‌پذیر و عملی است. مزیت رقابتی NGH یا CNG بر سایر روش‌های انتقال (غیر از خط لوله) این است که آنها روش‌های ساده‌ای هستند و هزینه سرمایه کمتری نیاز دارند. روش مورد استفاده برای صادرات گاز ایران از دو طریق ارسال با خط لوله و یا به صورت گاز طبیعی مایع شده (LNG) می‌باشد.

۲-۱-۸-۲-۷- ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی

ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی، که امروزه به ذخایر استراتژیک کشورها تبدیل شده، نقش مهمی در برقراری توازن لازم بین عرضه و تقاضا در فصول مختلف سال، تاثیر گذاری بیشتر در بازارهای جهانی انرژی و اجرای به موقع تعهدات بین‌المللی صادرات گاز کشور ایفاء می‌کنند (آذین،

۱۳۸۸). مخازن زیرزمینی ذخیره‌سازی گاز یک روش متداول و شناخته شده در جهان برای جبران کمبود گاز مورد نیاز و پوشش مازاد مصرف در فصول سرد است (شفیعی و همکاران، ۱۳۹۲). هدف از ذخیره‌سازی گازطبیعی، اوج‌سائی مصارف زمستان، تأمین گاز در مواقع اضطراری و انعطاف در سیستم-های انتقال گاز می‌باشد. مصرف گاز در ایران در ماه‌های سرد، بسیار بیشتر از ماه‌های گرم سال است. به عبارتی می‌توان از ظرفیت‌های اضافی بالقوه تولید در ماه‌های گرم سال برای تأمین نیاز ماه‌های سرد به صورت ذخیره‌سازی استفاده نمود. با توجه به این که بخش قابل توجهی از مصرف‌کنندگان گاز در قسمت‌های کوهستانی و سردسیر ایران قرار دارند، چالش پایداری عرضه گاز در فصول سرد سال عمیق-تر هم می‌شود. در حال حاضر اجرای طرح‌های ذخیره‌سازی، به خصوص بررسی ذخیره‌سازی در مخازن هیدروکربوری تخلیه شده از اهمیت خاصی برخوردار است. با در نظر داشتن کمبودهای ناشی از تحریم-ها و تأثیر آنها بر پالایش گاز از سویی و متأسفانه فرهنگ نادرست مصرف گاز در بین مصرف‌کنندگان، سبب شده کمبود گاز در ماه‌های سرد سال به مسئله بسیار جدی تبدیل گردد. از این رو ایجاد و بهره-گیری از مخازن گاز از مدت‌ها قبل در دستور کار شرکت ملی گاز ایران قرار گرفته است.

۲-۱-۸-۲-۸- صادرات و واردات گاز طبیعی

گاز در سال‌های اخیر، سریع‌ترین نرخ رشد را در میان انرژی‌های اولیه در بازار جهانی به خود اختصاص داده است؛ به گونه‌ای که میزان ذخایر گاز طبیعی جهان ظرف دو دهه گذشته از ۸۳ میلیارد متر مکعب به ۱۷۰ میلیارد متر مکعب رسیده است. بنابراین اگر بحث سیاست گاز را در حد و اندازه میزان کنونی عرضه در کشور در نظر بگیریم، شاید اصلا گاز چندانی برای صادرات وجود نداشته باشد. در چنین بستری جمهوری اسلامی ایران، فضای زیادی برای تحرک بین‌المللی در اختیار ندارد. در آینده نه چندان دور، آنچه هم اکنون از آن به عنوان "دیپلماسی نفتی" نام برده می‌شود، به صورت "دیپلماسی گازی" مطرح می شود. صادرات گاز دنیا به طور عمده با خط لوله انجام می‌شود. البته صادرات در قالب LNG هم بر محدودیت صدور از طریق لوله برتری دارد. روسیه به عنوان دارنده

اصلی بازارهای جهانی گاز، برای صدور گاز خود به بازار نهایی مصرف باید حداقل از مرز هفت کشور بگذرد. این نشان می‌دهد که چه تعداد کشور در زمینه صادرات و مصرف گاز نقش دارند. روسیه به امنیت مرزهای متعدد نیاز دارد و اتحادیه اروپا هم خواهان امنیت مرزهای ترانزیت است. به عبارت دیگر، خطوط بین‌المللی گاز ضرورت امنیت متقابل کشورها را جدی می‌سازد (طیب، ۱۳۹۲).

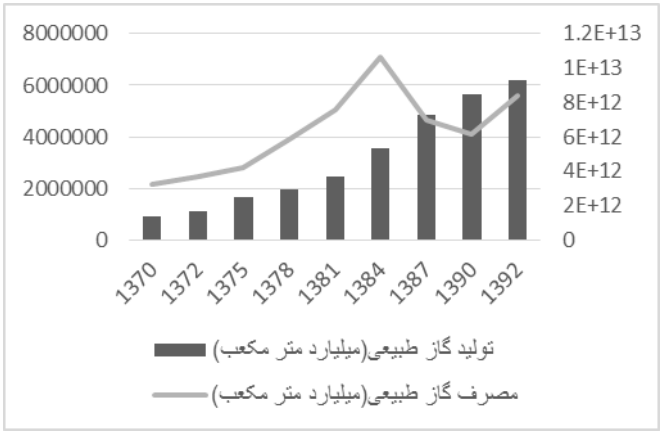
موقعیت استراتژیک و امتیازات و مزایای بازار گاز ایران در یک نگاه شامل موارد زیر می باشد که مورد توجه مصرف‌کنندگان قرار می گیرد:

کوتاه‌ترین مسیر به بازارهای جهانی، دارا بودن زیر ساختارهای عظیم انتقال گاز به خارج از کشور، حداقل سرمایه‌گذاری مورد نیاز، امکان ترانزیت به ترکیه و کشورهای اروپایی و کشورهای حوزه خلیج فارس، امکان سوآپ گاز به کشورهای مجاور، وجود مصرف‌کنندگان عمده بالقوه، داشتن بالغ بر ۲۸ تریلیون متر مکعب ذخایر تثبیت شده و رتبه دوم جهان از این منظر توان تولید با روند کنونی تولید تا صد سال آینده، داشتن رتبه چهارم در میان تولیدکنندگان که در ۲۰ سال آینده به رتبه سوم خواهد رسید، دارا بودن زیرساخت‌های لازم برای صادرات و سوآپ گاز و ترانزیت به اروپا، آسیای شرقی و کشورهای حاشیه خلیج فارس مسیرهای صادراتی گاز ایران و اروپا (شرکت ملی گاز ایران، ۱۳۸۹).

توسعه‌ی تکنولوژی از دیگر اقدامات اساسی در زمینه گسترش صادرات است. در خصوص واردات گازطبیعی هم می‌توان گفت حجم واردات گازطبیعی در جهان از جمله کشورهای منطقه جنوب شرقی آسیا به عنوان بزرگترین واردکنندگان کنونی LNG وکشورهای OECD در حال افزایش است. در ایران نیز عمدتا واردات گاز طبیعی به صورت سوآپ گاز انجام می‌شود و غالباً از آذربایجان و ترکمنستان صورت می‌پذیرد (ارشدی و تیموری، ۱۳۸۹).

۲-۱-۸-۲-۹- مصرف گاز طبیعی[۷]

گاز طبیعی که معمولاً گاز گفته می‌شود نوعی سوخت فسیلی گازی شکل است. مصرف این گاز در نیمه دوم قرن اخیر در کشورهای صنعتی به سرعت رو به افزایش نهاد. هر چند ذخایر تأیید شده گاز از نظر انرژی، تقریباً معادل ذخایر معادل تأیید شده نفت است، اما مصرف روزانه آن، کمتر از نفت می‌باشد. گاز طبیعی نه تنها به عنوان سوخت، بلکه مهمترین ماده خام سنتزهای شیمیایی نیز می‌باشد.



نمودار (۲-۵) میزان تولید و مصرف گاز طبیعی در ایران طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۷۰

مطابق با نمودار (۲-۵) که مصرف گاز طبیعی را در کلیه بخش‌ها نشان می‌دهد طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۰ مصرف بیش از میزان تولیدات بوده است و بعد از آن نیز در سطح بسیار بالایی قرار داشته است. گازطبیعی در دو بخش مصارف نهایی و مصارف بخش انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال ۱۳۹۲ مصارف نهایی و مصرف بخش انرژی گازطبیعی ۱۵۲.۸ میلیارد متر مکعب بود که نسبت به سال قبل ۱.۰ درصد افزایش داشت .در این سال سهم مصارف نهایی و مصارف بخش انرژی به ترتیب ۶۸.۸ و ۳۱.۲ درصد بود. در سال ۱۳۹۲سهم مصارف نهایی نسبت به سال قبل ۴.۴ درصد افزایش و در مقابل سهم مصارف بخش انرژی ۷.۸ درصد کاهش داشت.

7 Natural gas

۲-۱-۸-۲-۱۰- قیمت گازطبیعی

تعرفه‌های گازطبیعی به سه بخش اصلی عمومی، صنعتی و خانگی تقسیم می‌شود. تعرفه هر مترمکعب گاز خانگی بر اساس تعرفه ۷ ماه ابتدای سال ۱۳۹۲، ۱۳۰۰ ریال و در ۵ ماهه دوم سال ۸۰۰ ریال تعیین گردیده است. در سال ۱۳۹۲، متوسط قیمت فروش در این بخش ۵۱۴ ریال بر متر مکعب بوده است. (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۳- برق

صنعت برق به عنوان صنعت زیربنایی و مادر نقش مهمی در توسعهٔ اقتصادی و رفاه جوامع دارد. اهمیت برق از آن جهت است که به دلیل امکان به کارگیری تکنولوژی‌های مدرن‌تر و نیز ملاحظات زیست‌محیطی، در تمامی زمینه‌های فعالیت می‌تواند به عنوان انرژی مناسب انتخاب شود. با پیشرفت و توسعهٔ تکنولوژی، کوچک‌سازی و افزایش بهره‌وری سیستم‌ها و تجهیزات، با برقی شدن تجهیزات همراه است به این معنی که بسیاری از فناوری‌هایی که از انرژی دیگری در آنها استفاده می‌شده، برقی می‌شوند و این خود دلیل محکمی است که باید به این انرژی مهم توجه جدی شود (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

۲-۱-۸-۳-۱- ظرفیت اسمی و عملی نیروگاه‌ها

چند شاخص مهم در این صنعت وجود دارد. یکی ظرفیت اسمی نیروگاه است اما شاخصی به اسم ظرفیت عملی وجود دارد که چون نیروگاه به دلایلی از جمله اختلاف با سطح دریا و مواردی از این قبیل قادر به تحویل تمامی ظرفیت اسمی خود نمی‌باشد، به مقداری کمتر از ظرفیت اسمی خود برق می‌تواند تولید نماید که به آن ظرفیت عملی می‌گویند که هرچقدر نیروگاه اختلاف سطح کمتری با دریا داشته و جدیدتر باشد این ظرفیت عملی نیز بیشتر می‌باشد. در سال ۱۳۹۲، ۱۰۰ درصد جمعیت شهری و ۹۹.۸ درصد جمعیت روستایی کشور از نعمت برق برخوردار بوده‌اند. در این سال،

انرژی برق مورد نیاز کشور توسط نیروگاه‌های وابسته به وزارت نیرو، صنایع بزرگ و بخش خصوصی متشکل از ۲۵ نیروگاه بخاری، ۶۱ نیروگاه گازی و ۲۱ واحد تولید پراکنده (CHP-DG)، ۱۸ نیروگاه سیکل ترکیبی، ۴۶ نیروگاه دیزلی، ۴۸ نیروگاه آبی (بزرگ، متوسط، کوچک و مینی)، ۱۸۲ توربین بادی، ۴ واحد فتوولتاییک، ۳ نیروگاه بیوگاز سوز تأمین شده است. در سال ۱۳۹۲، ۱۴ واحد تولید پراکنده (DG)، ۱ واحد نیروگاه گازی، ۴ واحدهای نیروگاه سیکل ترکیبی، ۲ واحد نیروگاهی برق‌آبی و ۲ واحد نیروگاه بادی راه‌اندازی شدند. البته در این سال ۴۷.۷ مگاوات نیروگاه ری نیز از مدار خارج گردید (صبوری کارخانه ، ۱۳۹۳).

۲-۱-۸-۳-۲- راندمان نیروگاه‌ها

راندمان نیروگاه‌ها از عوامل متعددی نظیر عمر نیروگاه، نوع سوخت مصرفی، کیفیت سوخت مصرفی، شرایط محیطی و وضعیت بهره‌برداری، نسبت میزان تولید برق به ظرفیت اسمی و میزان خروج نیروگاه از مدار و ... تاثیر می‌پذیرد. راندمان باعث می‌شود تا قیمت تمام شده‌ی کالاهای تولید شده کاهش یابد. راندمان نیروگاه‌ها یکی از عوامل موثر در میزان مصرف سوخت آنهاست و بهبود راندمان موجب می‌شود فعالیت نیروگاه‌ها اقتصادی‌تر شود. در حال حاضر راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور نامناسب است و اگر نیروگاه‌ها بخواهند قیمت واقعی سوخت مصرفی را پرداخت کنند، فعالیت آنها به صرفه نخواهد بود. متوسط راندمان کل نیروگاه‌های حرارتی برق کشور در سال ۱۳۹۲ ، با ۰.۲ درصد کاهش نسبت به سال قبل به ۳۷ درصد رسید. در این سال راندمان نیروگاه‌های وزارت نیرو، بخش خصوصی و صنایع بزرگ به ترتیب ۳۶.۴، ۳۷.۶ و ۳۵.۱ درصد بوده است. این در حالی است که متوسط راندمان کل نیروگاه‌ها با ۰.۵درصد افزایش از ۳۹.۴ به ۳۹.۹ درصد رسیده است. افزایش راندمان کل نیروگاه‌های کشور با هدف تعیین شده در برنامه پنجم توسعه (افزایش یک درصد در سال) فاصله دارد اما همین میزان افزایش نیز نشان‌دهنده جهت‌گیری صحیح در اقدامات مربوط به افزایش راندمان

نیروگاه‌ها می‌باشد. یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر میزان تولید برق در کشور، بازدهی نیروگاه‌های حرارتی است.

۲-۱-۸-۳-۳- تولید انرژی الکتریکی

تولید برق تابعی از مصرف مشترکین مختلف است. بنابراین تولید برق بایستی با توجه به نیاز مصرف برق مشترکین و میزان تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع و مصارف داخلی صورت گیرد. تولید انرژی الکتریکی نیروگاه‌های کشور در سال ۱۳۹۲ به ۲۶۲.۴ تراوات ساعت رسید که نسبت به سال قبل از آن حدود ۳.۵ درصد رشد داشته است.

۲-۱-۸-۳-۴- سوخت مصرفی نیروگاه‌ها

در شرایط کمبود گازطبیعی در ماه‌های سرد سال، نیروگاه‌ها به ناچار از سوخت‌های جایگزین یعنی نفت‌گاز برای نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی و نفت‌کوره برای نیروگاه‌های بخاری استفاده می‌نمایند. لذا نحوه تأمین گازطبیعی، عملکرد نیروگاه‌ها را متأثر و محدودیت‌هایی را در بهره‌برداری از شبکه برق ایجاد نماید. به طوری که در فصل سرما، اساسی‌ترین مسئله در تولید برق، تأمین سوخت نیروگاه‌ها می‌باشد. قطع سوخت گاز، محدودیت حمل و ذخیره‌سازی سوخت مایع، منجر به خروج واحدها از مدار، استهلاک واحدها و تجهیزات و همچنین در برخی مواقع خاموشی می‌گردد. در سال ۱۳۹۲ در کل صنعت برق کشور ۳۶.۶ میلیارد مترمکعب گازطبیعی، ۱۵.۳ میلیارد لیتر نفت کوره، ۱۲.۲ میلیارد لیتر نفت گاز، ۲.۳ میلیارد مترمکعب گاز کوره بلند و تنها ۲.۳ میلیون مترمکعب گاز کک مورد استفاده قرار گرفته است. گازطبیعی با ۵۵.۹ درصد عمده‌ترین سهم را در سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور به خود اختصاص داده است. پس از گازطبیعی، سوخت نفت‌کوره، نفت‌گاز و سایر سوخت‌ها به ترتیب ۲۵.۳، ۱۸.۳ و ۰.۷ درصد بوده‌اند.

۲-۱-۸-۳-۵- مصرف داخلی و تلفات

بخشی از انرژی برق تولید شده در هر نیروگاه برای استفاده در تجهیزات و ماشین‌آلات همان نیروگاه به مصرف می‌رسد. به همین جهت، انرژی تحویل داده شده به شبکه‌های انتقال در خروجی نیروگاه‌ها، کمتر از مقداری است که وسایل اندازه‌گیری مولدها نشان می‌دهند. در سال ۱۳۹۲، مصرف داخلی نیروگاه‌های کشور ۳.۵ درصد از کل تولید برق کشور را در بر گرفته است.

۲-۱-۸-۳-۶- شبکه‌های انتقال و توزیع

انرژی تولید شده در نیروگاه‌ها از طریق خطوط انتقال و فوق توزیع به مبادی شبکه‌های توزیع منتقل شده و در نهایت از طریق شبکه‌های توزیع به مصرف‌کننده نهایی تحویل داده می‌شوند. در حال حاضر متداول‌ترین سطح ولتاژ خطوط انتقال در سیستم برق‌رسانی کشور ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت و در سطح ولتاژ خطوط فوق توزیع ۱۳۲، ۶۶ و ۶۳ کیلوولت می‌باشد. البته اخیراً پروژه‌های خط و پست با ولتاژ ۷۶۵ کیلوولت از جنوب به مرکز کشور به تصویب رسیده و در مرحله مطالعاتی است.

۲-۱-۸-۳-۷- پست‌های انتقال و توزیع

پست برق تأسیساتی است که در مسیر تولید، انتقال یا توزیع انرژی الکتریکی، ولتاژ را به وسیله ترانسفورماتور به مقادیر بالاتر یا پایین‌تر تغییر می‌دهد. در سال ۱۳۹۲، بالغ بر ۵۷۲.۶ هزار ترانسفورماتور با ظرفیت ۳۹۷۲۱۲ مگاولت آمپر در کشور وجود داشته است.

۲-۱-۸-۳-۸- مبادلات انرژی الکتریکی

تبادل برق ایران با سایر کشورها مزیت‌هایی از جمله: دسترسی به بازارها و مراکز جدید مصرف، افزایش بهره‌وری، پایداری و ضریب اطمینان شبکه سراسری، استفاده از امکانات کشورهای متعامل در جهت تأمین ظرفیت ذخیره برق، صرفه‌جویی در سرمایه‌گذاری و کاهش اعتبارات مورد نیاز برای ایجاد این ظرفیت، امکان صدور بیشتر خدمات مهندسی و کالا و تجهیزات برقی به کشورهای منطقه را برای

کشور دارد. در سال ۱۳۹۲، میزان واردات و صادرات برق ایران به ترتیب ۳.۷ و ۱۱.۶ تراوات ساعت بوده که واردات نسبت به سال گذشته ۴.۶ درصد کاهش و صادرات ۵.۳ درصد افزایش داشته است.

۲-۱-۸-۳-۹- مصرف برق

در سال ۱۳۹۲ کل فروش برق وزارت نیرو و صنایع بزرگ (با احتساب برق مصرفی پالایشگاه‌ها، واحدهای کک سازی و واحدهای کوره بلند) حدود ۲۰۷۰۸۹.۷ گیگاوات ساعت بود که نسبت به سال قبل دارای نرخ رشدی معادل ۵ درصد بوده است. در این سال ۹۸.۱ درصد برق مصرفی کشور که معادل ۲۰۳۰۸۸ گیگاوات ساعت بوده، توسط وزارت نیرو تأمین شده است. صنایع بزرگ نیز ۶۳۱۴.۹ گیگاوات ساعت تولید ویژه برق داشته‌اند که ۴۰۰۱.۷ گیگاوات ساعت آن را به مصرف خود رسانده‌اند و ۲۳۱۳.۲ گیگاوات ساعت باقی‌مانده را به شبکه سراسری فروخته‌اند. مطابق با نمودار (۲-۶) مصرف برق در کشور همواره در حد بالایی قرار داشته و با یک شیب صعودی در دهه ۹۰ افزایش چشمگیری نیز پیدا کرده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲).

نمودار (۲-۶) میزان تولید و مصرف برق در ایران طی سالهای ۱۳۹۲-۱۳۷۰

۲-۱-۸-۳-۱۰- قیمت برق

برق به عنوان یک منبع تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف اقتصادی از یک سو و به عنوان یک شاخص رفاه اجتماعی از سوی دیگر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایران، پرداخت‌هایی که

توسط مشترکان برق صورت می‌گیرد، براساس هزینه تمام شده برق نمی‌باشد. بلکه بر اساس تعرفه-هایی است که در تدوین آن مسائل متعدد اقتصادی، اجتماعی و سیاسی مؤثر بوده است. تعرفه می-تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای بهینه‌سازی مصرف برق مشترکین باشد، اما عدم اصلاح آن متناسب با افزایش هزینه تمام شده موجب مصرف بی‌رویه برق می‌گردد.

۲-۱-۸-۳-۱۱- خصوصی‌سازی در صنعت برق

در حال حاضر منابع مالی و وجوه سرمایه‌گذاری مورد نیاز صنعت برق عموماً از طریق منابع داخلی صنعت، بودجه‌های مکمل دولتی، استقراض رسمی از سیستم بانکی داخلی، فروش اوراق مشارکت در داخل کشور، دریافت وام و اعتبار از آژانس‌های چندجانبه و دوجانبه بین‌المللی تأمین می‌شود. اصلاح ساختار اقتصادی و مشارکت بخش خصوصی در فعالیت‌های زیربنایی، روشی است که ضرورت آن درک و حرکت به سمت آن، آغاز شده است. لازمه انجام این مهم، تجدید ساختار صنعت برق کشور برای ایجاد فضای سالم رقابتی، ارتقای سطح کیفی خدمات، کاهش هزینه‌های تولید و تخصیص بهینه منابع و به تبع آن افزایش رفاه عمومی و برون‌سپاری وظایف است. وزارت نیرو، به منظور ایجاد فضای مناسب برای مشارکت بخش خصوصی در حوزه صنعت برق اقدامات متعددی همچون بسترسازی قانونی و حقوقی، تدوین و ابلاغ مقررات و آیین نامه‌ها و رویه‌های اجرایی انجام داده است. در حال حاضر مشارکت بخش خصوصی از طریق واگذاری نیروگاه‌ها به بخش خصوصی و یا اقدام بخش خصوصی در ساخت نیروگاه صورت می‌پذیرد.

۲-۱-۸-۴- انرژی‌های تجدیدپذیر

در ایران به دلیل وجود پتانسیل‌های بالای انرژی‌های تجدیدپذیر، زمینه مناسبی برای گسترش فعالیت‌های مربوط به این نوع انرژی‌ها در کشور وجود دارد. کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران به دو صورت نیروگاهی متمرکز و سیستم‌های کوچک پراکنده می‌باشد. در سال ۱۳۹۲، ۱۰۳۸۳.۱ مگاوات

نیروگاه تجدیدپذیر اعم از آبی، بادی، خورشیدی و بیوگاز در حال بهره‌برداری بوده است. علاوه بر این ظرفیت نیروگاهی ۳۲/۱ مگاوات نیز سیستم‌های کوچک فتوولتائیک جهت روشنایی معابر و جاده‌ها، چراغ‌های ترافیک، سیستم‌های مخابراتی و برق‌رسانی روستایی نیز به کار گرفته شده‌اند. انرژی برقآبی، بادی، خورشیدی، زمین‌گرمایی، زیست توده جامد و فرآورده‌های جنگلی از اقسام انرژی تجدیدپذیر در ایران هستند. علاوه بر موارد فوق، در زمینه استفاده از پیل سوختی، زیست‌توده جامد، هیدروژن، باتری وانادیومی، پسماندهای جامد و مایع شهری و بیودیزل نیز پروژه‌هایی وجود دارند که هم‌اکنون در کشور در حال اجرا می‌باشند.

۲-۱-۸-۴-۱- خرید تضمینی برق از منابع تجدیدپذیر

تشویق سرمایه‌گذاران خصوصی به سرمایه‌گذاری در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند نقش تعیین-کننده‌ای در توسعه این نوع نیروگاه‌ها ایفا نماید. نرخ خرید تضمینی برق هر ساله توسط وزارت نیرو محاسبه و ابلاغ خواهد گردید. در نتیجه برنامه‌ریزی‌ها و فعالیت‌های انجام شده جهت جذب و حمایت از سرمایه‌گذاران بخش غیردولتی به منظور احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر، در سال‌های اخیر فعالیت‌های زیادی صورت گرفته است که نتیجه این فعالیت‌ها در حال حاضر، بهره‌برداری از ۴۲.۹ مگاوات نیروگاه-های بادی و زیست‌توده توسط بخش غیردولتی بوده است.

۲-۲- سوابق تحقیق

۲-۲-۱- مطالعات پیشین داخلی

مطالعات زیادی در زمینه اقتصاد انرژی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات عبارتند از:

بهبودی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی عوامل موثر بر تغییرات شدت انرژی در ایران را در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۵-۱۳۴۷ بررسی کردند که دو متغیر افزایش بهره‌وری و تغییر در فعالیت‌های اقتصادی نقش کلیدی بر شدت انرژی دارند. این دو با استفاده از متدولوژی تجزیه، تحلیل دقیق‌تری از روند شدت انرژی در گذشته و پیش‌بینی آن در آینده ارائه دادند. نتایج این تجزیه به روش شاخص ایده‌آل فیشر نشان می‌دهد که افزایش شدت انرژی در کشور در اثر تغییر ساختار فعالیت‌های اقتصادی و نیز کاهش بهره‌وری در اندازه‌گیری از انرژی بوده است. همچنین بر اساس نتایج بدست آمده، یکی از عوامل بسیار تاثیرگذار بر شدت انرژی، قیمت انرژی می‌باشد و حساسیت شدت انرژی نسبت به قیمت انرژی بسیار بالا می‌باشد.

حیدری و سعیدپور در سال ۱۳۹۱ تحقیقی پویا در رابطه‌ی بین تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی و صادرات غیرنفتی در ایران انجام دادند. داده‌های این مطالعه به صورت سری زمانی و در بازه‌ی ۱۳۴۶-۱۳۸۶ گردآوری شدند. برای بررسی رابطه‌ی پویای بلندمدت و کوتاه‌مدت بین متغیرهای بالا، تشکیل سرمایه ثابت ناخالص و اشتغال از تکنیک اقتصاد سنجی آزمون کرانه‌ها به هم‌جمعی و الگوی ECM استفاده شده است. همچنین از مجموعه آزمون‌های بای و پرون (۲۰۰۳)، لی و استراسیچ (۲۰۰۳) بهره جسته‌اند. نتایج آزمون کرانه‌ها وجود رابطه‌ی تعادلی بلندمدت میان متغیرها را تایید می‌کند و طبق آمارهای مطالعه، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در بلندمدت مصرف انرژی عامل محرک رشد اقتصادی است و رشد اقتصادی بستر توسعه صادرات غیرنفتی را فراهم می‌آورد.

ابونوری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از الگوی DSGE (تعادل عمومی پویای تصادفی) اثرات تکانه‌ی ناشی از یک درصد انحراف در حالت یکنواخت قیمت انرژی بر روند رشد بلندمدت متغیرهای کلان اقتصادی در ایران را ارزیابی می‌کنند. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان-دهنده‌ی انحراف متغیرهای تولید، عرضه نیروی کار و تورم از روند رشد بلندمدت خود می‌باشد و سرمایه‌گذاری به میزان ۱۱٪ از مسیر رشد بلندمدت منحرف می‌شوند. از دیگر نتایج تحقیق این است

که هرچه سهم انرژی در تابع تولید کمتر باشد، سهم نیروی کار در تابع تولید بیشتر، دوره‌ی بازگشت سرمایه‌گذاری به حالت یکنواخت خود سریع‌تر و درصد انحراف تولید ناخالص داخلی از حالت یکنواخت خود کمتر می‌باشد. همچنین هرچه ضریب خنثی‌سازی درآمد انرژی در قید بودجه بیشتر شود، درصد انحراف مخارج دولتی و تولید ناخالص داخلی از حالت یکنواخت هر یک در نتیجه تکانه قیمت انرژی کمتر می‌شود.

موسوی حقیقی و رجبی (۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از روش پویایی شناسی سیستمی، تاثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت برشاخص‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در افق چشم‌انداز سال ۱۴۰۴ را مورد بررسی قرار دادند. ایشان ابتدا با توجه به رفتار متغیرهای کلیدی و با استفاده از داده-های سال‌های ۸۸-۱۳۷۹، الگوی سیستمی مورد نظر را مدلسازی و شبیه‌سازی نمودند و در مرحله بعد سیاست‌گذاری‌های لازم بر اساس نتایج حاصل، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این شبیه‌سازی نشانگر این بود که شاخص شدت انرژی بخش صنعت در طول دوره مورد بررسی افزایش داشته است. در واقع این بخش با مصرف ۵۴۰ میلیون بشکه نفت خام در افق ۱۴۰۴، ارزش افزوده‌ای به میزان ۴۹۰۶۲۷ میلیارد ریال ایجاد خواهد کرد و با توجه به این وضعیت، میزان تولید آلاینده‌های زیست-محیطی این بخش از ۵۹ میلیون تن به ۲۶۷ میلیون تن در افق ذکر شده افزایش خواهد یافت که هزینه‌های اجتماعی ناشی از این آلاینده‌ها نیز افزایش خواهد یافت.

زارع‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) با بهره‌گیری از روش پویایی‌های سیستم به ارزیابی اثرات سیاست-های قیمت انرژی بر مصرف آن و سایر متغیرهای مرتبط در بخش خانگی کشور پرداختند. در این تحقیق ایشان در ابتدا با نگرشی جامع و سیستمی، به بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی همچون درآمد خانوار، قیمت انرژی، تعداد خانوار و میزان صرفه‌جویی پرداختند. طی سناریوهای مختلف و نتایج حاصل از آنها، حذف تدریجی یارانه‌های انرژی (تقریباً طی ۱۰ سال) در سه بخش و

هدفمندسازی یارانه در جهت استانداردسازی ساختمان به عنوان سناریوی بهینه برای آینده کشور معرفی شده است.

شرافت و مشرفی (۱۳۹۰) تولید گاز از میادین مستقل ایران را با استفاده از تئوری هوبرت که یک مدل پویایی سیستمی است، شبیه‌سازی نمودند. ایشان در این تحقیق شرایط مخازن گازی مستقل کشور با کمک روش‌شناسی پویای سیستمی را در فضا نرم‌افزار Ithink، در قالب تئوری هوبرت شبیه-سازی نمودند. طبق نتایج حاصل از شبیه‌سازی زمان بروز نقطه اوج به مواردی از قبیل وضعیت اکتشافات و نشت از مخازن، نرخ برداشت و پارامتر سرمایه‌گذاری و کیفیت مخازن وابسته است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این تحقیق به طور خاص اهمیت محافظت از مخازن گاز و همچنین تاثیرگذاری الگو برداشت در زمان رسیدن به نقطه اوج را آشکار می‌کند.

منظور و رضایی (۱۳۹۲) در پژوهشی اثرات اصلاح قیمت سوخت نیروگاه‌ها را بر میزان افزایش قیمت برق در بازار بررسی کردند. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که در صورت عدم اصلاح قیمت سوخت نیروگاه‌ها، ممکن است قیمت بازار برق تا پایان دوره مورد بررسی به ۴۰۹ ریال بر هر کیلووات ساعت برسد.

منظور و رضایی (۱۳۹۲) در پژوهش دیگری به مدلسازی بازار برق مقررات‌زدایی شده پرداختند و چنین نتیجه گرفتند که در صورت ادامه روند قیمت‌های قبل از هدفمندی یارانه‌ها، میزان آلاینده‌های کربنی به بیش از ۱۵۶ میلیون تن در هر تراوات ساعت خواهد رسید.

منظور و رضایی (۱۳۹۱) در پژوهش دیگری از جانب تولید و عرضه با تأکید بر فرآیند ارزیابی سودآوری سرمایه‌گذاری‌های نیروگاهی مدلی را پیشنهاد دادند. بر اساس نتایج، در صورت افزایش قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها ظرفیت نیروگاهی مورد نیاز نسبت به شرایط عدم افزایش قیمت سوخت نیروگاه‌ها کاهش محسوسی خواهد داشت.

علیزاده و همکاران (۱۳۹۴) پس از بررسی سیاست‌گذاری‌های انرژی ایران چنین نتیجه گرفتند که با وجود بکارگیری سیاست‌های متعدد در برنامه‌های پنج ساله توسعه، میزان انطباق سیاست‌های انرژی کشور با سیاست‌های پروتکل کیوتو افزایش نیافته است.

رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی هزینه‌های اجتماعی انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی کشور ایران را مورد بررسی خود قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که هزینه‌های اجتماعی بیانگر آن هستند که قیمت واقعی برق شامل قیمت تمام شده به علاوه هزینه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی ناشی از تولید آن است.

صدرزاده و همکاران (۱۳۹۲) تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها را در بخش صنعت بررسی کردند. و نتایج حاکی از آن بود که تقاضای انرژی بخش صنعت کم‌کشش است. تغییر در درآمد بخش صنعت در دوره قبل تاثیری بر میزان مصرف انرژی در دوره کنونی نخواهد داشت.

مولایی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی به تعیین قیمت برق بعد از خروج بازار از تعادل پرداخته‌اند. ایشان بعد از طراحی بازار برق در قالب مدل پویای سیستمی، مقادیر بهینه عرضه، تقاضا و قیمت برق را تعیین نموده‌اند. طبق نتایج بدست آمده، تنها در یک دوره یک ماهه در صورت افزایش واردات امکان تعادل بازار وجود داشته است.

گلدانی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی مسئله برنامه‌ریزی توسعه تولید از دیدگاه یک نهاد مرکزی پرداختند و نتیجه گرفتند که قیمت بازار و برنامه‌ریزی توسعه تولید به خوبی یکدیگر را توصیف می‌کنند.

۲-۲-۲- مطالعات پیشین خارجی

شفیعی و همکاران (۲۰۱۵) در کار تحقیقی خود یک مدل یکپارچه سیستم دینامیکی انرژی را برای کشف فرآیند گذار به سوی بازارهای سوخت جایگزین بکار برده‌اند. این مقاله ساختار مدل را ارائه

می‌دهد و الگوریتمی برای شبیه‌سازی بازار انرژی را در بلندمدت و کوتاه‌مدت تشریح می‌نماید. مدل یکپارچه به طور موردی برای سیستم انرژی تجدیدپذیر ایسلند اعمال شده و بازار سوخت‌های جایگزین را در طول سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۱۵ شبیه‌سازی می‌کند. الگوریتم شبیه‌سازی بازار انتقال مستمر تعادل قیمت‌های بازار برای تغییرات در عرضه و تقاضا را به طور کارا تعدیل می‌کند. مدل قابلیت تهیه سیاست‌های مهم را دارد و می‌تواند اثرات مختلف ابزارهای سیاستی بر هر دو سمت عرضه و تقاضا را شبیه‌سازی کند. این مدل نشان می‌دهد که چگونه تصمیمات گرفته شده از سمت عرضه-کنندگان انرژی و سازندگان و دارندگان زیرساخت‌های مربوطه بر تقاضای انرژی اثر می‌گذارد. به عبارت دیگر تاثیر تقاضا برای سوخت‌های جایگزین در توسعه زیرساخت‌های انرژی می‌تواند مورد ارزیابی و تعیین گردد. مدل نهایی ارایه شده در واقع یک مدل شبیه‌سازی شده برای بازارهای جایگزین سوخت بر اساس یک سیستم انرژی محور است که در آن قابلیت عرضه‌کنندگان انرژی به وسیله تعیین قیمت و میزان سودآوری تعیین می‌گردد.

فرزانه و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی عرضه و تقاضا برای بهینه‌سازی جریان انرژی در سیستم-های شهری را مورد بررسی قرار دادند و با استفاده از برنامه‌نویسی ریاضی یک مدل بهینه‌سازی بر اساس اصول اقتصاد خرد، ارائه و توسعه دادند. نتایج نشان می‌دهد که از طریق بهبود بهره‌وری انرژی در بخش داخلی می‌توان حدود ۲۲۰ گیگاوات ساعت در سال، صرفه‌جویی در سطح استفاده نهایی داشت.

لیبوویز[8] (۲۰۱۵) رشد و رقابت در صنایع انرژی را با رویکرد مدل ارزیابی جامع با شرکت‌های استراتژیک توسعه مورد تحقیق قرار می‌دهد. اجرا و برنامه‌های کاربردی برای چارچوب مدل‌سازی‌های بازار تکنولوژی‌های تجدیدپذیر با تولیدکنندگان رقابتی را تشریح می‌کند. نتایج سناریو نشان می‌دهد

[8] Benjamin D. Leibowicz

که چگونه سیاست‌های آب و هوا و سرریز آموزش، ساختار بازار را تحت تاثیر قرار می‌دهد. عملکرد پایین‌تر بازارهای رقابتی در مقایسه با بازار متمرکز، به طور قابل توجهی منجر به تصویب و تولید گازهای گلخانهای پایین‌تر است.

چاوهان و ساینی[9] (۲۰۱۴) در کار تحقیقاتی خود بررسی گسترده‌ای در مورد مسائل مختلف مربوط به مجتمع سیستم انرژی تجدیدپذیر[10] (IRES) تولید برق ارائه دادند. مسائل مربوط به تنظیمات یکپارچه‌سازی، گزینه‌های ذخیره‌سازی، روش اندازه و کنترل سیستم برای مدیریت جریان انرژی با جزئیات، مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

اختر و همکاران (۲۰۱۳) در تحقیقی مدلی جامع از سیستم انرژی- جامعه- زیست کره- آب وهوا- اقتصاد ارائه دادند که بر اساس مدل سیستم دینامیکی تغییرات جهانی، سرمایه‌گذاری و یا تغییر وضعیت جهانی در چارچوب مدلسازی مد نظر بود. نتایج به خوبی با سایر اطلاعات و پیشینه علمی قابل مقایسه بودند و با توجه به سناریوهای اعمال شده نتایج جامعی بدست آمدند و همچنین نقش حمایتی مدل ANEMI2 در مدل‌های توسعه و تحلیل مورد تایید قرار گرفت.

جین و آلین[11] (۲۰۱۲) در پژوهش خود چارچوبی برای بهینه‌سازی سیستم جامع انرژی پیشنهاد دادند. همچنین یک تابع هدف برای بهینه‌سازی و کنترل سیستم انرژی معرفی نمودند. نشان داده شد که اهمیت فیزیکی به دست آمده با استفاده از یک هدف تابع مشتق شده، هدف و نتیجه را به IESS[12] قابل تعمیم می‌نماید.

۲-۲-۳- پایان‌نامه‌های داخلی

[9] Anurag Chauhan N, R. P. Saini
10 Internal ribosome entry site: IRES
[11] Neera Jain, Andrew G. Alleyne
12 Instituto Ecuatoriano De Seguridad Social

رئیسی (۱۳۹۳) در پایان‌نامه‌ای با عنوان "تحلیل پویایی توسعه استفاده از انرژی های نو در ایران" به پیاده سازی تفکر سیستمی و رویکرد سیستمی در نظام تأمین انرژی ایران و همچنین بررسی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن به عنوان انرژی پاک و بهینه پرداخت. در این پروژه مدل سازی با استفاده از روش پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای تحلیل سیاست راهبرد با تمرکز بر کاربردهای آن در توسعه استفاده از انرژی‌های نو به کار گرفته شده است. با شبیه‌سازی طی یک دوره زمانی در پی آن است که متغیرهای اهرمی سیستم را تحلیل کرده تا بتوان با اتکا به آن، سناریو سیاست‌گذاری مفید را انجام داد. وی در کار تحقیقاتی خود چنین بیان داشت که پویایی‌شناسی سیستم‌ها دیدگاه و مجموعه‌ای از ابزارهای مفهومی است که به ما توانایی درک ساختار و پویایی سیستم‌های پیچیده را می‌دهد و با کمک این روش، جهانی کوچک از نظام تأمین انرژی با توسعه انرژی‌های نو ساخته شده که اثرهای جانبی بلندمدت تصمیم‌گیری‌ها را می‌آزماید و ضمن سرعت در یادگیری، ساختارها و راهبردهایی برای موفقیت هرچه بیشتر در این حوزه طراحی و ارائه می‌نماید.

رفیع رهاننده‌پور لنگرودی (۱۳۹۳) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به طرح تخصیص منابع فرآورده‌های نفتی و گازی با رویکرد پویایی سیستمی پرداخت. در این تحقیق که با رویکرد پویایی سیستمی انجام شده، سعی شده است میزان تولید و تخصیص فرآورده‌ها به بخش‌های مختلف برآورد گردد. فرآورده‌های نفتی به نفت خام، بنزین، نفت گاز، نفت سفید، نفت کوره، گاز مایع، سوخت هواپیما و روغن تفکیک گشته‌اند و گاز طبیعی به عنوان فرآورده گازی در نظر گرفته شده است که این فرآورده‌ها به سه بخش خانگی- تجاری، حمل و نقل و صنعت تخصیص می‌یابند. مدل مربوطه با در نظر گرفتن عوامل مربوط به عرضه و تقاضا، درآمد، سرمایه‌گذاری، سیاسی و تحریم‌ها و کمی اثرات محیطی ارائه گشته و نتایج آن در دو سناریو تحت تحریم صفر و تحریم مطلق ارائه گشته‌اند. در سناریو اول که بدون تحریم می‌باشد روند تولید و تخصیص‌ها تقریباً مناسب می‌باشد و با افزایش

سرمایه‌گذاری می‌توان به صادرات مطلق رسید ولی در سناریو دوم که واردات و صادرات به صفر می-رسد در نفت خام با مازاد ظرفیت تولید و برای چندین فرآورده با کمبود ظرفیت مواجه خواهیم شد.

حسین رضایی (۱۳۹۱) در رساله دکتری خود موضوع "طراحی الگوی بلندمدت سرمایه‌گذاری در بازار تجدیدساختاریافته صنعت برق کشور: رویکرد پویایی سیستمی و بهینه‌یابی" را در رأس کار قرار داد. مدل پویایی‌سیستمی وی در این رساله از شش زیرمدل ارزیابی سودآوری سرمایه‌گذاری، فرآیند درخواست مجوز، سرمایه‌گذاری و زنجیره ظرفیت، زیرمدل پویایی سیستمی تقاضا، قیمت بازار برق و در نهایت زیرمدل تولید تشکیل شده است. متغیر سیاستی در مدل مذکور، تغییر در قیمت سوخت نیروگاه‌ها مدل است. در این مدل از نرم‌افزار پاورسیم استفاده شده است و طبق نتایج بدست آمده، پس از اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها مجموع ظرفیت نصب شده کل نیروگاهی در پایان دوره نسبت به پیش از اجرای آن کاهش می‌یابد. ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های گازی و بخاری در پایان دوره به ترتیب، بیشترین کاهش را خواهند داشت. از طرف دیگر ظرفیت ایجاد شده نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، برقآبی و تجدیدپذیر افزایش می‌یابند. به دلیل اینکه قیمت تعیین شده در شرایط کنونی به صورت دستوری تعیین می‌شود و متعاقب آن عرضه و تقاضا نیز با توجه به این قیمت دستوری شکل گرفته‌اند.

ناصر باقری مقدم در رساله دکتری خود در سال ۱۳۹۱ مدل سیستم نوآوری تکنولوژیک انرژی-های تجدیدپذیر در ایران را مورد بررسی قرار داد. این تحقیق با بهره‌گیری از مدل‌های تکاملی سیاست‌گذاری نوآوری و مدل نظام نوآوری فناورانه، عوامل درون و برون سیستمی اثرگذار در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر کشور و پویایی ارتباط این عوامل مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. بر اساس این مدل و بخش‌های اول و دوم آن محرز گردید که منابع فسیلی و میزان توسعه‌یافتگی بر شکل‌گیری نظام نوآوری فناورانه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور تأثیری معنی‌دار داشته و از میان کارکردهای مختلف این نظام، نقش کارکرد جهت دهی به تحقیقات و زیرکارکرد پایش تحولات

جهانی، همبستگی بالایی با میزان شکل گیری نظام دارد. از سوی دیگر با تحلیل بخش دوم مدل، مشخص گردید که نظام نوآوری فناورانه باد در مرحله موتور محرک دوم (موتور محرک کارآفرینی) و نظام نوآوری فناورانه پیل سوختی در مرحله موتور اول (موتور محرک فشار علم و فناوری) قرار دارند. همچنین مشخص گردید که قیمت‌گذاری انرژی و تصحیح قیمت برق بادی مهمترین پیشران توسعه بخش باد و کارکرد ایجاد مقبولیت مهمترین پیشران بخش پیل‌سوختی کشور می‌باشد که این عوامل باعث تسریع دستیابی این بخش‌ها به منابع مالی توسعه خواهد بود.

قلم‌زن در پایان‌نامه‌کارشناسی ارشد در سال ۱۳۸۹ به بررسی تاثیر تغییر قیمت حامل‌های انرژی بر متغیرهای کلان اقتصادی با رویکرد پویایی‌های سیستمی پرداخت. هدف این پژوهش پیش‌بینی تاثیر سناریوهای مختلف افزایش قیمت حامل‌های انرژی با در نظرگرفتن اکثر عوامل تاثیرگذار بر چند شاخص اقتصادی کشور می‌باشد. علت استفاده از روش پویایی سیستمی در این پایان‌نامه را برخی ویژگی‌های خاص مسئله نظیر بررسی یک سیستم اقتصادی اجتماعی و رفتار خرق عادت حاصل از وجود انسان در سیستم و پیچیدگی زیاد آن اظهار شده است. تاثیرات متقابل این عوامل موثر با استفاده از رفتارهای نسبی این عوامل بر اساس آمار و داده‌های تاریخی گردآوری و نظرات نخبگان اقتصادی منجر به شکل‌گیری روابط علت و معلولی بین این متغیرها را تشکیل و نمودار جریان بوسیله نرم‌افزار ونسیم[۱۳] تهیه شده است. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل، سیاست افزایش پلکانی قیمت طی پنج سال به عنوان بهترین سیاست برگزیده شد.

[13] Vensim PLE

فصل سوم- روش تحقیق

۳-۱- مقدمه

درگذشته، بحران‌های انرژی به طور طبیعی و طی مدتی نه چندان طولانی بر اساس عملکرد نیروی‌های بازار مدیریت می‌شدند. برای مثال، در بحران‌های دهه ۱۹۷۰، رکود جهانی متعاقب بحران، تقاضای جهانی برای نفت را کاهش داد و به همراه پیشرفت فناوری، کاهش هزینه و افزایش بهره‌وری در هر دو سوی عرضه و تقاضا، بحران را حل کرد. افسانه وجود ذخایر فراوان و مزایای آن باعث شده بود تا همه چیز به نیروهای بازار سپرده شود و ترتیبات، تنظیمات و کنترل‌ها حذف گردد. نقش و تأثیر سیاست بر کشورها و مناطقی که دارای منابع غنی نفت و گاز می‌باشند در دهه‌های اخیر افزایش قابل توجهی پیدا کرده است. اگرچه، رشد تقاضای جهانی برای مصرف انرژی‌های فسیلی در کنار وجود ناامنی و بی‌ثباتی در برخی از کشورهای صادرکننده اینگونه منابع موجب شده است تا امنیت انژری در صدر دستور کار ملی کشورهای صنعتی و در حال توسعه وارد کننده آن قرار گیرد، لکن گسترش پدیده جهانی شدن مصرف انرژی مانع از آن شده است تا دولت صادرکننده انرژی مستقلاً به تدوین سیاست‌های ملی انرژی خود بپردازند. در حقیقت، اهمیت و جایگاه نفت در توسعه کشورهای صنعتی موجب شد تا انرژی، به مقوله‌ای فرامرزی و جهانی تبدیل شود. با توجه به عنوان این پژوهش که عبارتست از "تبیین روابط علّی سیستم جامع انرژی ایران با رویکرد پویایی سیستمی" در این فصل ابتدا علت انتخاب این رویکرد برای حل مسئله مورد نظر بیان می‌شود. مدلسازی و ساختار و الگوهای رفتاری سیستم‌ها توضیح داده می‌شوند. بعد از بیان این مطالب دورنمای مدلسازی منابع انرژی که شامل پنج مدل FREE, TIME, DICE, SGM و COAL2 می‌باشد، ارائه می‌شوند. کاربرد هر یک از مدل‌ها با نمودارها و معادلات مربوط آورده شده است. در میان مدل‌های ذکر شده مدل COAL2

مدلی است که برای تبیین روابط علّت و معلولی ایران و ترسیم نمودارهای علّی– حلقوی از آن استفاده شده است. نمودارهای علّی در نرم‌افزار ونسیم تهیه و ترسیم شده‌اند.

۳-۲- مروری بر مدل‌های انرژی

در این قسمت مدل‌های مختلفی که طی سالیان متمادی در رابطه با دنیای انرژی و خصوصا بازار جهانی نفت وجود داشتند به ترتیب بیان می‌شوند.

۳-۲-۱- روش تراز انرژی

بسیاری از تحلیل‌های جزیی، مثل گزارش‌های WAES، CIA، گزارش OECD، چشم انداز شرکت EXXON و تعداد زیادی شرکت دیگر درستی روش "تراز انرژی" را آزمون می‌کنند. این تحلیل‌ها در رابطه با فروض خود در سیاست، اقتصاد و محیط‌زیست هستند و ارتباط چندانی با محصول و منطقه ندارند. معمولاً تحلیل‌ها سناریوهای اندکی را در نظر می‌گیرند. هر یک از آنها، فروض به خصوصی در رابطه با عوامل برونزا مانند رشد جهانی اقتصاد، ارتباط نتایج سیاست‌های اقتصادی از دولت‌های مختلف، نقش شرایط محیط‌زیستی در توسعه زغال‌سنگ و انرژی هسته‌ای و همچنین بخشی از سناریوهای مرتبط با نفت خام دارند.

۳-۲-۲- مدل‌های تعادلی بزرگ مقیاس

الگوی غالب در مدلسازی‌های بزرگ مقیاس انرژی در تلاش است که تعادل عمومی اقتصاد برقرار شود. بسیاری از تلاش‌ها به صورت "موردی خاص" صورت می‌گیرند تا "کلی". مدل IIES سازمان فدرال انرژی و مدل Hathakar-Kenndy مثال‌هایی از این مدل‌ها در اقتصاد هستند. تعداد دیگری از این مدل‌ها برای تحلیل بازار انرژی آمریکا برای قیمت جهانی نفت طراحی شده‌اند. تعدادی از این مدل ها

مانند Hudson-Jorgrnson (۱۹۷۴)، Hnyiliza (۱۹۷۵)، Brookhaven Deson در گزارش‌ها توسط انجمن مدلسازی انرژی (۱۹۷۷) و مؤسسه تحقیقاتی استنفورد (۱۹۷۷) بحث شده‌اند. این مدل‌ها به صورت جزیی مناطق معدنی و تولیدی را تعیین می‌کنند. این تحلیل‌ها مثبت و غیرهنجاری بوده، روابط رفتاری نسبتاً واضح هستند و به صورت اقتصادی تخمین زده شده‌اند. تمرکز این مدل ها بر خصوصیات تعادل بلندمدت است که مجموعه‌ای از قیمت‌های نفت خام خاص بدست آمده‌اند. از آنجایی سال‌های زیادی طول می‌کشد که یک تعادل اجرا شود، اگر اوپک یک قیمت را تنظیم کند، مأمور است آن را برای ظهور تعادل جدید نگه دارد.

۳-۲-۳- مدل سیستم دینامیکی COAL2 از Naill

مدل COAL2 از (R.F Naill) یک مدل سیستمی انرژی آمریکا است که یک بخش تقاضا و سه بخش عرضه برق، زغال‌سنگ، نفت و گاز را در بر می‌گیرد. برخلاف سایر مدلسازی‌های انرژی، مدل سیستم دینامیکی بر پایه الگوی تعادل عمومی اقتصاد قرار ندارد. تحقیقات وسیعی از این دست مدل‌ها در گزارش‌های مؤسسه تحقیقاتی استنفور وجود دارد. COAL2 به منظور شبیه‌سازی رفتار سیستم انرژی آمریکا برای سی سال آینده تحت فروض محتلف سیاست‌های تقاضا و عرضه مانند تسریع تولید زغال-سنگ و انرژی هسته‌ای، شبیه‌سازی شده‌اند. در تمامی موارد، تعادل انرژی آمریکا از طریق واردات نفت بدست می‌آمد. نتایج این مدل به طور قابل توجهی بدبینانه‌تر از اکثر تحلیل‌ها است. با هیچ گونه تغییر سیاست خاصی، واردات نفت در سال ۱۹۸۵ سه برابر خواهد شد اما تحت سناریو خوشبینانه، واردات نفت ۲.۵ برابر سطح فعلی خواهد بود. از آنجا که در مقدار تقاضای بالای آمریکا برای واردات نفت هیچ شکی وجود ندارد، روشن است که افزایش شدید قیمت به وجود خواهد آمد.

۳-۲-۴- مدل Ben- Shahar برای قیمت‌گذاری اوپک

کتاب نفت، قیمت و سرمایه‌های هایم- بن- شاهار[۱۴] مدل نسبتاً ساده‌ای از بازار جهانی نفت ارائه می-کند که به سؤالات مربوط به سیاست قیمتی اوپک پاسخ می‌دهد. مدل برای شبیه‌سازی سیاست‌های قیمتی و انتخاب قیمت برای قیمت‌گذاری اوپک (با استفاده از الگوی پویا) برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۷۶ استفاده می شده تنها ۲ نوع روند قیمت در نظر گرفته شده است: روند قیمت ثابت و قیمتی که با نرخ ثابت افزایش می‌یابد.

قیمت بهینه در حدود کمترین و بالاترین قیمت در نظر گرفته شد. متأسفانه مدل بسیار ساده است و نمی‌تواند مؤثر و یاری رسان باشد. معادلات اختصاصی برای عرضه و تقاضا، هیچ مقدار از قیمت انتظاری یا عرضه‌های بلندمدت برای تعدیل عرضه و تقاضا برای رسیدن به حالت مطلوب را در نظر نمی‌گیرد. این مدل اساساً یک مدل تعادل‌سازی بلندمدت است که نمی‌تواند دوره کوتاه‌مدت یا عدم تعادل‌های تعدیل شده پویا را در نظر بگیرد.

۳-۲-۵- مدل Eckbo برای رفتار اوپک

شاید یکی از بهترین مدارک، کتاب اخیر اوپک کتاب پائول اکبو[۱۵] به نام "آینده دنیای نفت" باشد. اکبو با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی نسبتاً ساده‌ای بازار جهانی انرژی، فروض مختلف رفتاری و روند قیمتی را آزمود. همچون سایر مدل‌های ساده بازار جهانی نفت، هیچ جداسازی محصول و منطقه ای در این مدل وجود ندارد. اکبو مدل قیمت‌های انتظاری و عرضه و تقاضا تعدیل شده را با یکدیگر ترکیب می‌کند که موجب جذاب شدن آنها می‌شود. در هر حال فروض مختلفی درباره رفتار تولیدکننده‌های اوپک و کارتل میان آنها وجود دارد. دو ورژن بنیادی ساده و کارتل برای مدل وجود

[14] Haim Ben- Shahar

[15] Paul Eckbo

دارد. طبق استراتژی‌های متفاوت، روشن است که اکبو رفتارهای مختلف ممکن جذاب را برای اوپک مورد آزمون قرار داد. نتایج او در سطح خوشبینانه قرار دارد. برای اوپک مشکل است که سطح قیمت-های مختلف جاری را برای سال‌های آینده حفظ نماید.

۳-۲-۶- گزارش Chales River

این گزارش برای آمریکا اداره بین‌المللی استاندارد "پیامدهای محدودیت عرضه: بازار جهانی انرژی"، هدف آن ارزش‌گذاری هزینه‌ها و سیاست‌های متفاوت برای کمک به کاهش وابستگی آمریکا برای واردات نفت است. سیاست‌ها در رابطه با مواردی همچون انباشت، تعرفه و گمرک، یارانه به تولیدکنندگان داخلی نفت، توسعه انرژی هسته‌ای، ترکیب زغال‌سنگ، توسعه نفت شیل، استخراج گاز از زغال‌سنگ آزمون شده‌اند.

۳-۲-۷- مدل‌های قیمت‌گذاری اوپک از Pindyck و Hnyilicza Pindyck

دو مقاله اخیر، Hyilicza- Pindyck(۱۹۷۶) و Pindyck(۱۹۷۶) مدل‌های بهینه‌سازی هنجاری برای سیاست قیمت اوپک را توضیح می‌دهند که تئوری کنترل برای انتخاب قیمت بهینه است. مدل‌های مشابه آن در ساختار بازار تفاوت فاحش دارند. پینداک[۱۶] (۱۹۷۶) در رابطه با روند بهینه برای بازار انحصاری اوپک در مقایسه با روند قیمتی تحقیق می‌کند در حالی که هیلیزسا[۱۷] (۱۹۷۶) قیمت بهینه را برای انحصار ۲ جانبه اوپک بررسی می‌کند. عدم تعادل‌های پویا اجازه تعدیل قیمت را می‌دهد. در مدلی که اوپک انحصارگر است، روند قیمت بهینه برای حداکثر کردن ارزش فعلی خالص سود ۳۰

[16] Pindyck
[17] Hyilicza

ساله انتخاب شده است. در مدل انحصار ۲ جانبه برای اوپک، ۲ زیرگروه وجود دارند: کشورهای "پس اندازکننده" (عربستان سعودی، لیبی، عراق، کویت، قطر و امارات متحده عربی) و کشورهای خرج-کننده (ایران، ونزوئلا، اندونزی، نیجریه و اکوادور). هنگامی که سهم محصولات ثابت هستند، روند قیمت بهینه، قیمت بهینه انحصاری را تقریب می‌زند. هنگامی که سهم محصولات در قید چانه‌زنی است مسئله نظریه بازی‌ها، تئوری چانه‌زنی نش[۱۸] برای یافتن "مجموعه چانه‌زنی" و "راه حل نش" استفاده می شود.

۳-۲-۸- مدل قیمت‌گذاری اوپک Gately- Kyle- Fischer

این مدل از لحاظ ساختاری به سایر مدل‌های جهانی انرژی مشابه است و به سؤالات یکسانی پاسخ می‌دهد. گیتلی- کایل- فیشر[۱۹] به سؤالات جالبی پاسخ می‌دهد. مدل در نوع خودش ساده است و در مقایسه با مدل اکبو و پینداک از جهت محصول و منطقه اختلاف دارد. تنها ۲ گروه اوپکی‌ها و غیراوپکی‌ها به بحث کشیده شده‌اند. تنها محصول موجود، انرژی است که برای آن یک منحنی تقاضا، یک منحنی عرضه غیراوپک و نفت خام باقی وجود دارد. تقاضا توسط تولیدات اوپک تأمین می‌شود. همچون مدل اکبو و پینداک این مدل پدیده‌های مهمی را که از آنها در مدل‌های بزرگ غفلت شده ترکیب می‌کند. تعدادی از آنها مثل وقفه‌های تعدیل برای تغییر قیمت در تقاضا و عرضه، نقش انتظارات در قیمت‌های آینده برای تعیین رفتار بلندمدت از سوی مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، موجودیت تکنولوژی، تخلیه سوخت‌های ترکیبی با هزینه پایین توسط تولیدکنندگان غیراوپک تاکنون

[18] Nash

[19] Gately-Kyle-Fischer

مشابه نداشته‌اند. با توجه به دلایل ذکر شده، مدل برای ارزش‌گذاری کوتاه مدت و عدم تعادل دینامیکی مناسب است و می‌تواند سیاست‌های قیمتی اوپک را نسبتاً تعدیل کند.

۳-۳- چرا پویایی‌شناسی سیستمی؟

پویایی‌شناسی سیستمی، از آغاز پیدایش، به وسیله روش‌های مختلفی نظیر تحقیق در عملیات و اقتصادسنجی به چالش کشیده شده است. این روش اساساً با روش‌هایی که تا آن زمان در علم اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گرفت متفاوت بود. عدم تأکید این روش بر تئوری و روابط ریاضی و آماری پیچیده سبب شده است تا بسیاری از اقتصاددانان با بی‌اعتمادی به آن نظر کنند[۲۰]. با انتشار مطالعات «دینامیک شهری»[۲۱] در سال ۱۹۶۹، «دینامیک جهانی»[۲۲] در سال ۱۹۷۰ و «محدودیت‌های رشد»[۲۳] در سال ۱۹۷۲ توسط فارستر که همگی با رویکرد تحلیل پویایی‌شناسی سیستمی به این مسائل پرداخته‌اند، این موضوع تا حدی تغییر کرده است. اغلب اقتصاددانان، منتقد مدل‌های دینامیک شهری و جهانی بودند و یکی از رایج‌ترین اشکالی که آنها به این مدل‌ها می‌گرفتند این بوده است که پارامترهای این مدل با روش‌های اقتصاد سنجی تخمین زده نشده‌اند. البته انتقاداتی که برخی از دیگر اقتصاددآنها به مدل‌های تحلیل پویایی‌شناسی سیستمی داشتند از خود این مدل‌ها فراتر رفته و کل شیوه مدل‌سازی تحلیل پویایی‌شناسی سیستمی را زیر سوال بردند(Radzicki, Micheal J, 2004).

اقتصادسنجی دچار محدودیت‌های ذاتی و جدی آماری است. تکنیک رگرسیون که در تخمین پارامترها استفاده می‌شود فقط تحت شرایط خاصی تخمین بدون تورشی ارائه می‌دهد. این شرایط به

---

۱۳ ممکن است این مسأله به این دلیل باشد که تحلیل پویایی‌شناسی سیستمی در اوایل پیدایش آن تنها برای حل و فصل مسایل مدیریتی مورد استفاده قرار گرفته بود و از آن برای مسایل بخش عمومی استفاده نشده بود.

21 Urban Dynamics

22 World Dynamics

23 Growth Limits

عنوان فرض‌های اساسی شناخته شده‌اند؛ چرا که برای بکارگیری تکنیک آماری ناگزیر از لحاظ این فرض‌ها هستیم. هر چند که در واقع هیچگاه صحت این فـرض‌ها قـابل بـررسی نیـست، اما باید اساس کار ما در استفاده از تکنیک‌های آماری قرار گیرند. مشکل دیگر اقتصادسنجی این است که نمی‌تواند بین روابط علّی- معمولی و همبستگی تمایزی قائل شود. مدل‌های شبیه‌سازی اگر بخواهند واقعیت را بیان کنند باید روابط علّی- معمولی سیستم را نشان دهند. امّا تکنیک‌های آماری که در تخمین پارامترها بکار می‌روند نمی‌توانند وجود یا عدم وجود چنین رابطه‌ای را برآورد کنند. اقتصاددان معروف، رابرت لوکاس[۲۴] (۱۹۷۶) در متون مختلف به این نکته اشاره کرده است که آنها فقط درجه‌ای از همبستگی بین متغیرها در گذشته را بیـان می‌کنـند کـه آن هم با تکامل سیستم تغییر می‌کند.

تکیه اقتصادسنجی بر تخمین بر اساس آمار از دیگر نقاط ضعف آن است. تمرکز دقیق بر داده‌های کمی باعث می‌شود که مدل‌ساز، از عوامل کمتر محسوس صرف‌نظر کند. امّا این به معنای اهمیت کمتر این عوامل نیست. مدل‌سازان هم از متغیرهایی با کمیت‌های بالقوه قابل مشاهده‌ای که هنوز اندازه‌گیری نشده‌اند و هـم از آنهایی که داده‌های عددی از آنها در دسترس نیست صرف نظر می‌کنند. در عوض آنها به جای عاملی که برای آن داده عددی ندارند، از متغیر کمی جایگزین استفاده می‌کنند؛ هر چند که رابطه بین آن دو ضعیف باشد.

از جمله متغیرهایی که در مدل‌های سنجی به علت عدم وجود داده‌های کمی‌حذف شده‌اند، بسیـاری از عـوامل تعییـن‌کننده تصمیم‌گیری مانند اهداف، آرزوها، برداشت‌ها و استنباط‌ها را می‌توان نام برد. داده‌های عددی ممکن است نتایج تصمیم‌گیری انسان را اندازه‌گیری کنند. امّا این اعداد توضیح نمی‌دهند که چرا و چگونه چنین تصمیم‌هایی گرفته شده‌اند. در نتیجه مدل‌های سنجی

24 Robert Locus

نمی‌توانند برای پیش‌بینی اینکه چگونه مردم در قبال یک تغییر در شرایط تصمیم‌گیری واکنش نشان می‌دهند، بکار گرفته شوند.

از دیگر مشکلات مدل‌های سنجی درجه اعتبار مدل است. معیار اصلی مورد استفاده مدل‌سازان سنجی برای تعیین اعتبار یک معادله یا یک مدل، درجه برارزش آن است. استفاده از معناداری آماری به عنوان آزمون اعتبار مدل می‌تواند مدل‌ساز را در تعیین همبستگی تاریخی به عنوان یک رابطه علی- معمولی به اشتباه بی‌اندازد و همچنین باعث شود آنها معادلات معتبری که روابط مهمی را توصیف می‌کنند رد کنند. با این همه، هدف اصلی مدل‌های سنجی پیش‌بینی کوتاه‌مدت آینده است و بیشتر خصوصیات اقتصادسنجی (از جمله استفاده از تکنیک‌های رگرسیون برای انتخاب بهترین پارامترهای داده‌های کمی موجود و اتکای فراوان بر متغیرهای برون‌زا) در راستای برآورده کردن این هدف تکامل یافته است. متأسفانه اقتصادسنجی از این بابت نیز شکست خورده است. عملاً مدل‌های سنجی پیش‌بینی‌های خوبی ندارند و حتی قدرت پیش‌بینی این مدل‌ها در کوتاه مدت (یک تا چهار سال) نیز ضعیف است.

همچنین اقتصادسنجی شامل یک سری محدودیت‌های آماری ذاتی است. توابع رگرسیونی که برای تخمین پارامترها مورد استفاده قرار می‌گیرند، تنها با یک سری فرض‌های خاص درست عمل می‌کنند. این فرض‌ها، به فرض‌های بقا[۲۵] معروف می‌باشند.

با این وجود، به نظر می‌رسد که رویکردهای روش تحلیل پویایی‌شناسی سیستمی و اقتصادسنجی با در نظر گرفتن مسایل اقتصادی و تخمین پارامتر، به یکدیگر نزدیک شده‌اند (John D. Sterman, 1998). به این ترتیب که پویایی‌شناسی سیستمی، زمینه بیشتری برای تئوری‌های اقتصادی و

25 Maintained Hypotheses

فرضیات داده‌ای به ویژه در مدل‌سازی‌های کلان اقتصادی ایجاد کرده است. از طرفی مدل‌های اقتصادسنجی نیز مسلماً داوری‌های متخصصین را برای پذیرش مقادیر ثابت و ضرایب به منظور بهبود پیش‌بینی‌هایشان مورد استفاده قرار می‌دهند. البته این تفاوت که مدل‌های اقتصادسنجی نیازمند داده‌های سری زمانی برای تخمین پارامتر به ویژه برای متغیرهای برون‌زا هستند همچنان وجود دارد. در حالی که، مدل‌های تحلیل پویایی‌شناسی سیستمی فقط برای مقادیر اولیه و اندازه‌گیری پارامترها نیازمند داده است (Sommer, Manfred, 1984).

۳-۴- تعریف سیستم و روش سیستم‌های پویا

مجموعه‌ای از پدیده‌ها که تحت قوانین خاصی هماهنگ با یکدیگر رفتار می‌کنند و زنجیره‌هایی از روابط علّی و معلولی که در محدوده و مرز مشخصی از محیط اطراف خود سیستم وجود دارند را "سیستم" می‌نامند. در طبیعت دو نوع سیستم وجود دارد: سیستم باز و سیستم بسته. به سیستمی که حالت گذشته آن تأثیری روی آینده‌اش ندارد، سیستم باز گفته می‌شود و به سیستمی که آینده آن وابسته به حالت گذشته آن است، سیستم بسته گفته می‌شود. اعمال فرض ثابت بودن سایر شرایط در بعضی موارد موجب ایجاد عدم هماهنگی با دنیای واقعی شده و گاهی نتایجی خلاف واقع بدست می‌آید. تحلیل سیستم‌ها رویکرد پویایی سیستمی را می‌طلبد. در این روش روابط درونی و متقابل اجزاءی درونی سیستم به منظور تحلیل پدیده‌ها در طی زمان در نظر گرفته می‌شود. لذا این روش در سیستم‌های پویا و ایستا کاربرد دارد. پویایی‌شناسی سیستمی بر ساختار و رفتار سیستم‌هایی متکی است که از حلقه‌های بازخوردی مرتبط تشکیل شده‌اند. نمودار علّی- معلولی یا حالت- جریان مدل‌سازی پویا و شیوه ساده‌ای برای نمایش ساختارهای حلقوی پیش از تدوین معادلات سیستم است. نمودارهای جریان مشتمل بر متغیرهای نرخ، سطح، کمکی و عناصر ثابت و یک سری آزمون‌ها،

عملیات و دستورالعمل‌ها است که برای شبکه‌ای منسجم از مباحث مدیریت، اقتصاد، مالی و صنایع سازماندهی شده است. البته پویایی‌شناسی سیستمی در دیگر رشته‌ها نیز کاربرد دارد. نمودارهای علّی- معلولی به شناسایی حلقه‌های اصلی بازخوردی می‌پردازد و به تمایز بین ماهیت متغیرهای مرتبط کاری ندارد. پویایی سیستمی اصولاً دارای نظم درونی است. از این رو می‌توان از این ابزار برای تحلیل رفتار پدیده‌های اجتماعی استفاده کرد، لذا پویایی سیستمی بر اساس روانشناسی ادراکی و اجتماعی، اقتصاد و سایر علوم اجتماعی طراحی می‌شود.

۳-۵- ابزارهای تفکر سیستمی

در پویایی‌شناسی سیستم‌ها از ابزارهای نموداری مختلفی برای درک ساختار سیستم از جمله نمودارهای علّی- حلقوی و نمودارهای حالت- جریان استفاده می‌شود.

۱-۳-۵- نمودار حلقه‌های علّی- معلولی

پویایی‌شناسی سیستمی بر اساس رفتار حلقه‌های بازخوردی تبیین می‌شود. ساختار تحلیل‌های مبتنی بر نمودارهای علّی- معلولی (حلقوی)، جریان و معادلات ریاضی است. نمودارهای علّی- معلولی در واقع یکی از شیوه‌های تشریح متغیرها، تنوع، روابط، جهت و تأثیر آنها برای مدل به حساب می‌آیند. نمودارهای علّی- حلقوی ابزاری مهم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم‌ها است. این نمودارها در دستیابی سریع به فرضیه‌ای در مورد علل پویایی‌ها، استنباط و درک مدل‌های ذهنی افراد یا گروه-ها، ارتباط دادن بازخوردهای مهمی که به اعتقاد فرد در به وجود آمدن مسئله مؤثر است، کمک می-کنند (استرمن[۲۶]، ۲۰۰۰) به این ترتیب مدل‌های ذهنی افراد ساده‌تر نمایش داده می‌شود. یک حلقه

[26] Sterman

مثبت را حلقه تقویت‌کننده[۲۷] و حلقه منفی را حلقه متعادل‌کننده[۲۸] می‌گویند. هرگاه در مدل حلقه متعادل‌کننده وجود دارد مقایسه‌ای بین مقدار هدف و متغیر حالت صورت می‌گیرد و در صورت مغایرت بین این دو مقدار، حلقه متعادل‌کننده منفی فعال می‌شود. در این شرایط ترسیم متغیر هدف و رابطه آن با سایر متغیرها ضروری است. قطبیت روابط رفتار متغیرها را توضیح نمی‌دهند بلکه ساختار سیستم را تشریح می‌کنند. نمودارهای علّی- حلقوی تفاوتی بین متغیرهای حالت و جریان قائل نمی‌شوند. برای پی بردن به کاهش یا افزایش متغیر حالت باید نرخ خالص تغییرات آن را محاسبه کرد. هر رابطه در نمودارهای علّی باید نشان‌دهنده آنچه به نظر رابطه علّی بین متغیرها می‌رسد، باشد. همبستگی بین متغیرها را نباید نمایش داد. در این نوع نمودارها باید بین همزمانی، وابستگی و علّیت اشتباه نشود در غیر این صورت قضاوت اشتباهی از ساختار سیستم و در نتیجه سیاستگذاری‌های اشتباه انجام می‌شود. گاهی ممکن است بین اثرگذاری علت بر معلول تأخیری وجود داشته باشد. تأخیرهای زمانی بر ایجاد پویایی‌ها تاثیر مهمی دارند. تأخیرهای زمانی به سیستم اینرسی می‌دهند و می‌توانند نوسان را موجب شوند و غالباً باعث اختلاف در نتیجه سیاست‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌شوند. لذا نمودارهای علّی باید دربرگیرنده تأخیرهای زمانی باشند که در ارتباط با فرضیه پویا یا افق زمانی مورد نظر اهمیت می‌یابند.

۳-۵-۲- نمودار جریان- حالت[۲۹]

توانایی در شناخت، ترسیم و تفسیر نمودارهای حالت و جریان سیستم‌ها، مهارتی حیاتی برای هر مدل‌ساز سیستم‌های مدرن است. نمودارهای علّی- حلقوی در بسیاری از موقعیت ها بسیار مفیدند. امّا

27 Reinforcing Loop
28 Ballencing loop
29 Stock and Flow

محدودیت‌های این دسته از نمودارها در نمایش ساختار متغیر حالت و جریان سیستم‌هاست. هر سیستمی از دو متغیر اصلی حالت و جریان تشکیل می‌شود. متغیرهای حالت انباشتگی‌ها هستند که وضعیت سیستم را مشخص کرده و اطلاعاتی را ایجاد می‌کنند که بر مبنای آنها تصمیم‌گیری و اقدام می‌شود. متغیرهای حالت به واسطه جریان‌های ورودی و خروجی تغییر می‌کنند. متغیر حالت فقط در یک دوره زمانی معنا دارد و تغییرات آن را متغیر جریان یا نرخ تشکیل می‌دهد. به عنوان مثال حجم پس‌انداز متغیر حالت و میزان سپرده‌گذاری متغیر جریان است. اهمیت متغیرهای حالت در تحلیل سیستم‌ها این است که این متغیرها حافظه و اینرسی یک سیستم به شمار می‌روند زیرا حامل مقادیر قبلی هستند افزایش یا کاهش متغیرهای حالت در طول زمان انجام می‌شود همین امر سبب می‌شود که در سیستم‌های پویا تأخیر به وجود آید. بنابراین مقدار متغیر حالت در واحد زمان محاسبه می‌شود ولی محاسبه متغیر جریان در هر لحظه از زمان امکان‌پذیر است. مدل را در حالت کلی به دو صورت می‌توان نمایش داد:

الف) نمایش تصویری مدل: نمایش تصویری مدل به دو صورت نمودار علّی- حلقوی و حالت- جریان است.

ب) نمایش ریاضی مدل: که همان فرمول‌های معادلات هستند. برای نمایش مدل به صورت ریاضی، رابطه‌ی بین متغیرهای حالت و متغیرهای جریان به صورت یک تابع تعریف می‌شود.

نمودار حالت و جریان مفهوم ریاضی دقیق و روشنی دارد. متغیرهای حالت، جریانهای خود را انباشته کرده یا به بیانی از آنها انتگرال می‌گیرند. جریان خالص ورودی به موجودی برابر با نرخ تغییر یا همان مشتق متغیر حالت است. از لحاظ تئوریکی ریاضی جریان، مشتق متغیر حالت نسبت به زمان و متغیر حالت، انتگرال متغیر جریان است.

$$Stock(T)=\int_{.}^{T}(Inflow(T)-Outflow(T)Dt+Stock(T_.)) \quad (۱-۳)$$

$$D(Stock(T))/Dt=Inflow(T)-Outflow(T) \quad (۲-۳)$$

جریان‌ها تابعی از متغیرهای حالت مربوط به خود و دیگر متغیرهای حالت و پارامترها هستند. اگر مقدار ورودی و خروجی صفر باشد متغیر حالت در تعادل ایستا قرار دارد. واحد اندازه‌گیری متغیر جریان "واحد بر زمان"[۳۰] است ولی واحد متغیر حالت "واحد" است. در ریاضیات، پویایی‌شناسی سیستم‌ها، تئوری کنترل و رشته‌های مهندسی مرتبط؛ انباشت‌ها را انتگرال‌ها یا متغیرهای حالت می‌دانند. از جریان‌ها نیز به عنوان نرخ‌ها یا مشتق‌ها نام برده می‌شود. متغیرهای حالت وضعیت لحظه‌ای یک سیستم را توصیف می‌کنند.

تعیین مرز از مسائل بسیار حیاتی در مدلسازی می‌باشد. هر چه مرز سیستم وسیع‌تر باشد متغیرهای بیشتری را شامل خواهد شد و در عین حال تحلیل جامع‌تر و مشکل‌تری خواهد داشت. حال این موضوع که تا کجا باید قبل و بعد یک متغیر را در نظر بگیریم بر کیفیت مدل‌سازی تاثیر زیادی دارد (Sterman, 2000).

۳-۱۰- مدل‌های مرجع

مدل‌های پویایی سیستمی که در سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۸۰ تحت قرارداد با دولت ایالات متحده توسط نیل[۳۱] بدست آمده است مدل‌های COAL2 (Naill 1977), FOSSIL1 (1977b) و FOSSIL2(1980)

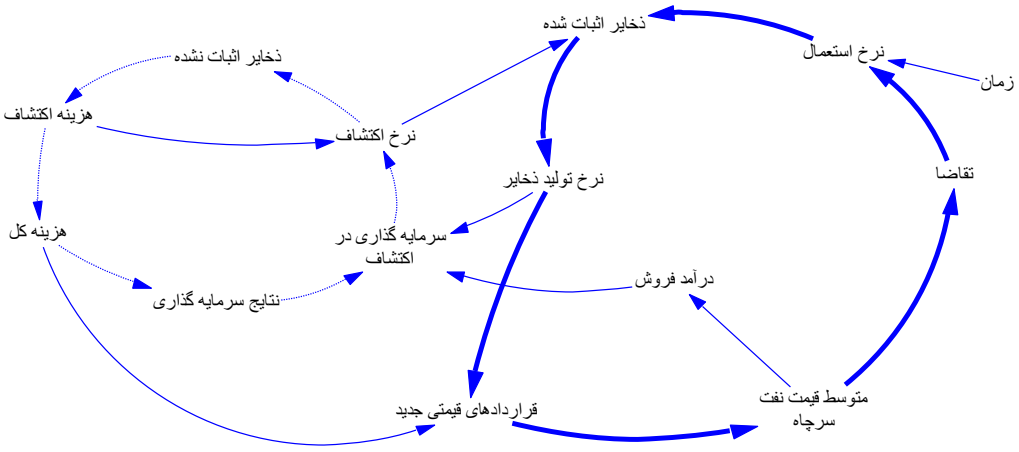
30 Unit per time period

31 Naill

هستند. که دو مدل FOSSIL1 و FOSSIL2 ادامه و تکمیل‌کننده یکدیگر هستند. این مدل‌ها یک ساختار و رفتار پایه را به اشتراک می‌گذارند.

۳-۱۰-۱- مدل انرژی برای اکتشاف و تقاضای گاز طبیعی

نمودار (۳-۲) مهمترین حلقه‌های علّی مدل را نشان می‌دهد. مدل تنها دو متغیر حالت و سطح همبستگی میان ذخایر اثبات نشده (UPR)[۳۲] و ذخایر اثبات شده (PR)[۳۳] را در بر می‌گیرد. حلقه تقاضا یک حلقه منفی یا هدف‌جو می‌باشد که این نسخه برای ایجاد تعادل بین نرخ اکتشاف و میزان مصرف کابرد دارد. نرخ تولید ذخایر (RPR)[۳۴] مقیاسی برای سطوح نسبی عرضه و تقاضا تولیدکنندگان است که برای تثبیت این نسبت از قیمت‌های قراردادی جدید (NCP)[۳۵] استفاده می‌کنند.



نمودار (۳-۲) مدل سیستمی اکتشاف و تقاضا گاز طبیعی

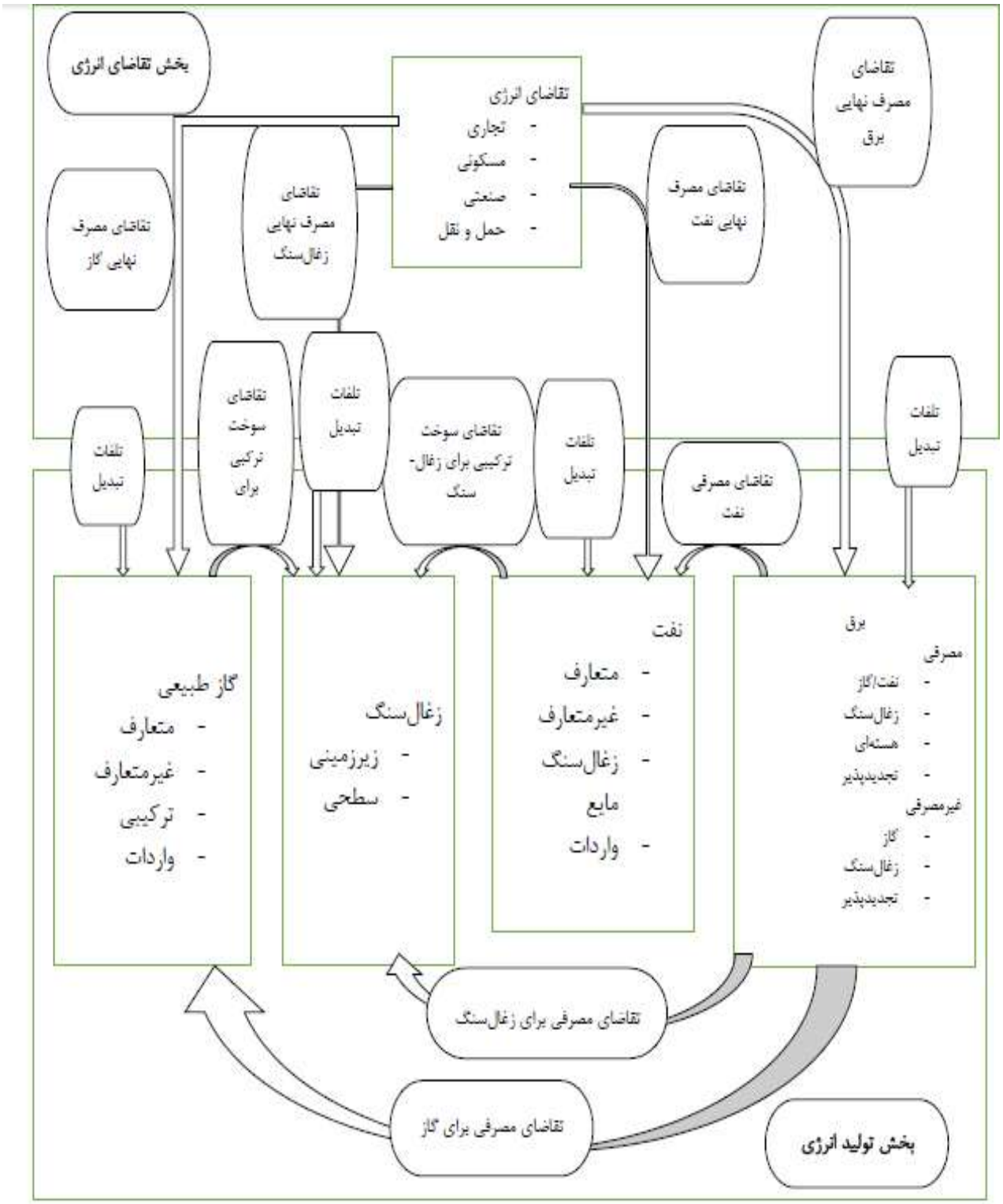
32 Unproven Reserves
33 Proven Reserves
34 Reserve Production Ratio
35 New Contract Price

حلقه یک، حلقه بازخوردی منفی است که ارتباط سطح ذخایر اثبات نشده، هزینه استخراج و نرخ اکتشاف را نشان می‌دهد. با تخلیه ذخایر اثبات نشده، هزینه‌های استخراج به علت کمیاب شدن گاز در هر فوت و اینکه تولیدکنندگان در مناطق کمتری قادر به یافتن این ذخایر هستند، افزایش می‌یابد. این موارد نرخ اکتشاف را کاهش می‌دهند و تخلیه ذخایر اثبات نشده را آهسته می‌کنند. افزایش در هزینه استخراج همچنین هزینه کل واحد تولید را افزایش می‌دهد که بازدهی سرمایه‌گذاری در اکتشاف را می‌کاهد. تأخیرهایی که سیستم شامل آنها می‌شوند در شکل حلقه‌های علّی بیان نشده‌اند. آنها عوامل اثرگذار در انتقاد از رفتار سیستم هستند. حلقه دو حلقه تقاضای مرتبط با سطح ذخایر اثبات شده، قیمت، تقاضا و نرخ استفاده است. یک افزایش در ذخایر اثبات شده؛ نسبت تولید ذخایر را به دلیل کاهش قیمت‌های جدید قراردادی، افزایش می‌دهد. نتایج کاهش قیمت در افزایش تقاضا، افزایش نرخ استعمال نمود می‌یابد که از ذخایر اثبات شده می‌کاهد. همچنین افزایش نرخ مصرف موجب افزایش درآمدهای فروش می‌شود که این قضیه موجب افزایش سرمایه‌گذاری در استخراج می‌شود. به همین منظور فرض شده که سرمایه‌گذاری در صنایع با توجه به درآمدهای آنها اختصاص می‌دهند. هنگامی که نسبت ذخایر تولید گسترش و توسعه می‌یابند، از میزان سرمایه‌گذاری در استخراج کاسته می‌شوند زیرا نیاز به اکتشافات بیشتر به صورت موقتی کاهش یافته است.

۳-۱۰-۲- مدل FOSSIL2

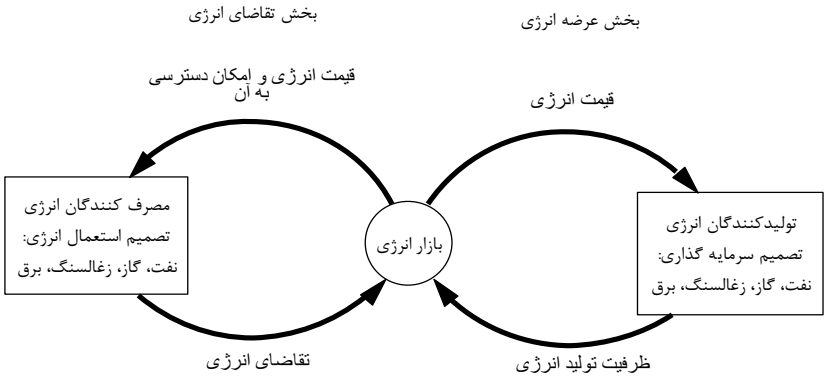
ابزار اصلی تجزیه و تحلیل این مطالعه یک مدل سیستم دینامیکی بزرگ مقیاس برای سیستم انرژی آمریکا است که FOSSIL2 نامیده می‌شود. FOSSIL2 یک مدل شبیه‌سازی تکنولوژی است که پروژه‌های تولید انرژی، واردات، مصرف و قیمت‌های دوره ۴۰ ساله را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توسط سازمان انرژی آمریکا به منظور تجزیه و تحلیل بلندمدت سیاست‌های انرژی و آینده انرژی‌های

جایگزین استفاده شده است. این مدل می‌تواند مانند یک مدل تعادلی بازار انرژی همچون بازارهای انرژی در طول زمان از طریق بازخوردهای میان‌مدت، تقاضا و ظرفیت تولید ایفای نقش کند. این مدل از روش تحلیلی حداقل هزنیه برای مدل تقاضای انرژی آمریکا استفاده کرده است. با دنبال کردن مدل در می‌یابیم که ابتدا تقاضا برای خدمات انرژی (مثل گرما، روشنایی، بخار) و سپس سهم اختصاصی بازار مصرف نهایی را با استفاده از تکنولوژی مصرف سوخت محاسبه می‌کند. سوخت تنها جزء ضروری در ارائه خدمات انرژی می‌باشد. بخش تقاضا از الگوریتم حداقل هزینه برای پیش‌بینی تصمیم‌های مصرف‌کننده در خرید تجهیزات مصرفی استفاده می‌کند.



نمودار (۳-۳) ساختار بنیادی مدل انرژی FOSSIL2

بر اساس نمودار (۳-۴) در بخش تقاضا، مصرف‌کنندگان انرژی به منظور استفاده از نفت، گاز، زغال-سنگ و برق بر اساس قیمت و در دسترس بودن آن سوخت تصمیم می‌گیرند. در همین راستا تولیدکنندگان انرژی نیز در رابطه با سرمایه‌گذاری در تکنولوژی تولید که نرخ بازدهی صنعت را حداکثر (یا هزینه متوسط تولید را حداقل) می‌کند، با توجه به قیود مختلفی مثل قیود زیست‌محیطی (محدودیت SO2 یا در دسترس بودن آب) یا محدودیت‌های بازار تصمیم‌گیری می‌کنند. هردو تصمیمات مربوط به مصرف نهایی یا سرمایه‌گذاری در تولید انرژی، در طول زمان به دلیل جایگیری در سرمایه و تجهیزات اتفاق می‌افتد و موجودی سرمایه فعلی، تقاضای خالص و ظرفیت برای هر سوخت را نشان می‌دهد. اگر عدم تعادلی میان تقاضا و ظرفیت تولید ایجاد شود، آنگاه قیمت‌های انرژی با استفاده از فشارهای بازار برای بازیابی تعادل، تعدیل می‌شوند (منبع:Naill, 1992).

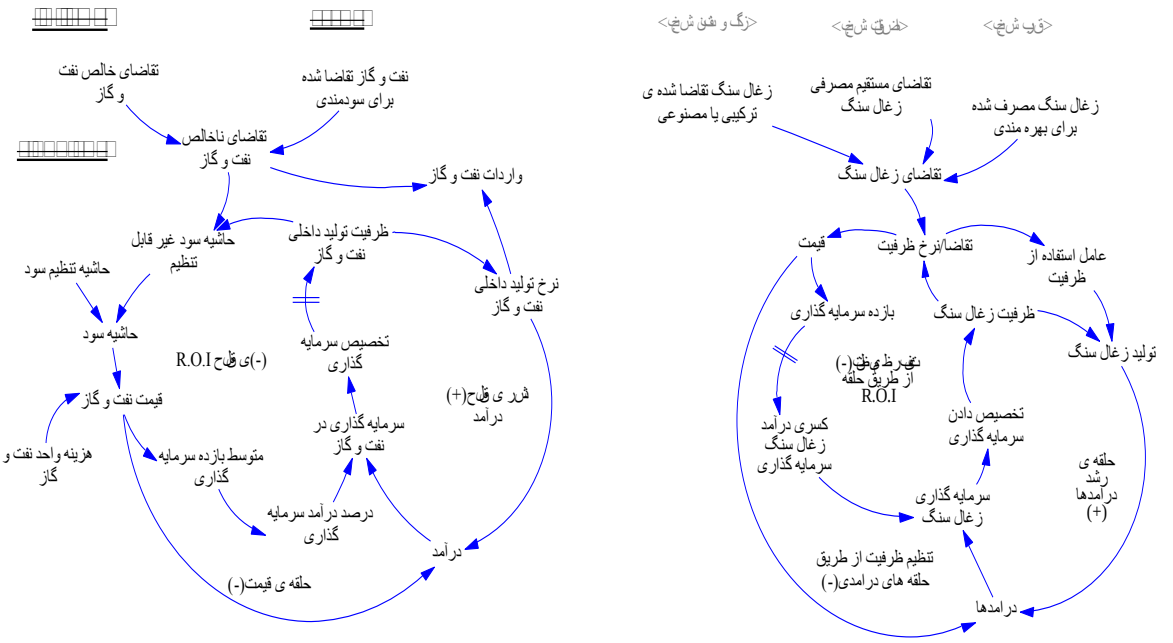


نمودار (۳-۴) شمای کلی مکانیسم بازار و فعل و انفعالات میان تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی در مدل FOSSIL2

۳-۱۰-۳- مدل COAL2

نمودار (۳-۵) تقاضا را در بخش نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ نشان می‌دهد که یک نمودار علّی-حلقوی نسبتا پیچیده است که ارتباط بین تخلیه منابع و بهره‌وری در مدل COAL2 (Naill, 1997)

را نشان می‌دهد. برای هر دو بخش نفت و گاز و زغال‌سنگ؛ افزایش سود موجب افزایش درآمد و بازدهی سرمایه‌گذاری می‌شود. لذا هر دوی این عوامل موجب افزایش سرمایه‌گذاری در نفت و گاز و تجهیزات تولید زغال‌سنگ می‌شوند. نمودار (۳-۶) از دو بخش تشکیل شده است که هر یک از این دو قسمت دارای سه حلقه مختلف هستند. نمودار سمت راست یک حلقه رشد درآمدی مثبت و دو حلقه ی منفی تنظیم ظرفیت دارد. نمودار سمت چپ نیز یک حلقه مثبت درآمد و دو حلقه منفی تنظیم ظرفیت و قیمت دارد.



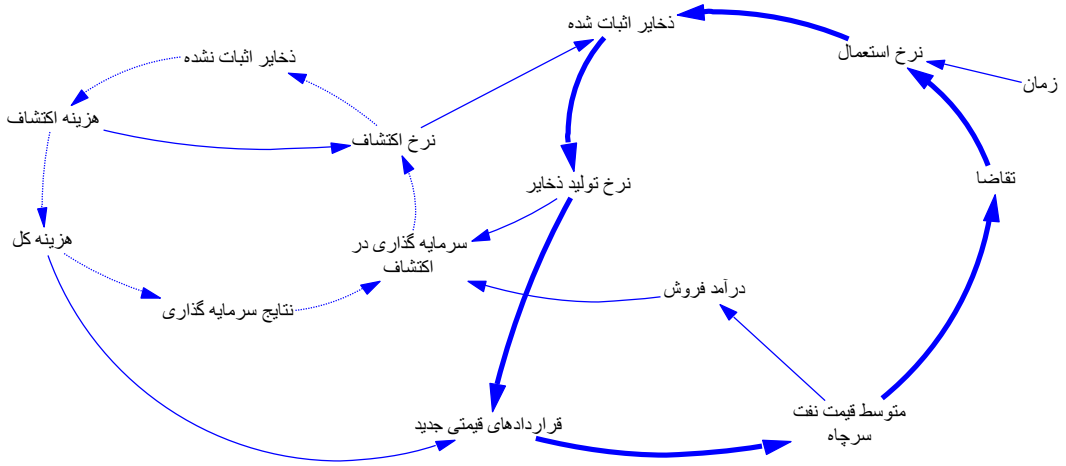
نمودار (۳-۵) تقاضا در بخش نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ

پس از طی یک تأخیر در ساخت و ساز، تجهیزات جدیدی ایجاد می‌شود که از این پس بخشی از کل ظرفیت تولید می‌باشند. طبق قانون پایه‌ی علم اقتصاد اگر ظرفیت تولید و عرضه بیش از تقاضا باشد، قیمت منابع کاهش می‌یابد که به عبارتی مازاد عرضه رخ داده است و شکاف ایجاد شده در این قسمت خود موجب نزول سرمایه‌گذاری از طریق کاهش درآمدها و بازدهی سرمایه‌گذاری می‌شود. در نهایت

کاهش سرمایه‌گذاری در زغال‌سنگ، به ترتیب ذکر شده ظرفیت تولید را با تقاضا تعدیل می‌نماید. بنابراین پاسخ قیمتی بخشی از دو حلقه بازخوردی منفی است. به علاوه مکانیسم تعدیل قیمت، تغییرات در مقادیر تولید منابع، سرمایه‌گذاری را به شکل حلقه بازخوردی مثبت تحت تأثیر قرار می-دهد. به این گونه که تولید افزایش یافته، درآمد بیشتری تولید می‌کند که به نوبه‌ی خود سبب افزایش در سرمایه‌گذاری و ظرفیت تولید خواهد شد.

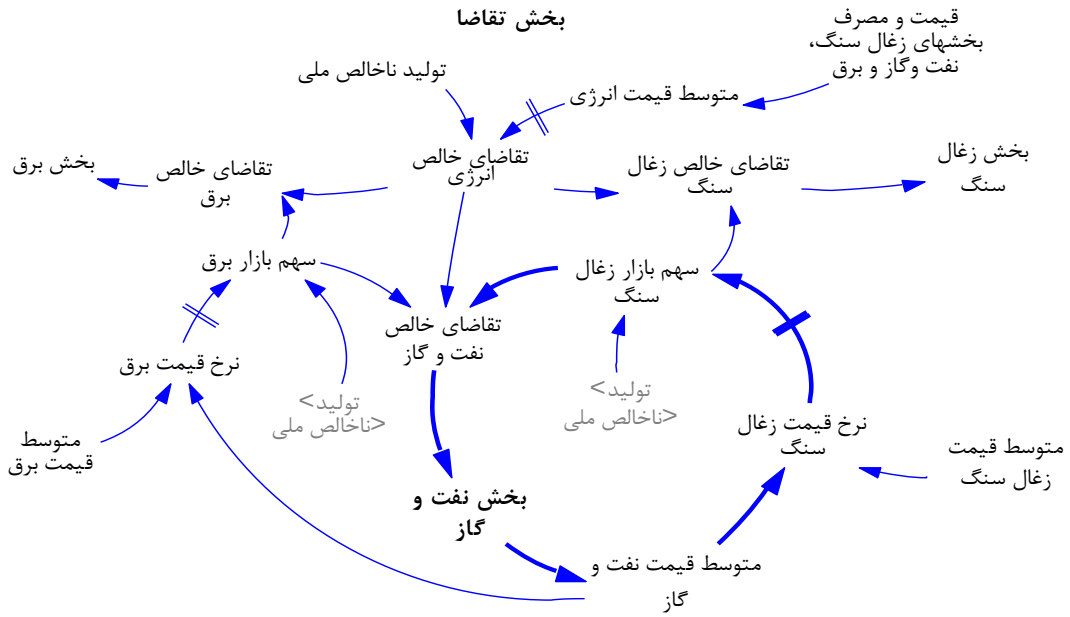
یک تأخیر ساخت و ساز در بخش نفت و گاز، به مدت زمانی حدود ۳ الی ۵ سال برای بازگشایی یک معدن جدید یا میدان نفتی (چاه) نیازمند است. در بخش زغال‌سنگ دو تأخیر وجود دارد. سرمایه گذاری در زغال‌سنگ -کسر از درآمد سرمایه‌گذاری ضربدر درآمد کل زغال‌سنگ- به صورت یکباره به افزایش نرخ بازدهی واکنش نشان نمی‌دهد، لذا یک تأخیر به وجود می‌آید. دلیلی که نایل (۱۹۹۷) آن را بیان می‌نماید دلیلی رفتاری است به این صورت که سرمایه‌گذاران تمایل دارند رفتار گذشته خود را با توجه به عدم اطمینان از شرایط آینده (آیین‌نامه جدید زیست‌محیطی و تغییرات جهانی قیمت سوخت) تغییر دهند؛ یعنی احتمال نادیده گرفتن افزایش نرخ بازدهی و عدم ورود سرمایه‌ی جدید به این بخش، احتمال بی‌اساسی نیست.

نمودار (۳-۶) حلقه‌های تقاضا برای سوخت‌های فسیلی را به نمایش می‌گذارد. این نمودار دارای دو حلقه اصلی است که به دو صورت با خطوط پررنگ و نقطه‌چین مشخص شده‌اند.



نمودار (۳-۶) حلقه‌های تقاضا در مدل Naill، (منبع:Naill, 1972)

ابزار اصلی تجزیه و تحلیل این مطالعه یک مدل سیستم دینامیکی بزرگ مقیاس برای سیستم انرژی آمریکا است که FOSSIL2 نامیده می‌شود. FOSSIL2 یک مدل شبیه‌سازی تکنولوژی است که پروژه‌های تولید انرژی، واردات، مصرف و قیمت‌های دوره ۴۰ ساله را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل توسط سازمان انرژی آمریکا به منظور تجزیه و تحلیل بلندمدت سیاست‌های انرژی و آینده انرژی‌های جایگزین استفاده شده است. این مدل می‌تواند مانند یک مدل تعادلی بازار انرژی همچون بازارهای انرژی در طول زمان از طریق بازخوردهای میان‌مدت، تقاضا و ظرفیت تولید ایفای نقش کند. این مدل از روش تحلیلی حداقل هزنیه برای مدل تقاضای انرژی آمریکا استفاده کرده است. با دنبال کردن مدل در می‌یابیم که ابتدا تقاضا برای خدمات انرژی (مثل گرما، روشنایی، بخار) و سپس سهم اختصاصی بازار مصرف نهایی را با استفاده از تکنولوژی مصرف سوخت محاسبه می‌کند. سوخت تنها جزء ضروری در ارائه خدمات انرژی می‌باشد. بخش تقاضا از الگوریتم حداقل هزینه برای پیش‌بینی تصمیم‌های مصرف‌کننده در خرید تجهیزات مصرفی استفاده می‌کند.



نمودار (۳-۷) ساختار علّی استفاده شده برای تعیین تغییرات تقاضا

«تقاضای خالص انرژی» در اینجا متغیر کلیدی است. این متغیر، کل مصرف انرژی در اقتصاد را ارائه می‌دهد و با تقاضای انرژی ناخالص متمایز و بیشتر از آن است؛ زیرا تولید انرژی به صورت صد درصدی کارا نیست. به طور مشخص تقاضای انرژی خالص از طریق تولید ناخالص ملی (GNP) و متوسط قیمت انرژی مشخص می‌شود. تولید ناخالص ملی در مدل یک متغیر برونزاست و قیمت که وزن نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ به همراه نرخ استفاده‌شان می‌باشد، محاسبه شده است. قیمت‌هایی که در بخش انرژی محاسبه شده است درونزا هستند. اثرگذاری قیمت انرژی بر تقاضای خالص آن با تأخیر همراه است. یعنی ممکن است مصرف‌کننده نهایی یا بنگاه‌هایی که از انرژی به عنوان کالای واسطه استفاده می‌کنند با فاصله‌ی زمانی از این تغییر قیمت‌ها مطلع گردند و تقاضای انرژی خود را تغییر دهند. تقاضای خالص انرژی تحت تاثیر اثرات درآمدی و قیمتی قرار دارد. همانگونه که از روابط درون مدل هویداست، تمامی قیمت‌ها به صورت میانگین اورده شده است و همچنین میانگین قیمت-

های هر بخش از انرژی طی سال‌های مختلف به طور جداگانه برنرخ قیمت انرژی آن سال اثر می‌گذارد و رویکردی عقب‌نگر در این مورد وجود دارد. نرخ‌های قیمتی با تأخیر بر سهم بازار هر بخش انرژی اثر می‌گذارد. علاوه بر متوسط قیمت بخش برق و زغال سنگ، متوسط قیمت نفت و گاز نیز بر نرخ قیمت این دو بخش اثر دارد که می‌تواند بیانگر تاثیر مستقیم آن باشد. در واقع بین این بخش‌های انرژی در کشور رابطه جانشینی وجود دارد و طبق قوانین اقتصاد افزایش نرخ قیمتی یک کالا موجب کاهش مصرف آن و افزایش توجه بیشتری به سایر منابع انرژی می‌گردد؛ که این همان اثر جانشینی کالاهاست. در اینجا کالاهای موجود خود نهاده‌ی اولیه بخش دیگری محسوب می‌شوند و اگر سیستم دیگر، قابلیت استفاده از سوخت جایگزین را در نیروگاه یا پالایشگاه خود برای تولید انرژی نهایی داشته باشد، بحث جایگزینی انرژی‌ها مطرح می‌شود.

۳-۱۱- دورنمای مدلسازی منابع انرژی

در دورنمای مدلسازی منابع انرژی پنج مدل وجود دارند که شامل مدل‌های FREE, COAL2, TIME(R) DICE و SGM که مدل COAL2 با توجه به ضروریات مطالعه توضیح داده می‌شود.

۳-۱۱-۱- مدل COAL2

مدل COAL2 یک مدل اقتصاد- انرژی- سیستم دینامیکی است که یک بخش تقاضا و سه بخش عرضه را شامل می‌شود. عرضه شامل عرضه نفت و گاز، زغال‌سنگ و برق می‌باشد. این مدل به طور صریح به شبیه‌سازی قواعد گوناگون در اقتصاد آمریکا می‌پردازد و برای خروج اقتصاد این کشور از وابستگی به واردات نفت ایجاد شده است. این مدل دارای فروض پایه برای عرضه منابع انرژی است که به آنها اشاره می‌شود:

۱. تولید داخلی انرژی توسط ظرفیت خروجی امکانات تولید و ظرفیت مصرف تخمین زده می-شود.

۲. ظرفیت تولید به موارد زیر وابسته است:

- قرارداد نفت و گاز- سرمایه، منافع
- نفت و گاز ترکیبی- سرمایه تحقیق و توسعه[۳۶]، زغال‌سنگ در دسترس
- برق- سرمایه، تعدیلات زیست‌محیطی، در دسترس بودن سوخت
- زغال‌سنگ- سرمایه، نیروی کار، منابع، محیط‌زیست و استانداردهای ایمنی.

۳. توانایی نفت و گاز، برق و زغال‌سنگ برای ایجاد سرمایه‌گذاری سرمایه جدید از منابع داخلی و خارجی محدود است.

۴. موجودی محدودی از منابع نفت، گاز و زغال‌سنگ در ایالات متحده وجود دارد. با تخلیه منابع، بهره‌وری موجودی سرمایه کاهش می‌یابد (نسبت سرمایه به محصول افزایش می‌یابد).

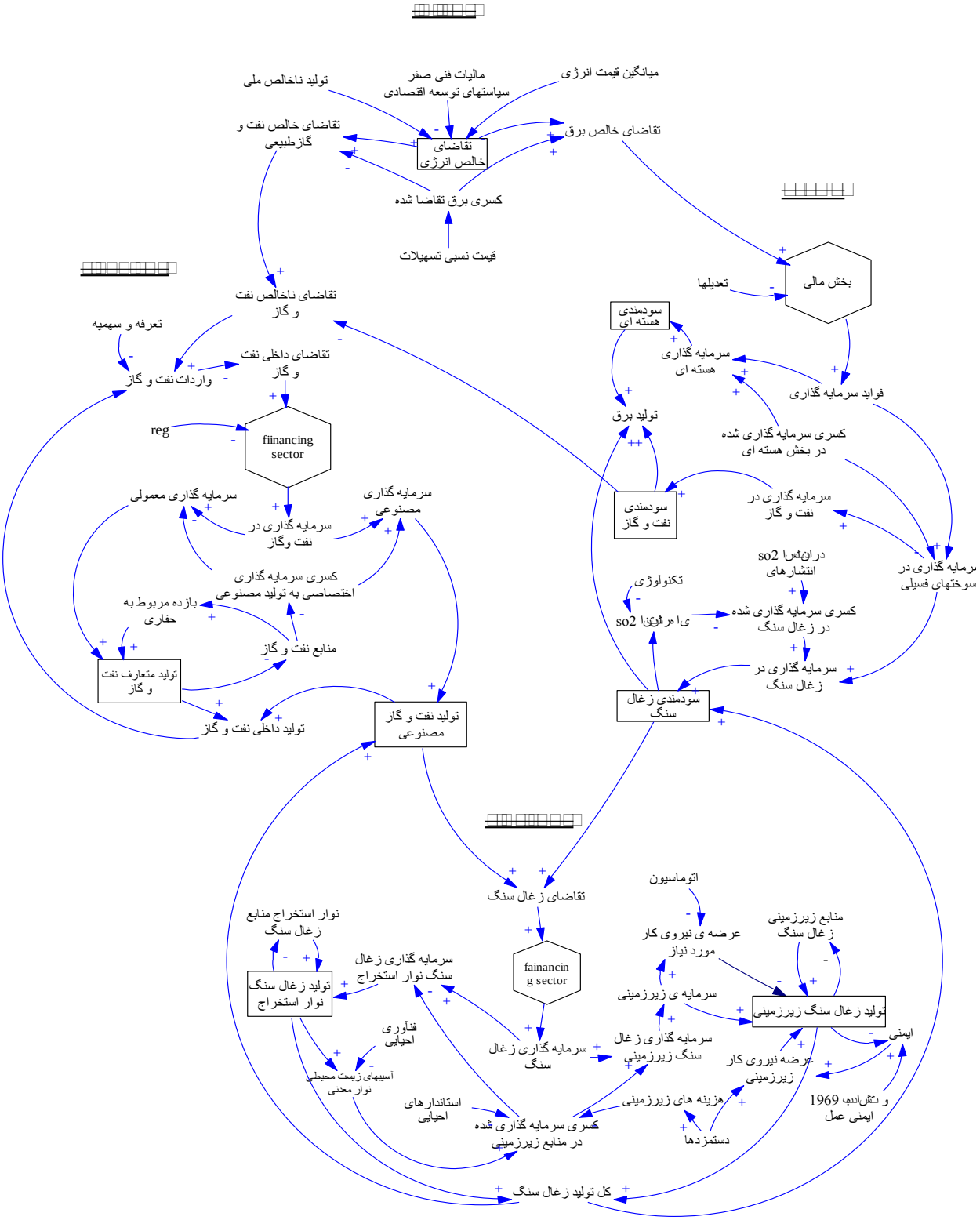
۵. تأخیرهای غیرقابل اجتناب، پاسخ‌گویی عرضه انرژی را محدود می‌سازند: به عنوان مثال تأخیرهای ساخت و ساز ۳ تا ۱۰ سال، تأخیرهای R&D، استخدام نیروی کار زغال‌سنگ زیرزمینی و تأخیرهای موجود در زیر بخش سرمایه‌گذاری.

۶. همانگونه که ظرفیت تولید نفت و گاز از تقاضا عقب می‌افتد، کمبود با استفاده از واردات نفت جبران می‌شود.

[36] R&D

معادلات مربوط به مدل COAL2 در زبان DYNAMO نوشته شده‌اند و در ضمیمه Naill (1977) وجود دارند. منابع نفت و گاز آمریکا رو به اتمام هستند ولی در عین حال ذخایر زغال‌سنگ خوبی در این کشور وجود دارد، لذا مدل COAL2 در تلاش است سیاست‌هایی را برای انتقال این کشور از واردات نفت و گاز به سمت منابع داخلی زغال‌سنگ طراحی کند. سیاست‌های در نظر گرفته شده شامل طرحی برای تسریع ساخت نیروگاه‌های انرژی هسته‌ای، افزایش وابستگی به ذخایر زغال‌سنگ، تحمیل سهمیه‌بندی واردات نفت، مقررات‌زدایی قیمت نفت، اصلاح نرخ استفاده از برق، تسریع بخشیدن به تحقیق و توسعه سوخت مصنوعی یا کاهش مصرف انرژی و غیره است. بخش تقاضا در بالا و بخش‌های عرضه در زیر قرار دارند که از یک جهت منابع فیزیکی و از جهت دیگر کشف و تخلیه، ظرفیت تولید یا استخراج داخلی و تصمیمات مالی برای تخصیص بودجه داخلی برای تولیدات جدید را (از طریق تبدیل زغال‌سنگ به سوخت‌های ترکیبی) نشان می‌دهند. بخش نفت و گاز در این نمودار به صورت یک بخش واحد در نظر گرفته شده‌اند زیرا اولا هردو جزء اقلام وارداتی هستند و از سوی دیگر هردو نیز در داخل کشور تولید می‌شوند. بخش مالی تصمیماتی مثل هزینه‌های سرمایه، هزینه‌های سوخت و تعدیلات محیط‌زیستی را در پی دارد.

تولید انرژی منجر به تخلیه منابع باقی‌مانده و همچنین کاهش بهره‌وری سرمایه می‌شود. Naill (1977: 57) مشاهداتی که کاهش بهره‌وری سرمایه را به صورت تولید کمتر نفت و گاز، مخازن با بهره‌وری پایین‌تر و کاهش میادین قابل حفاری منجر می‌شوند، مدلسازی کرد. ظرفیت‌های تولید منابع حداکثر تولید را تعیین می‌کنند.


تولید ناخالص ملی
مالیات فنی صفر
سیاستهای توسعه اقتصادی
میانگین قیمت انرژی
تقاضای خالص نفت و گازطبیعی
تقاضای خالص انرژی
تقاضای خالص برق
کسری برق تقاضا شده
قیمت نسبی تسهیلات
بخش مالی
تعدیلها
تقاضای ناخالص نفت و گاز
تعرفه و سهمیه
واردات نفت و گاز
تقاضای داخلی نفت و گاز
reg
fiinancing sector
سودمندی هسته ای
سرمایه گذاری هسته ای
فواید سرمایه گذاری
تولید برق
کسری سرمایه گذاری شده در بخش هسته ای
سرمایه گذاری معمولی
سرمایه گذاری مصنوعی
سرمایه گذاری در نفت وگاز
سودمندی نفت و گاز
سرمایه گذاری در نفت و گاز
سرمایه گذاری در سوختهای فسیلی
کسری سرمایه گذاری اختصاصی به تولید مصنوعی
بازده مربوط به حفاری
منابع نفت و گاز
تولید متعارف نفت و گاز
تولید داخلی نفت و گاز
تولید نفت و گاز مصنوعی
تکنولوژی
کسری سرمایه گذاری شده در زغال سنگ
سرمایه گذاری در زغال سنگ
سودمندی زغال سنگ
تقاضای زغال سنگ
fainancing sector
اتوماسیون
عرضه ی نیروی کار مورد نیاز
منابع زیرزمینی زغال سنگ
نوار استخراج منابع زغال سنگ
سرمایه گذاری زغال سنگ نوار استخراج
تولید زغال سنگ نوار استخراج
سرمایه ی زیرزمینی
تولید زغال سنگ زیرزمینی
فناوری احیایی
آسیبهای زیست محیطی نوار معدنی
سرمایه گذاری زغال سنگ
سرمایه گذاری زغال سنگ زیرزمینی
ایمنی
عرضه نیروی کار زیرزمینی
استانداردهای احیایی
کسری سرمایه گذاری شده در منابع زیرزمینی
هزینه های زیرزمینی
دستمزدها
و نشاندهی 1969 ایمنی عمل
کل تولید زغال سنگ

نمودار (۳-۹) ساختار علّی مدل COAL2

۳-۱۱-۱-۱- بخش برق

از دیدگاه بنگاه‌ها و سرمایه‌گذاران هدف از انجام سرمایه‌گذاری در اقتصاد کسب سود است. بخش مالی به دنبال کسب فایده از سرمایه‌گذاری می‌باشد. اگر فواید حاصل از سرمایه‌گذاری قابل توجه باشد، سرمایه‌گذاران را به سمت سرمایه‌گذاری در این بازار می‌کشاند. سرمایه‌گذاری‌ها نیز منجر به سوددهی می‌شوند و بر تولید اثر مثبت خواهند گذاشت که در واقع این یک چرخه تکرار شونده است. آنچه که در نمودار ۸ مدل COAL2 بخش برق مشاهده می‌شود، تاثیر سوددهی هر بخش از سرمایه گذاری بر بخش برق و افزایش تولید آن است.

مصرف زغال‌سنگ موجب تولید So_2 می‌شود. در مقابل کسری سرمایه‌گذاری با افزایش سرمایه‌گذاری ارتباط مستقیم دارد زیرا در اقتصاد هر بخشی که نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر باشد سوددهی بیشتری ایجاد می‌کند. هنگامی که ظرفیت بازار اشباع شود و یا فضای مناسب برای سودآوری به هر دلیلی وجود نداشته باشد، سرمایه از ان بخش به سایر قسمت‌های اقتصاد وارد می‌شود. طبق قوانین اقتصاد اثرات بیرونی بنگاه‌ها همچون ایجاد آلودگی‌های آب، هوا و به طور کلی محیط‌زیست منجر به پرداخت مالیات و یا هزینه‌های بهبود محیط‌زیست می‌شود و اگر میزان این آلودگی‌های ایجاد شده و پرداخت جریمه مالیاتی به قدری باشد که سودآوری را تحت‌الشعاع قرار دهد، به تبع سرمایه‌گذاری در آن بخش را نیز محدود خواهد کرد و آنچه که نهایتا شاهد آن خواهیم بود کاهش سرمایه‌گذاری و کاهش تولیدات در یک بخش از صنعت یا انرژی است؛ اما آنچه که از این اتفاق جلوگیری می‌کند افزایش تکنولوژی و پیشرفت فناوری تولید واحدهای تولیدکننده است. پیشرفت تکنولوژی موجب کاهش انتشار گازهای آلاینده همچون SO2 می‌شود و مشکلات ناشی از آن را از بین خواهد برد.

۳-۱۱-۱-۲- بخش نفت و گاز

تأمین نفت و گاز از طریق تولیدات داخلی و واردات صورت می‌گیرد. واردات تحت تأثیر تعرفه و سهمیه‌ها، تولیدات داخلی و همچنین تقاضای ناخالص تولیدات نفت و گاز قرار دارد؛ البته به جز موارد محدودی که به منظور سوآپ انجام می‌شود، واردات نفت و گاز در ایران مفهومی ندارد.

توجه به این نکته ضروری است که عمده‌ی اقتصاد ایران بر پایه‌ی صنعت نفت و گاز استوار است. بخش اعظمی از درآمدهای دولت ناشی از فروش سوخت‌های فسیلی و صادرات آن به کشورهای دیگر است. با توجه به قانون ملی بودن صنعت نفت؛ اکتشاف، حفاری، استخراج و تولید این بخش نیز در انحصار دولت قرار دارد و در سال‌های اخیر قسمت‌هایی از مراحل پروسه‌ی تولید به شرکت‌های دیگری که آنها نیز ماهیت نیمه‌خصوصی دارند، واگذار شده است. با توجه به این مطلب و همچنین اشتراک تعدادی از این منابع با کشورهای همسایه، سرمایه، سرمایه‌گذاری در این صنعت به صورت حداکثری می‌باشد. بدین معنا که جهت استفاده از تمامی ظرفیت‌های موجود و بهره‌مندی بیشتر از درآمدهای حاصل از آن، تلاش‌ها در راستای به وقوع پیوستن و همسان‌سازی توان ظرفیت بالقوه و بالفعل قرار دارد. در واقع تمامی مقدار ریالی و فیزیکی عرضه شده نشانگر همان مقدار سرمایه بکار گرفته شده و نیروی کار مورد نیاز است. در دوره‌ی ۱۳۸۸-۱۳۸۴ میزان استخراج از این چاه‌ها و میادین چندین برابر بیش از ظرفیت اسمی و عملی بوده است که این خود بیانگر صرف سرمایه و تقبل هزینه‌ی هنگفتی در اقتصاد می‌باشد. با توجه به آنکه سرمایه‌گذاری تابع مستقیمی از نرخ بازدهی آن است،

بنابراین در سال‌های اخیر که قیمت هر بشکه نفت خام به شدت افول داشته است؛ باید شاهد کاهش سرمایه‌گذاری‌ها و متعاقباً کاهش تولید و عرضه انرژی باشیم.

تعرفه و سهمیه بر میزان واردات اثر معکوس دارد. یعنی اگر تعرفه واردات افزایش پیدا کند میزان واردات آن محصول مربوطه کاهش پیدا می‌کند. تولید داخلی بر واردات اثر معکوس می گذارد. بدین صورت که اگر تولید داخلی تأمین‌کننده نیاز داخل باشد دیگر نیاز به واردت از بین رفته یا کم خواهد شد. لذا در میان عوامل مؤثر بر واردات نفت و گاز تنها تقاضای ناخالص نفت و گاز بر آن اثر مثبت داشته و با افزایش این تقاضا؛ میزان واردات آن نیز، با فرض ثبات سایر شرایط ممکن است افزایش یابد. تقاضای داخلی نفت و گاز بطور جداگانه تحت تأثیر تقاضای ناخالص و واردات است.

با انجام واردات در واقع شکاف تقاضا و عرضه کاهش یافته و تقاضا کم می‌شود بنابراین تعادل در بازار ایجاد می‌گردد. با افزایش تقاضای ناخالص نیز تقاضای داخلی افزایش می‌یابد، تولیدات مصنوعی (مشتق شده) و عادی نفت و گاز نیز بر تولیدات داخلی آن اثرگذارند و افزایش هر یک از آنها موجب افزایش تولید داخلی می‌شود. تقاضای داخلی و مقررات تعدیل سازی بر بخش مالی تاثیرگذارند. در واقع بخش مالی بخشی است که هدایت سرمایه‌گذاری‌ها در یک قسمت را بر عهده دارد. سرمایه‌گذاری نفت و گاز نیز به دو بخش سرمایه گذاری در تولیدات مصنوعی و سرمایه‌گذاری در تولیدات معمولی تقسیم می شود. شکاف سرمایه‌گذاری تخصیص یافته با مصنوعی نیز بر سرمایه‌گذاری هر بخش اثر دارد؛ اما آنچه در این میان جالب توجه است تأثیر مستقیم منابع نفت و گاز بر عایدی‌های حفاری‌ها است در واقع در منطقه‌ای که منابع به قدر کافی وجود نداشته باشد و پیش‌بینی‌ها به گونه‌ای باشد که حفاری صرفه اقتصادی نداشته باشد، پذیرش و اجرای هزینه‌های هنگفت حفاری و استخراج امری نادرست و غیرمنطقی می‌باشد. زیرا دکل‌های حفاری هزینه‌های اجرایی بسیار بالایی دارند که به

همین سبب تمامی کشورهای نفت‌خیز در تلاشند عملیات حفاری را به صورت بسیار فشرده طی چند روز به پایان برسانند. تولید عادی و معمولی نفت و گاز نیز بر منابع آن اثر منفی گذاشته و موجب کاهش این منابع می‌شود. در واقع در طی چرخه تولید از مقدار منابع موجود در آن کاسته می‌شود زیرا سوخت‌های فسیلی در دسته‌ی انرژی‌های تجدیدناپذیر قرار دارند و تقریباً تشکیل دوباره آنها فراتر از عمر بشر است.

۳-۱۱-۱-۳- زغال‌سنگ

زغال‌سنگ از آن دسته مواد معدنی می باشد که به دو صورت قابل استحصال است و می‌توان به منابع آن دسترسی یافت. روشی که از جهت دسترسی و هزینه بهره‌برداری مناسب‌تر است، بهره‌برداری از طریق کنارزدن روی خاک و کندن گودال‌های نسبتاً کم عمق به جای حفر تونل عمیق زیرزمینی می-باشد که در اصطلاح به آن "Strip-Minning" گفته می‌شود. ولیکن روش دیگری که علی‌رغم هزینه-ها و مشقت‌های سنگین وجود داشته و کماکان در نقاط مختلف جهان مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، تولید زغال‌سنگ از طریق منابع درونی یا زیرزمینی است. در این مورد عرضه نیروی کار عملیاتی، نیروی کار مورد نیاز اتوماسیون اداری، امنیت نیروی کار، دستمزدها، سرمایه‌گذاری و هزینه‌های تولید زیرزمینی از جمله موارد مهم و اثرگذار می باشد.

تقاضای زغال‌سنگ تنها موردی است که بر بخش مالی اثرگذار است و هرگونه افزایش در این قسمت موجب ایجاد تأثیرات مثبت بر بخش مالی می‌شود. این تأثیرات مثبت به شکل افزایش اعتبارات و سرمایه‌گذاری در منابع زغال‌سنگ ظهور می‌یابد.

همواره پیشرفت تکنولوژی بر آسیب‌های زیست‌محیطی معدن کاری روزمینی اثر معکوس دارد. در واقع هرچه تکنولوژی متناسب‌تر و به‌روزتر باشد، آسیب‌های زیست‌محیطی تولید کاهش می‌یابد.

آسیب‌های زیست‌محیطی، استانداردها و هزینه‌های زیرزمینی نیز بر شکاف سرمایه‌گذاری بر منابع زیرزمینی اثر می‌گذارد.

جریان‌های درآمد منبع اصلی بودجه سرمایه‌گذاری‌های آینده هستند. متوسط عایدی‌های سرمایه-گذاری بودجه مورد نیاز برای پروژه‌های جدید را تأمین می‌کند. منابع داخلی و خارجی شامل منابع بیرونی نفت و گاز می‌شوند. درآمدهای حاصل از منابع شامل سود انباشته، تنزل ارزش و استهلاک هستند.

در نهایت یک عامل پیچیده بازیابی نهایی منابع است. بر اساس نایل (1977)، روش‌های معمول معدن‌کاری تنها ۵۰ درصد منابع زیرزمینی زغال‌سنگ و۹۰ درصد منابع سطحی را قابل بازیابی می-کند. در معدنکاری زیرزمینی ۵۰ درصد باقیمانده برای پشتیبانی از سطوح زیرین دست نخورده باقی می‌ماند.

۳-۱۲- مواد و روش‌ها

هدف تحقیق علمی، شناخت یک پدیده در یک جامعه آماری[۳۷] است. در این راستا، موضوع تحقیق متوجه مطالعه متغیرها (صفات، ویژگی‌ها، کارکردها و ...) و روابط بین متغیرها (صفات، ویژگی‌ها، کنش و واکنش و عوامل تاثیرگذار) می‌باشد. این تحقیق به منظور تبیین یک مدل جامع انرژی صورت گرفته است که بتواند در شرایط فعلی کشور، اثرات متقابل چندین متغیر را به صورت همزمان و جامع در نظر بگیرد، ارتباط و اثر هر یک را بر دیگر متغیرها نشان دهد و دیدگاهی جامع از عواملی که هر یک جایگاه بخصوصی در سیستم انرژی کشور دارند، بدست دهد. بنابراین این پژوهش یک تحقیق کیفی- تحلیلی محسوب می‌شود. سوال بنیادین این تحقیق این است که «چه عواملی بر عرضه، تقاضا،

37 Statistical population

اکتشاف، سرمایه‌گذاری و همچنین انرژی‌های فسیلی تاثیرگذارند؟ و چگونه می‌توان با استفاده از روش پویایی سیستم و نمودارهای علّی معلولی به این سوال پاسخ داد؟». در تحقیقات و مطالعات اولیه متغیرهایی همچون هزینه اکتشاف، قیمت‌های جهانی، سرمایه‌گذاری، عایدی‌های سرمایه‌گذاری، نسبت تقاضا به تولید، ذخایر استراتژیک کشورها، هزینه حمل و نقل و ظرفیت تولید از جمله متغیرهای مهم و اثرگذار در چرخه انرژی محسوب می‌شدند. ابتدا با بررسی روندهای آماری مختلف در ایران طی سال‌های بعد از انقلاب از سال ۹۲-۱۳۷۰ از میزان تولیدات، مصرف، قیمت، صادرات انرژی-های فسیلی و برق و شدت مصرف انرژی دید روشنی بدست آمد. پس از تشریح ساختار اقتصاد انرژی، بحران‌های موجود و شناسایی متغیرهای کلیدی، روابط علت و معلولی با استفاده از نرم‌افزار ونسیم میان متغیرهای مختلف در بخش انرژی همچون اکتشاف، حفاری، استخراج، تولید، عرضه، قیمت، تقاضا، سرمایه‌گذاری، صادرات و واردات ترسیم شد. عرضه و تقاضا، سرمایه‌گذاری و انرژی‌های تجدیدپذیر چهار نموداری هستند که هر یک به صورت جداگانه ترسیم شدند و برای حلقه‌های مختلف آنها تفسیر و تحلیل ارائه شد. این پژوهش با هدف تبیین روابط تهیه و تنظیم شده است. بازخورد یکی از مفاهیم محوری در پویایی‌شناسی سیستم‌هاست. با این حال، غالباً مدل‌های ذهنی ما در گنجاندن بازخوردهای حیاتی که پویایی سیستم‌های ما را ایجاد می‌کنند، دچار مشکل می‌شوند. در پویایی شناسی سیستم‌ها، از ابزارهای نموداری مختلفی برای درک ساختار سیستم مثل نمودارهای علّی- حلقوی و نقشه‌های حالت و جریان استفاده می‌کنیم. نمودارهای علّی- حلقوی ابزاری مهم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم‌هاست. یک نمودار علّی از تعدادی متغیر تشکیل شده‌اند که توسط پیکان‌هایی تاثیر بین این متغیرها نشان داده می‌شود و به یکدیگر متصل می‌شوند. همچنین باید حلقه‌های بازخوردی مهم را نیز در نمودار با علامت مخصوص به خود مشخص کرد (Sterman, 2000).

۳-۱۲-۱- قلمرو مکانی و زمانی تحقیق

تمامی چاه‌های نفت و گاز، نیروگاه‌های تولید و تبدیل اقسام انرژی(بادی، خورشیدی، برقآبی و بیومس) به انرژی الکتریکی ایران در حیطه جغرافیایی این پایان‌نامه قرار دارند. در پژوهش‌های سیستمی تعیین یک محدوده زمانی مشخص اقدامی پیچیده و گاها غیرعقلایی است. زیرا در بسیاری از موارد نتایج حاصل از مدلسازی و طراحی سناریو در فواصل زمانی کوتاه‌مدت به صورت علنی به وقوع نمی‌پیوندد و علت آن نیز استفاده از سوابق و داده‌های پیشین و پیش‌بینی و سیاست‌گذاری برای سال‌های آینده است. بنابراین تعیین محدوده زمانی برای مدل‌های سیستم‌های پویا باید بسیار با دقت و هوشمندانه انجام شود. همانگونه که پیشتر توضیح داده شد، این پژوهش به داده‌ها و سوابق انرژی طی سالهای ۱۳۹۲-۱۳۷۰ و ارائه‌ی راهکارهای مناسب برای سال‌های آینده مرتبط می‌باشد.

۳-۱۲-۲- محدوده موضوعی

باتوجه به گستردگی موضوع تحقیق و نیازمندی به انواع اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پروژه‌ی ملّی، این تحقیق در حیطه پژوهش‌های روشنگری اقتصادی- برنامه‌ریزی می‌باشد. برنامه‌ریزی و مدلسازی تحقیق نیز در حوضه اقتصاد انرژی و سیستم‌های پویا قرار خواهد گرفت. درواقع به علت همه‌جانبه بودن و وسیع بودن موضوع و ارتباط گسترده‌ای که بخش انرژی با تمامی بخش‌ها (تجاری، صنعتی، کشاورزی و دامداری، خانگی و حمل و نقل) داراست، می‌توان به نوعی موضوع را بر تمامی بخش‌های ذکر شده مسلط و مهم برشمارد.

۳-۱۲-۳- روش گردآوری اطلاعات

به طور کلی روش‌های گردآوری اطلاعات در یک پژوهش را می‌توان به دو دسته کتابخانه‌ای و میدانی تقسیم نمود. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از روش گردآوری اطلاعات کتابخآنهای و با مطالعه ترازنامه انرژی ایران سال ۱۳۹۲، پایگاه‌های اطلاع‌رسانی وزارت نیرو، سری زمانی بانک مرکزی ایران، آژانس بین‌المللی انرژی[۳۸]، سازمان کشورهای صادر کننده نفت با نام اختصاری اوپک[۳۹]، سازمان اطلاعات انرژی آمریکا[۴۰]، انجمن جهانی انرژی[۴۱] و موسسه علوم و منابع طبیعی آلمان[۴۲] بدست آمده-اند.

38 IEA
39 OPEC
40 EIA
41 WEC
42 BGR

فصل چهارم- تبیین روابط علّی– معلولی

۴-۱- مقدمه

بازخورد یکی از مفاهیم محوری در پویایی‌شناسی سیستم‌هاست. با این حال، غالبا مدل‌های ذهنی ما در گنجاندن بازخوردهای حیاتی که پویایی سیستم‌ها را ایجاد می‌کنند، دچار مشکل می‌شوند. در پویایی‌شناسی سیستم‌ها، از ابزارهای نموداری مختلفی برای درک ساختار سیستم مثل نمودارهای علّی- حلقوی و نقشه‌های حالت- جریان استفاده می‌شود. نمودارهای علّی- حلقوی ابزاری مهم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم‌هاست. یک نمودار علّی از تعدادی متغیر تشکیل شده است که توسط پیکان‌هایی تاثیر بین این متغیرها نشان داده و به یکدیگر متصل می‌شوند. همچنین باید حلقه-های بازخوردی مهم را نیز در نمودار با علامت مخصوص به خود مشخص کرد (Sterman, 2000). این فصل بر نمودارهای علّی- حلقوی، رهنمودها، محدودیت‌ها و تفاسیر مرتبط با آن تمرکز دارد. ابتدا چند نمودار علّی- معلولی مرجع در پویایی‌های سیستم در دنیای انرژی و بازار آن بیان می‌شوند در ادامه نمودارهای علّی- حلقوی ترسیم شده مرتبط با مباحث مد نظر و تحلیل‌های مرتبط با آنها آورده شده است.

۴-۲- روابط علّی- معلولی

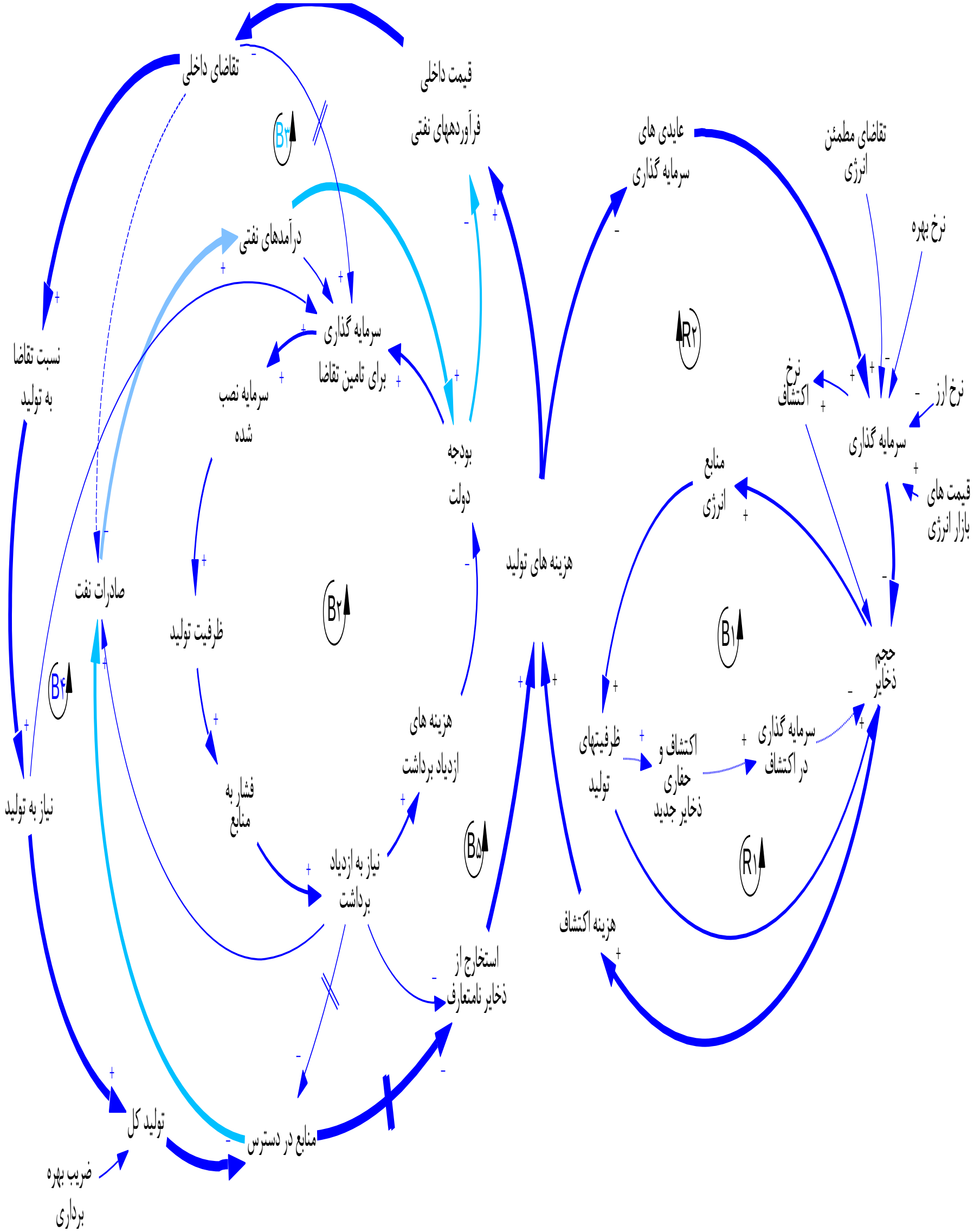
در این قسمت نمودارهای علّی- معلولی مختلف به منظور بیان روابط بین بخش‌ها و متغیرهای مختلف انرژی در کشور و شناخت ارتباط آنها با یکدیگر در نرم‌افزار ونسیم ترسیم شدند و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. متغیرهای استفاده شده در این نمودارها با مبحث امنیت انرژی و اقتصاد مقاومتی در ارتباط بوده و با هدف پوشش مسائل پیش روی این مباحث انجام شده‌اند.

۴-۲-۱- اکتشافات، عرضه، تقاضای انرژی فسیلی

در این قسمت نمودارهای علّی- معلولی مختلف به منظور بیان روابط بین بخش‌ها ومتغیرهای مختلف انرژی در کشور و شناخت ارتباط آنها با یکدیگر در نرم‌افزار ونسیم ترسیم شدند و مورد تفسیر تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. متغیرهای استفاده شده در این نمودارها با مبحث امنیت انرژی و اقتصاد مقاومتی در ارتباط بوده و با هدف پوشش مسائل پیش روی این مباحث انجام شده‌اند. نمودار (۴-۱) از دو نمودار متصل به یکدیگر تشکیل شده است. نمودار سمت راست حاوی حلقه تعدیل‌کننده B1 و حلقه خودفزانیده R1 و R2 ، نمودار سمت چپ نیز تنها متشکل از چهار حلقه تعدیل‌کننده B2, B3, B4 و B5 می‌باشد.

ذخایر انرژی با منابع آن تفاوت دارند. حجمی از نفت درجا را که می‌توان استخراج کرد اصطلاحاً «ذخایر نفتی» می‌گویند (درخشان، ۱۳۸۹). منابع انرژی پتانسیل‌های بالفعل هستند، یعنی قابلیت استخراج و تخلیه را دارند. لذا برای استفاده از ذخایر نیاز به سرمایه‌گذاری و اکتشاف است که هر یک از اینها هزینه‌هایی دربر دارند. طبق این نمودار سرمایه‌گذاری تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون عایدی‌های سرمایه‌گذاری، نرخ بهره بانکی، ضریب بهره‌برداری، نرخ ارز، قیمت‌های بازار انرژی و تقاضای مطمئن انرژی می‌باشد. عرضه‌کننده انرژی نیازمند تقاضای مطمئن است که امنیت انرژی برای عرضه‌کننده نامیده می‌شود؛ همانگونه که متقاضیان انرژی نیز نیازمند عرضه امن انرژی در قیمت‌های مناسب هستند. گفته شد ذخایر انرژی با اکتشاف و حفاری به مرحله استخراج می‌رسند؛ بنابراین هرچه به میزان اکتشاف افزوده شود از حجم ذخایر انرژی کاسته خواهد شد (حلقه R1). این مطلب اگرچه جنبه‌های مثبت فراوانی به همراه دارد ولی به خودی خود یک هشدار جدی محسوب می‌گردد. زیرا رفته‌رفته حجم ذخایر مطلوب به پایان می‌رسد و تنها ذخایری که بهره‌برداری از آنها از لحاظ اقتصادی به صرفه نخواهد بود و هزینه تولید تمام شده بسیار بالایی خواهند داشت، برقرار هستند. بنابراین بر اعداد و ارقامی که گویای عمر چندین ساله و پابرجابودن ذخایر سالیان دراز می-

باشـند، نمـی‌تـوان اتکـا نمـود (درخشـان، ۱۳۸۹). بـا کـاهش تقاضـای داخـل، تولیـد فـرآورده‌هـای هیدروکربوری در ظرفیت‌های موجود انجام می‌شود و دیگر نیـازی بـه گسـترش ظرفیـت‌هـای تولیـد نخواهد بود در این صورت بودجه دولت و حجم سرمایه‌گذاری‌هایی که برای گسترش ایـن ظرفیـت‌هـا مصرف می‌شد، صرفه‌جویی خواهد شد (حلقه B1). در نمای کلی نمودار تمامی این حلقه‌ها زیر حلقـه یک حلقه بزرگتر به نام R2 می‌باشند که به صورت جامع تمام متغیرهـا و روابـط را درون خـود جـای داده است. درآمدهای نفتی کشور بر سرمایه‌گذاری‌ها برای تأمین تقاضای مصرف‌کنندگان اثر مستقیم دارد. همچنین تقاضای داخلی با تأخیر، بر سرمایه‌گذاری برای تأمین تقاضا اثرگذار است. حلقه B2 در راستای هزینه‌های ازدیاد برداشت و تأثیر آن بر بودجه دولت می‌باشد. به علـت تقاضـای بـالا و تولیـد برای پاسخ‌گویی به این نیاز، منابع در حال استخراج تحت فشار قرار می‌گیرند، بنابراین برای حفظ این منابع و استفاده از آنها برای مدت طولانی‌تر نیاز به استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت بیشتر می‌شود که خود هزینه‌های زیادی در پی دارد. این هزینه‌ها از محل درآمدهای نفتی و بودجه دولت در صنعت نفت تأمین می‌شود. از این طریق تا حدودی از بودجه‌های سرمایه‌گذاری کاسته می‌شود (حلقه B2) در حالی که می‌توان از این بودجه برای سرمایه‌گذاری در تجهیزات، ازدیاد برداشـت و تعمیـر و نگهـداری اسـتفاده کـرد (Naill, 1972).



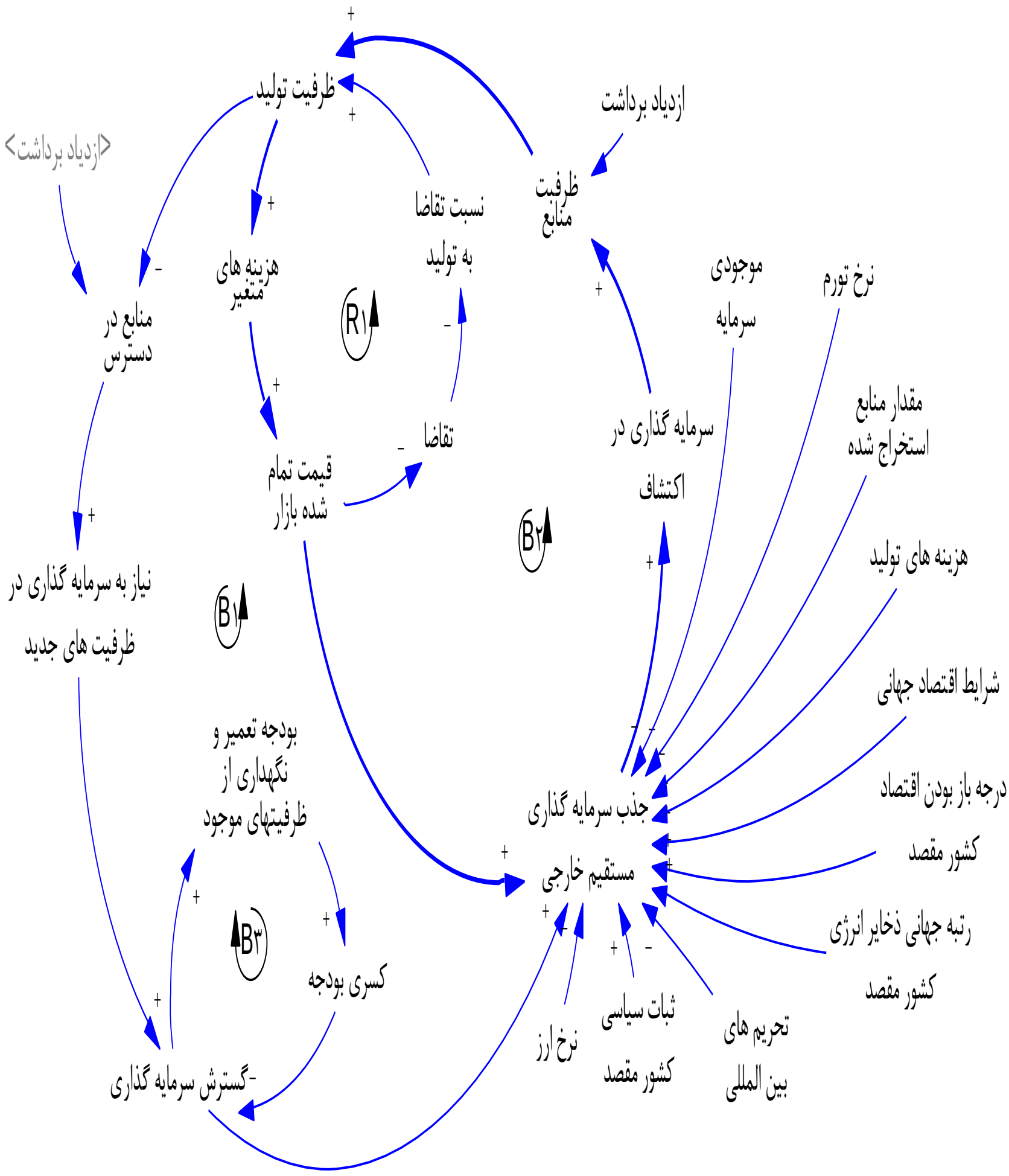
نمودار (۴-۱) روابط علّی موجود در بازار انرژی ایران

در حقیقت اگر قیمت داخلی حامل‌های انرژی تولید شده از فـرآورده‌هـای نفتـی کـه توسـط دولـت و وزارت نفت تعیین می‌شود، افزایش یابد، تقاضای داخلی تعدیل شده و کاهش خواهد یافت. در چنـین شرایطی با تعدیل نسبت تقاضا به تولید، نیاز به تولید روز افزون حامل‌های انرژی اعـم از نفـت، گـاز و برق کاهش خواهد یافت و از این طریق ضرورت گسترش سرمایه‌گذاری‌ها بـرای پاسـخ‌گـویی بـه نیـاز داخل کاهش خواهد یافت (حلقه B4). تأثیر قیمت‌های غیرواقعی حامل‌های انرژی در ایران در بخـش صادرات محصولات نفتی و گازی نیز نمود دارد. به نحوی که طی فرآیند برآورده‌سازی مـازاد تقاضـای داخل، از موجودی قابل صادرات کاسته خواهد شد و در نتیجه درآمدهای نفتی که یک سـرمایه ملّـی برای کشور، یک تجارت ارزآور، مفید و موثر برای ایران محسوب می‌شود، کاهش خواهد یافـت (حلقـه B3). بنابراین قیمت‌های غیرواقعی حامل‌های انرژی، یارانه‌های هنگفت و تقاضای داخلی بالا در حالت کلان اثرات منفی زیادی برای کشور دارد و رفته‌رفته منابع متعارف که هزینه‌های تولید بسیار انـدکی دارند، دچار محدودیت گشته و کشور برای جبران تلفات ناشی از آن و تأمین درآمـدهای نفتـی ناچـار است سراغ منابع نامتعارف نفت و گاز برود که هزینه‌های تولید بسـیار بـالایی دارنـد. آنگـاه کشـور بـا محدودیت عرضه داخلی و فروش در بازارهای جهانی مواجه می‌شود کـه ایـن مطلـب از یـک سـو بـه شکست بحران‌های داخلی، شکست صنایع وابسته به محصولات نفتی، کاهش تولید ناخالص داخلـی و از سوی دیگر متزلزل شدن جایگاه کشور می‌شود. که این مطلب با اهداف تعیین شده اقتصاد مقاومتی در چارچوب بخش انرژی کاملا متناقض بوده و کشور را از نیل به این اهـداف و دسـتیابی بـه جایگـاه مطلوب در این بخش باز می‌دارد.

۴-۲-۲- نمودار علّی – معلولی جذب سرمایه‌گذاری

در رابطه با جذب سرمایه‌گذاری خارجی در انرژی‌های فسیلی نمودار (۴-۲) به صورت جداگانه طراحی شد که در راستای نمودار (۴-۱) می‌باشد. این نمودار متغیرهای اثرگذار و مهم در جذب سرمایه خارجی و داخلی و حلقه‌های موجود میان آنها را به نمایش می‌گذارد. یک حلقه اصلی B1 و سه زیر حلقه B2, B3 و R1 در این نمودار وجود دارد. گاهی تحریم‌های بین‌المللی از سوی کشورها و گروه‌های قدرتمند موجب می‌شود هرگونه داد و ستد و ورود و خروج سرمایه از کشور غیر ممکن شود. در سال‌های اخیر به ویژه دوره ۱۳۹۳-۱۳۸۶ ایران تحت تحریم‌های شدید بوده است و این مسئله بر تقاضای نفت داخل، سرمایه‌گذاری و قیمت خارجی تاثیرات منفی زیادی داشته است.

بر اساس مطالعه سحابی و همکاران (۱۳۹۰) سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی با تورم، نرخ ارز با وقفه و موجودی سرمایه با وقفه رابطه‌ی معکوس و با شاخص حکمرانی خوب و نیروی انسانی رابطه‌ی مستقیم داشته است. با انجام سرمایه‌گذاری در بخش انرژی ظرفیت تولید منابع در دسترس افزایش می‌یابد و می‌توان بر مقدار عرضه افزود. البته با تولید از منابع، مجدداً از مقدار آنها کاسته می‌شود و نیازمند تزریق نفت و گاز و انجام سایر روش‌های ازدیاد برداشت می‌شوند. همچنین نیاز به سرمایه-گذاری در ظرفیت‌های جدید نیز افزایش یافته در نتیجه دو راه برای تأمین این نیاز پیش روی دولت-هاست.



نمودار (۴-۲) روابط علّی جذب سرمایه‌گذاری خارجی در انرژی فسیلی در ایران

راه اول اینکه دولت با توجه به بودجه خود سرمایه‌گذاری را افزایش دهد. در این صورت احتمال کسری بودجه یا کاسته شدن از بودجه تعمیر و نگهداری وجود دارد که در این حالت گسترش دادن سرمایه‌گذاری نیز ممکن است با مشکلاتی روبرو شود (حلقه B3) (مدیرکل راهبردی نظام نگهداری، تعمیرات معاونت امور مهندسی وزارت نفت). راه دیگری که تا حدودی از راه اول کارآمدتر می‌باشد جذب سرمایه‌گذاری‌های خارجی است. هرچند این روش نیز چالش‌ها و مشکلات خاص خود را دارد و عوامل متعددی همچون تحریم‌های بین‌المللی، نرخ بازگشت سرمایه، نرخ ارز، درجه باز بودن اقتصاد، شرایط اقتصاد جهانی و رتبه جهانی ذخایر انرژی کشور مقصد برای سرمایه‌گذاری در آن موثر هستند(حلقه B1) (Naill, 1972) (Kong Chyong Chi, 2009).

اگر ظرفیت تولید از مقدار تقاضا تجاوز کند، قیمت منابع کاهش می‌یابد و در این صورت درآمد و بازدهی سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابند بنابراین سرمایه‌گذاری کم می‌شود. متأسفانه به طور متوسط بیش از 35 سال از عمر ۶ میدان بزرگ نفتی کشور می‌گذرد و فشار عموم آنها به صورت قابل ملاحظه-ای کاهش یافته است. بنابراین ضرورت و اهمیت اجرای هرچه سریع‌تر برنامه‌های ازدیاد برداشت برای افزایش ضریب بازیافت در میادین واقع در نواحی خشکی و مناطق دریایی که از اولویت تزریق برخوردارند، از ضروریات در تدوین سیاست‌های بهینه برای مدیریت مخازن نفتی کشور است. با اضافه شدن یا تقویت منابع از طریق روش‌های ازدیاد برداشت مانند تزریق آب یا گاز به مخازن که برای صیانت از آنها استفاده می‌شود، ظرفیت تولید حامل‌های نفت و گاز در حد بهینه و برای مدت زمان مناسب باقی می‌ماند (درخشان، ۱۳۸۹).

تولید، هزینه‌های ثابت و متغیر مختلفی دارد که هزینه‌های متغیر با اضافه شدن تولید افزایش خواهند یافت که در نتیجه‌ی آن قیمت تمام شده نیز افزایش می‌یابد. طبق قوانین علم اقتصاد با

افزایش قیمت تمام شده از میزان تقاضا کاسته می‌شود. در ایران چون قیمت‌ها دستوری تعیین می‌شوند این قاعده صدق نمی‌کند و به نظر می‌رسد با افزایش تولید، هزینه استخراج افزایش می‌یابد در نتیجه تمایل برای سرمایه‌گذاری و استخراج از مخازنی که قیمت تمام شده آن بیشتر از سایر مخازن است کاهش می‌یابد (حلقه R1). بنابراین قیمت تمام شده نیز باید به نحوی باشد که در مقایسه با قیمت تمام شده سایر کشورهای تولیدکننده و دارای ذخایر انرژی، مزیت نسبی کشور را برای تولید این محصول نشان دهد (افشاری و سلیمانی، ۱۳۸۹). لذا تنها در این حالت و با وجود مزیت نسبی است که راه ورود سرمایه‌گذاری خارجی به کشور باز می‌شود. البته همانطور که در بالا ذکر گردید نمی‌توان از تاثیر عوامل برونزا بر جذب سرمایه‌گذاری چشم‌پوشی کرد. قطعا نمی‌توان ادعا کرد که تمامی سرمایه‌های وارد شده به کشور به سمت اکتشاف، تولید و استخراج سوق داده می‌شوند. بنابراین یکی از مصارف سرمایه‌های وارد شده به کشور سرمایه‌گذاری در اکتشاف و حفاری می‌باشد (حلقه B2). گاهی قراردادهای منعقد شده میان کشورها به صورت همکاری برای انتقال دانش، تکنولوژی و تجهیزات می‌باشد که این نیز خود از اقسام مطلوب سرمایه‌گذاری محسوب می‌شود (درخشان، ۱۳۹۲).

۴-۲-۳- نمودار علّی– معلولی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر

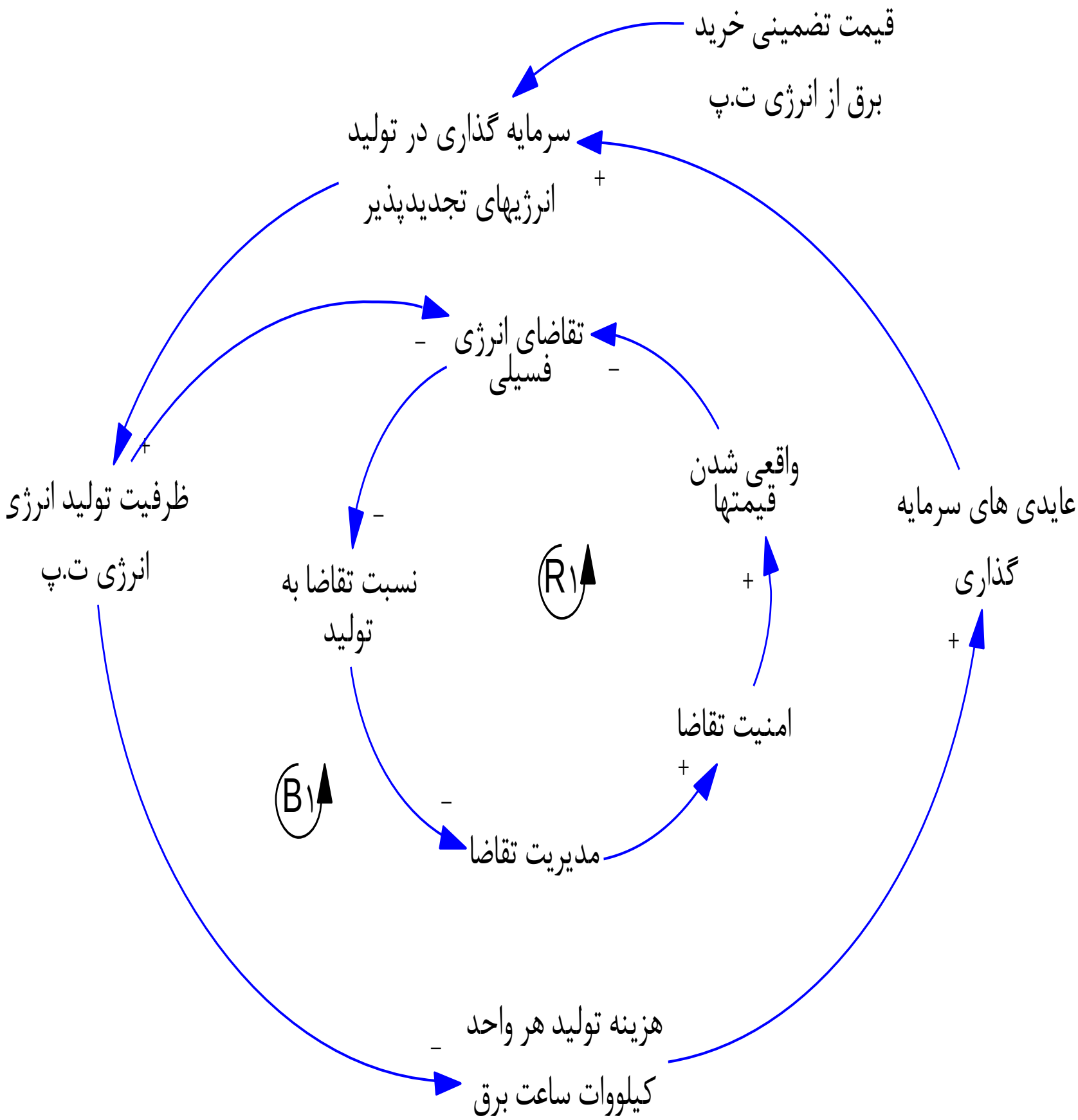
دسترسی مناسب و آسان به انرژی، موتور رشد و توسعه و پیشرفت کشورهاست. تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی دولت‌ها در این زمینه اثرات مستقیم بر زندگی مردم و جامعه دارد. هم اکنون محدودیت و گرانی سوخت‌های فسیلی، بحران زیست‌محیطی و آلودگی ناشی از آنها جستجوی منابع انرژی تجدیدپذیر را به موضوعی پر اهمیت تبدیل نموده است. محدودیت پایداری ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست‌محیطی، افزایش و ازدحام جمعیت، رشد اقتصادی و ضریب مصرف، چالش‌های جهانی به شمار می‌آیند که تلاش در جهت یافتن راهکارهای مناسب در حل تنگناهای انرژی در جهان، به ویژه

بحرانهای زیست‌محیطی را طلب می‌کند (نیهریر[۴۳]، ۲۰۰۶). انرژی‌های تجدیدپذیر فواید متعددی مانند بهبود محیط‌زیست (کاهش انتشار گازهای گلخانهای نیروگاه‌ها، کاهش آلودگی‌های صوتی و گرمایی)، افزایش تنوع سوختی، کاهش اثرگذاری‌های نوسآنهای قیمت انرژی بر اقتصاد، امنیت اقتصاد ملی (انرژی‌های فسیلی در برابر ناپایداری‌های سیاسی، اختلاف‌های تجاری، تحریم‌ها و دیگر اختلال‌ها آسیب‌پذیرند)، افزایش بهره‌وری اقتصادی و GDP با فرآیندهای تولیدی کارآمدتر ایجاد می‌کنند (FPLC, 2013). افزون بر این انرژی‌های تجدیدپذیر برتری‌هایی مانند جلوگیری از جریان یافتن، پول به خارج از کشور، تولید برق در روستا و روستاهای دوردست در کشورهای درحال توسعه و ایجاد مشاغل جدید برای توسعه دارند. سامانه‌های انرژی بادی در مقابل نیروگاه‌های متعارف با همان میزان تولید برق، ۷۰-۲۵ درصد فرصت شغلی بیشتر ایجاد می‌کنند (RCE, 2013). در کنار برتری‌های از پیش گفته، انرژی‌های تجدیدپذیر کاستی‌هایی مانند مشکل چشم‌انداز و سروصدا، استفاده از اراضی زراعی و غیر زراعی (اشغال زمین)، برق‌گرفتگی پرندگان یا برخورد با پروانه (رتور) در حال چرخش (انرژی‌های بادی)، چالش‌های زیست‌محیطی خاص در ارتباط با چگونگی ساخت و محل نصب (انرژی خورشیدی)، آلودگی هوا، خارج کردن بخشی از موادغذایی از فرآیند مصرف دارند (UOCS, 2013).

غنی بودن ایران از منابع سوخت فسیلی همچون نفت و گاز باعث شده که صنعت برق از ابتدای تأسیس به دلیل سهولت دسترسی و هزینهٔ پائین، بیشتر از این منابع جهت تولید الکتریسیته استفاده کند. روند رو به رشد صنایع پتروشیمی در جهان و قابلیت تبدیل فرآورده‌های نفتی به مواد با ارزش افزوده بالاتر باعث شده که در کشورهای پیشرفته استفاده از نفت و گاز به عنوان سوخت به تدریج تقلیل یابد و توجه‌ها به منابع و سوخت‌های جایگزین دیگری غیر از نفت و گاز جلب شود. امروزه اکثر

[43] Nehrir,N

کشورهای جهان به دنبال استفاده از سوخت‌ها و منابع متنوع جهت استفاده در نیروگاه‌های خود هستند. ایران با آن که یکی از کشورهای نفت خیز و دارای منابع عظیم گاز طبیعی است، به دلیل وجود ذخایر غنی زغال‌سنگ، می‌تواند صرفه‌جویی مهمی در مصرف سوخت‌های فسیلی داشته باشد. این امر به نوبه خود باعث طولانی شدن عمر ذخایر نفت و گاز طبیعی شده و این منابع برای آینده ذخیره شده و قابلیت تبدیل به مواد با ارزش افزوده بیشتر را خواهد داشت. ضمن آنکه تعدد منابع انرژی برای تولید برق می‌تواند به ثبات و پایداری تأمین انرژی کمک نموده و عرضهٔ مطمئن توسط بخش انرژی کشور تضمین گردد. میزان مصرف انرژی در تولید الکتریسیته در ایران، 30 درصد یا بیشتر از متوسط کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه می‌باشد. تولید الکتریسیته بر اساس سوخت‌های فسیلی ارزان قیمت، توسعه انرژی‌های جایگزین را کاهش داده است. ایران یکی از بزرگترین ذخایر بالقوه انرژی خورشیدی می‌باشد، اما بهای ارزان نفت و گاز مانع گسترش تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی در این کشور گردیده است. در نمودار (۴-۳) لزوم توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر و سرمایه-گذاری در این بخش به منظور کنترل تقاضای انرژی‌های فسیلی با توجه به محدودیت این منابع و نیاز به یک منبع انرژی جایگزین بیان شده است. امروزه انرژی‌های تجدیدپذیر جایگاه ویژه‌ای در تولید انرژی بدست آورده‌اند و کشور ما نیز با بهره‌مندی از ۳۶۰ روز آفتابی از پتانسیل خوبی برای تولید برق در نیروگاه‌های خورشیدی و بادی برخوردار است (وزارت نیرو، ۱۳۸۹). در نمودار (۴-۳) تعداد ۱۰ متغیر در نظر گرفته شده، روابط علت- معلولی موجود میان متغیرهای در نظر گرفته شده برای انرژی-های تجدیدپذیر را در دو حلقه جداگانه R1 و B1 مورد برآورد و تبیین قرار داده است.



نمودار (۴-۳) انرژی‌های تجدیدپذیر

قیمت تمام شده انرژی فسیلی می‌تواند یکی از عواملی باشد که توجه به انرژی‌های جایگزین یعنی انرژی‌های تجدیدپذیر را برانگیزد. در واقع انرژی‌های پایان‌پذیر به علت محدودیت و کمیابی خاص خودشان نیازمند جایگزین‌های مناسبی هستند که بتواند در مواقع بحرانی برطرف‌کننده نیاز داخلی باشد. از سال ۱۳۲۷ تاکنون لزوم توجه به انرژی‌های بادی و خورشیدی در سندهای توسعه کشور وجود داشته است (اندیشکده مجازی توسعه صنعت نفت، ۱۳۹۲). سرمایه‌گذاری در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر سبب افزایش ظرفیت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر می‌شود. در نتیجه از یک طرف با توجه به اصل صرفه به مقیاس، هزینه تولید هر کیلووات ساعت برق انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش می‌یابد (حلقه B1) و از سمت دیگر تقاضا برای انرژی‌های فسیلی کاهش می‌یابد. شرط تحقق این هدف این است که اولا دولت باید با تعیین قیمت‌های تضمینی مناسب به سرمایه‌گذاران از سرمایه‌گذاری در گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت کند دوم اینکه به دلیل رشد بالای تقاضای انرژی در داخل کشور، قیمت حامل‌های مختلف انرژی را به قیمت‌های واقعی (حداقل به میزان قیمت فوب خلیج فارس) افزایش دهد تا به این ترتیب دولت بتواند مدیریت تقاضا، امنیت جانب تقاضا را تأمین کند (حلقه R1). البته سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه زیرساخت‌های آنها باید به نحوی باشد که اهداف سیاست‌های اقتصاد مقاومتی را در این بخش مرتفع سازد. به عبارت دیگر سرمایه‌گذاری‌ها و توسعه ظرفیت‌های تولیدی باید به صورت بومی انجام شود و نباید از تجهیزات بی-کیفیت و نامرغوب، تقلبی و با طول عمر پایین استفاده نمود. در اولین گام باید با کشورهایی که اجناس و تجهیزات با کیفیت و مرغوب تولید می‌کنند برای همکاری، راه‌اندازی و گسترش خطوط تولید وارد مذاکره شد و رفته‌رفته با انتقال دانش از این شرکت‌ها خطوط تولید و تعمیر و نگهداری را بومی‌سازی نمود (درخشان، ۱۳۹۴).

۴-۲-۴- نمودارعلّی– معلولی امنیت انرژی

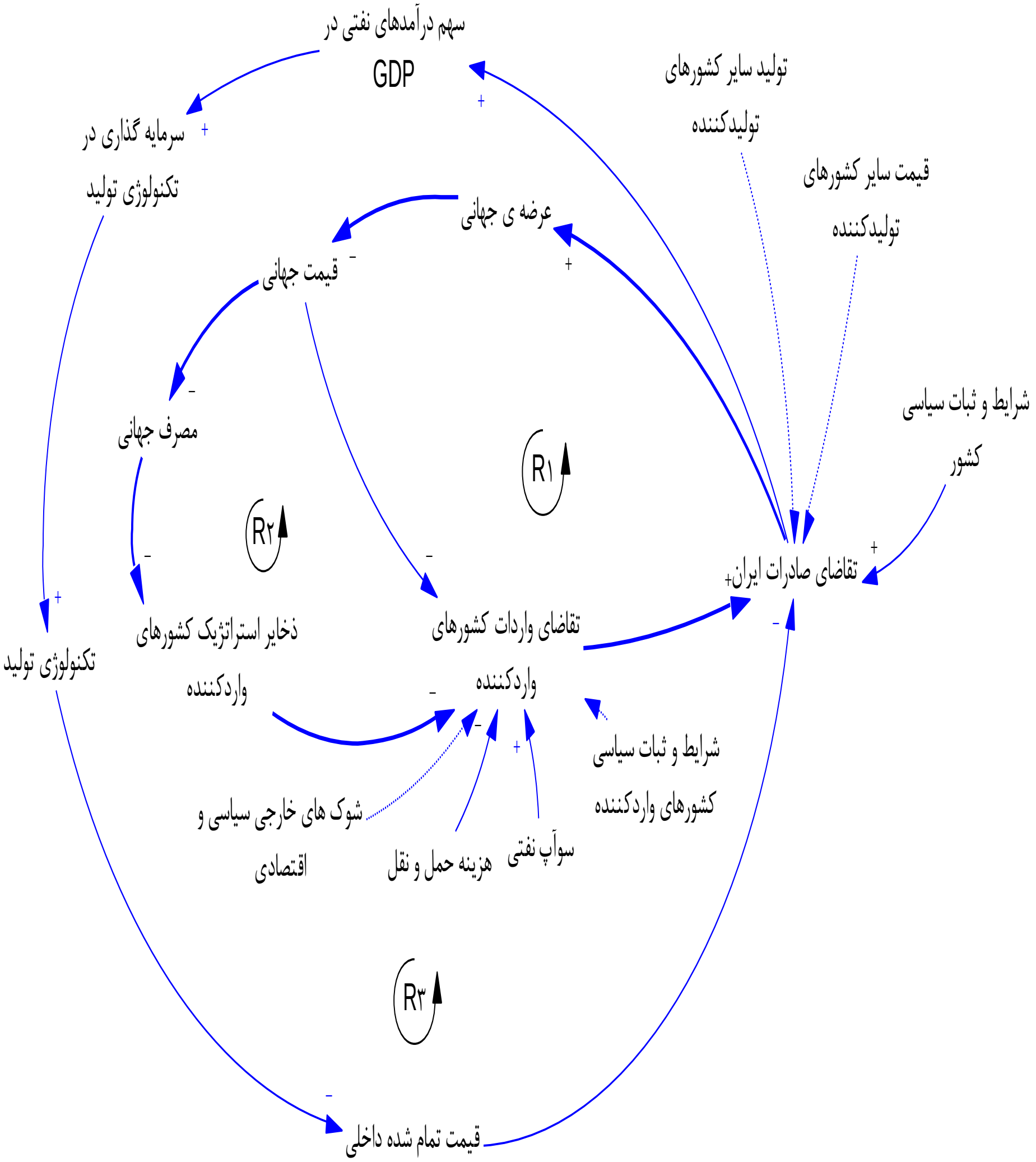
نمودار (۴-۳) به مبحث امنیت انرژی پرداخته و حلقه‌های پنهان در این رابطه را به تصویر کشیده است. تقاضای واردات کشورهای واردکننده حامل‌های انرژی تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون هزینه حمل و نقل، میزان سوآپ نفتی، ذخایر استراتژیک (SPR[۴۴])، آنها قیمت‌های جهانی و شوک‌های اقتصادی قرار دارد (حلقه R2). ذخایر استراتژیک نفت به ذخیره‌هایی اطلاق می‌شود که برای مواقع اضطراری نگهداری و عرضه می‌شوند. هرچه این ذخایر در یک کشور بیشتر باشد تقاضای واردات آنها در مواقع حساس و بحرانی کاهش می‌یابد و این ذخایر می‌توانند تأمین‌کننده نیاز داخل باشند. همواره تقاضای واردات یک کشور بر تقاضای صادرات از کشور دیگر و عرضه جهانی اثر مستقیم خواهد داشت. نمودار (۴-۴) دارای سه حلقه خود تقویتی می‌باشد و با هدف به تصویر کشیدن متغیرهای اثرگذار بر امنیت تقاضای تولیدات نفتی و گازی ایران در بازارهای بین‌المللی در قیمت‌های مناسب تبیین شده است.

گفته شد قیمت‌های جهانی بر تقاضای واردات کشورهای واردکننده تاثیرگذارند. در واقع هرگاه قیمت‌های جهانی به علل مختلف تغییر کنند، کشورهای متقاضی با توجه به ذخایر استراتژیک خود می‌توانند تقاضای وارداتشان را به تعویق یا تعجیل اندازند. برای عرضه‌کنندگان نیز قیمت، متغیر اساسی و پایه‌ای به شمار می‌رود (حلقه R1)، بنابراین این حلقه ارتباط این اهرم با صادرات و واردات را نشان می‌دهد. طبق نمودار (۴-۴) تقاضا برای صادرات محصولات نفتی و گازی ایران به عوامل درونزایی مانند هزینه حمل و نقل، شرایط و ثبات سیاسی کشور، قیمت تمام شده داخلی، تکنولوژی تولید و عوامل برونزایی همچون شوک‌های اقتصادی، تولید سایر کشورهای تولیدکننده، قیمت تمام شده سایر کشورهای تولیدکننده، قیمت‌های جهانی (اوپک)، مصرف جهانی، ذخایر استراتژیک

[44] Strategic Petroleum Reserve

کشورهای واردکننده، شرایط و ثبات سیاسی کشورهای واردکننده، میزان سوآپ نفتی و عرضه جهانی بستگی دارد. عوامل برونزا در اختیار ما نیست و برای تدوین برنامه‌ها، سیاست‌ها و راهبردهای داخلی نمی‌توان اتکای زیادی بر آن داشت و عاقلانه‌تر این است که تمامی کوشش‌ها بر عواملی باشد که تغییر، بهبود یا حذف آن در اختیارات کشور است. خوشبختانه ایران مرز ارتباطی با هفت کشور را در اختیار دارد و از جهت حمل و نقل محصولات صادراتی از طریق خطوط لوله، LNG و کشتی‌های نفت‌کش از شرایط مطلوبی برخوردار است.

ثبات سیاسی در کشور نیز در عین حال که یک متغیر درونزا می‌باشد، خاصیت برونزایی نیز دارد و گاهی به شدت تحت تاثیر شوک‌های خارجی اقتصادی و سیاسی، تحریم‌ها، جنگ‌های برون مرزی، حوادث طبیعی و غیره می‌باشد. اگرچه تمرکز بر قسمت درونزایی آن و تلاش در جهت برقراری پایداری و ثبات در وضعیت عمومی کشور تا حد بسیار زیادی این متغیر را تحت کنترل خود می‌گیرد. در دید جوامع بین‌المللی، کشور باید از استراتژی مشخص و پایدار برخوردار بوده و از تغییرات و درمآنهای موقت و زودگذر که منجر به بی‌ثباتی و تداوم عدم تعادل‌های بلندمدت می‌شود، بپرهیزد.



نمودار (۴-۴) امنیت انرژی در ایران

*خطوط تقطه‌چین به دلیل مشخص نبودن اثر دائمی مرتبط با خود به این صورت رسم شده‌اند.

رتباط قیمت تمام شده با تقاضای صادرات برای محصولات نفتی و گازی داخلی یک ارتباط معکوس می‌باشد که به شدت تحت تاثیر تکنولوژی تولید در پالایشگاه‌ها و میادین نفت و گاز است. البته منابع در دسترس نیز بر آن اثر گذار است. هرچه منابع در حال بهره‌برداری متعارف‌تر بوده و هزینه‌های اکتشاف، استخراج و عرضه کمتری داشته باشند، قیمت‌های داخلی نزدیکی بیشتری با قیمت تمام شده در کشورهای توسعه‌یافته و صنعتی که از فناوری پیشرفته‌تری در تمامی زمینه‌ها برخوردارند، خواهند داشت و از این طریق رقابت‌پذیری ایران در بازارهای بین-المللی افزایش یافته و امنیت تقاضای ایران بیشتر تأمین می‌شود (حلقه R3) (Prambudia And Nakano, 2012).

۴-۳- نتیجه‌گیری

در این فصل چهار نمودار علّی– معلولی در رابطه با اکتشاف، عرضه، تقاضا انرژی‌های فسیلی، امنیت انرژی، سرمایه‌گذاری در انرژی‌های فسیلی و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر طراحی و تبیین گردید. در این فرآیند تعداد ۸۰ متغیر درونزا و برونزا در نظر گرفته شد. طبق نتایج حاصل از روابط بدست آمده در حلقه‌های علّی، با افزایش قیمت انرژی و واقعی شدن آن در ایران به مقدار بسیار بالایی از تقاضای آن کاسته خواهد شد و به عبارتی تعدیل تقاضا رخ می‌دهد. قیمت‌های بالاتر انرژی و متنوع‌سازی انرژی‌های ترکیبی در کشور می‌تواند به کاهش هدر رفت سنتی مخارج سرمایه‌ای دولت، تولید ناخالص داخلی و تورم، تنوع منابع انرژی و بهبود وضعیت رقابت‌پذیری در اقتصاد ایران، تشویق صرفه‌جویی در انرژی توسط خانوارها و مؤسسات منجر و از این رو محیط سودآور و رقابت‌پذیری را برای این بخش فراهم شود. با کاهش تقاضای داخل، تولید فرآورده‌های هیدروکربوری در ظرفیت‌های موجود انجام می‌شود و دیگر نیازی به گسترش ظرفیت‌های تولید نخواهد بود. بودجه دولت و حجم سرمایه‌گذاری-

هایی که برای گسترش این ظرفیت‌ها مصرف می‌شود، صرفه‌جویی خواهد شد. افزایش درآمدهای حاصل از فروش انرژی این امکان را به دولت می‌دهد که منافع حاصل از منابع فسیلی را به صورت عادلآنهای توزیع نمایند؛ به نحوی که خانوارهای کم درآمد، که سهم کمی از این انرژی‌ها را مصرف می‌نمایند، منافع بیشتری را کسب کنند.

دراین پژوهش تقاضا برای صادرات محصولات نفتی و گازی ایران به عوامل درون‌زایی مانند هزینه حمل و نقل، شرایط و ثبات سیاسی کشور، قیمت تمام شده داخلی، تکنولوژی تولید و عوامل برون‌زایی همچون شوک‌های اقتصادی، تولید سایر کشورهای تولیدکننده، قیمت تمام شده سایر کشورهای تولیدکننده، قیمت‌های جهانی (اوپک)، مصرف جهانی، ذخایر استراتژیک کشورهای واردکننده، شرایط و ثبات سیاسی کشورهای واردکننده، نرخ سوآپ نفتی و عرضه جهانی بستگی دارد از طریق تقویت عوامل ذکر شده می‌توان رقابت‌پذیری ایران در بازارهای بین‌المللی را افزایش و امنیت تقاضای ایران را تأمین نمود.

گاهی قراردادهای منعقد شده میان کشورها به صورت همکاری برای انتقال دانش، تکنولوژی و تجهیزات می‌باشد که این نیز خود از اقسام مطلوب سرمایه‌گذاری محسوب می‌شود. جذب سرمایه‌گذاری خارجی منوط به عوامل متعددی همچون موجودی سرمایه، نرخ ارز، نرخ تورم، تحریم‌های بین‌المللی، درجه باز بودن اقتصاد کشور مقصد، شرایط اقتصاد جهانی، ثبات سیاسی کشور مقصد (حکمرانی خوب)، مقدار منابع استخراج شده، هزینه‌های تولید، قیمت تمام شده بازار، رتبه جهانی ذخایر انرژی کشور مقصد می‌باشد. مقدار منابع استخراج شده، هزینه‌های تولید و قیمت تمام شده بازار، خود جزء تابع سودآوری هستند که برای سرمایه‌گذاری از شروط اساسی می‌باشند. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه زیرساخت‌های آنها باید به نحوی باشد که اهداف سیاست‌های اقتصاد مقاومتی را در این بخش مرتفع سازد. به عبارت دیگر سرمایه‌گذاری‌ها و توسعه ظرفیت‌های

تولیدی باید به صورت بومی انجام شود و نباید از تجهیزات بی‌کیفیت و نامرغوب، تقلبی و با طول عمر پایین استفاده نمود. در اولین گام باید با کشورهایی که اجناس و تجهیزات با کیفیت و مرغوب تولید می‌کنند برای همکاری، راه‌اندازی و گسترش خطوط تولید وارد مذاکره شد و رفته‌رفته با انتقال دانش از این شرکت‌ها خطوط تولید و تعمیر و نگهداری را بومی‌سازی نمود. انرژی‌های تجدیدپذیر برتری-هایی مانند جلوگیری از جریان یافتن، پول به خارج از کشور، تولید برق در روستا و روستاهای دوردست در کشورهای درحال توسعه و ایجاد مشاغل جدید برای توسعه دارند. سامانه‌های انرژی بادی در مقابل نیروگاه‌های متعارف با همان میزان تولید برق، ۷۰-۲۵ درصد فرصت شغلی بیشتر ایجاد می‌کنند.

بنابراین تمرکز بر افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، توجه بیشتر به منابع تجدیدپذیر برای تأمین نیاز داخل، تنوع‌بخشی به سبد مصرف انرژی و تأمین نیاز بخش خانگی و تجاری از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود تکنولوژی در مراحل مختلف تولید، صادرات برق تولید شده از سوخت‌های ارزان تجدیدپذیر به منظور افزایش درآمدهای داخلی، تلاش برای ثبات سیاسی در داخل، جذب سرمایه-گذاران خارجی از طریق قراردادهای جذاب، بومی‌سازی نیروگاه‌ها و استفاده از تجهیزات مرغوب باید در دستور کار برنامه‌ریزان داخلی قرار بگیر

فصل پنجم- مدل حالت - جریان

۵-۱- مقدمه

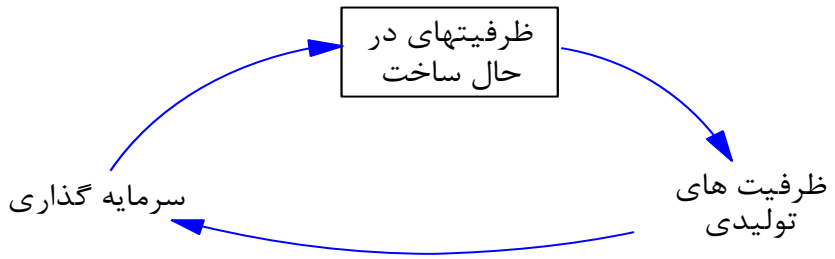
ایران در تولید برق در رتبه اول منطقه و چهاردهم جهان قرار دارد. از کل ظرفیت اسمی نیروگاه‌های کشور ۴۹.۶ درصد به وزارت نیرو، ۴۱ درصد آن به بخش خصوصی، ۷.۹ درصد به صنایع بزرگ، ۱.۵ درصد به سازمان انرژی اتمی ایران و ۰.۰۵ درصد به واحدهای کوچک فتوولتاییک تعلق دارد. در سال ۱۳۹۲، ظرفیت عملی نیروگاه‌های برق کشور به ۶۱.۸ گیگاوات رسید که این رقم نسبت به سال قبل آن ۲.۲ درصد افزایش یافته است. ظرفیت عملی نیروگاه‌های صنایع بزرگ در این سال نسبت به سال قبل ثابت بوده و تغییری نکرده است. منظور از ظرفیت عملی ظرفیت تولیدی است که مراحل ساخت آن تمام شده و در حال بهره‌برداری است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲). در این فصل از پایان‌نامه با استفاده از مدل حالت و جریان سیستمی به شبیه‌سازی یک مدل در رابطه با ظرفیت تولید برق و عوامل موثر بر آن پرداخته شد. سیستم دینامیک یک تکنیک مدلسازی ریاضیاتی به منظور درک، بحث و رفع مشکل است. سیستم دینامیک در بخش عمومی و خصوصی برای تجزیه و تحلیل خط‌مشی و طراحی مدل‌ها استفاده می‌شود (Forrester, 1969). عناصر نمودارهای پویایی سیستمی بازخورد، انتقال جریان به حالت و تأخیرهای زمانی هستند. حلقه‌های علّی نمودار به تجسم ساختار و رفتار یک سیستم و تجزیه و تحلیل کیفی سیستم کمک می‌کنند. برای انجام یک تجزیه و تحلیل کمی دقیق‌تر، نمودارهای علّی به حالت و جریان تبدیل می‌شوند. حالت و جریان به تجزیه و تحلیل‌های کمّی کمک می‌کنند. مراحل مربوط به شبیه‌سازی‌ها عبارتند از:

- تعریف مرز مدل
- شناسایی مهمترین حالت و جریانها که سطوح این حالت‌ها را تغییر می‌دهند.
- شناسایی منابع اطلاعاتی موثر بر جریان
- شناسایی حلقه‌های بازخوردی اصلی

- رسم نمودار حلقه‌های علّی پیونددهنده متغیرهای حالت، جریان و منابع اطلاعاتی
- نگارش معادلات تعیین‌کننده جریان
- برآورد پارامترها و شرایط اولیه
- شبیه‌سازی مدل و تجزیه و تحلیل نتایج (Randers,1980).

با توجه به اینکه عنوان این پایان‌نامه «تبیین روابط علّی- معلولی سیستم جامع انرژی کشور با رویکرد پویایی سیستمی» می‌باشد بنابراین شبیه‌سازی و اجرای مدل در دستور کار نبوده است. در ادامه ابتدا مدل علت- معلول مرتبط با مدل در این فصل ارائه می‌شود سپس به بیان مدل حالت و جریان مرتبط خواهیم پرداخت. در قسمت بعدی روابط ریاضیاتی این مدل ذکر می‌شود. بعد از بیان روابط ریاضی، سناریوسازی‌های مربوطه و در پایان نیز نتیجه‌گیری از این مدل و سناریوها عنوان می‌شود.

۵-۲- مدل علّی- معلولی



نمودار (۵-۱) مدل علّی- معلولی

مدل فوق نشان می‌دهد که با انجام سرمایه‌گذاری در بخش الکتریسیته، ظرفیت‌های در حال ساخت افزایش می‌یابند. در واقع سرمایه‌گذاری‌ها منجر به گسترش و توسعه دادن نیروگاه-های برق می‌شوند و در نتیجه تولید ناشی از این ظرفیت‌ها نیز افزایش می‌یابد. هرچه سهم بازاری یک بخش در اقتصاد بیشتر شود، سرمایه‌گذاری‌های بیشتری را به سمت خود جذب می‌نماید بنابراین چرخه ادامه پیدا می‌کند. البته در این نمودار تنها یک شمای کلی از فرآیند

سرمایه‌گذاری بیان شده است و قطعا این نمودار تمامی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری‌ها را به نمایش نمی‌گذارد.

۵-۳- مدل حالت-جریان

در این فصل یک مدل حالت- جریان در ارتباط با ظرفیت تولید برق شبیه‌سازی و اجرا شده است. ظرفیت تولید شامل ظرفیت‌های در حال ساخت و ظرفیت‌های در حال بهره‌برداری که فرآیند ساخت را پشت سر گذاشته‌اند، می‌شود. ظرفیت تولید در این نمودار متغیر حالت است و عوامل مختلفی که بر آن اثرگذارند، متغیر کمکی و پارامتر محسوب می‌شوند.

- متغیرهای حالت:

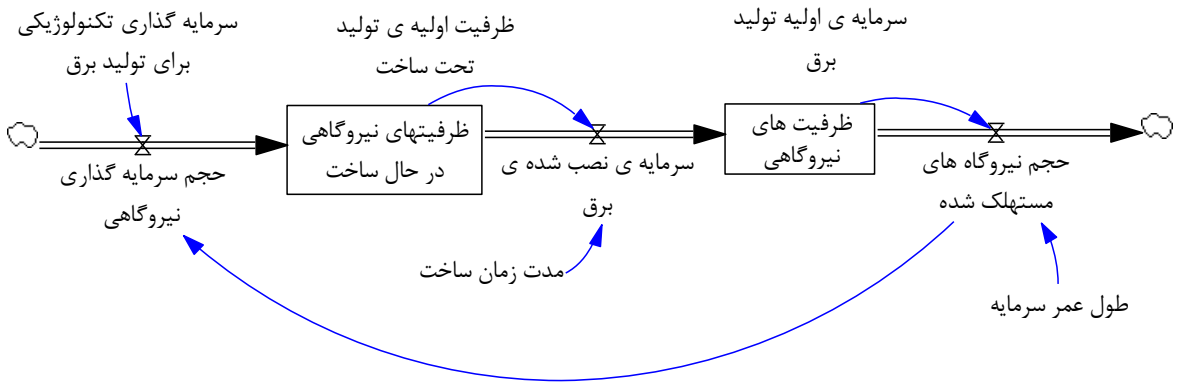
ظرفیت تولید در دست ساخت ، ظرفیت تولید برق

- متغیرهای جریان:

حجم سرمایه‌گذاری نیروگاهی، سرمایه نصب شده، حجم نیروگاه‌های مستهلک شده

- متغیرهای کمکی و پارامتر:

هزینه ساخت نیروگاه، طول عمر سرمایه برق، مدت زمان ساخت، سرمایه‌گذاری تکنولوژیکی برای تولید برق.



نمودار (۵-۲) مدل حالت- جریان ظرفیت تولید برق

۵-۴- روابط ریاضی

با توجه به نمودار ۱ روابط ریاضیاتی زیر در رابطه با مدل ارائه شده است.

$$KE_{cap-orders\,i} = \frac{dlnv_{KEcapi}}{dt} / KE_{costi} \quad (۱-۵)$$

$Ke_{cap-Orders}$: ظرفیت‌های نیروگاهی در حال ساخت (GW/Y)

$Dlnv_{ke\ Cap}/Dt$: مقدار سرمایه‌گذاری در تکنولوژی دریافتی I (10^9\$/Y)

Ke_{costi}: هزینه ساخت نیروگاه (\$/KW)

$$KE_{cap-constri}(t) = \int (KE_{cap-ordersi} - KE_{cap-installi})dt \quad (۲-۵)$$

$Ke_{cap-Constri}$: حجم تولیدات برق تحت ساخت (GW)

$Ke_{cap-Install}$: ظرفیت نصب شده تولید برق در دوره جاری (GW/Y)

$$KE_{capi}(t) = \int (KE_{cap-installi} - KE_{cap-retirei})dt \quad (۳-۵)$$

Ke_{capi}: حداکثر حجم نیروگاهی تولید برق برای تکنولوژی I(GW)

$Ke_{cap-Retirei}$: حجم نیروگاه‌های مستهلک شده تولید برق در دوره جاری (GW/Y)

$$KE_{cap-retirei} = KE_{capi}/\mathcal{T}_{ki} \quad (۴-۵)$$

$\mathcal{T}_{ki}$: طول عمر برای ظرفیت تولید برق تکنولوژیI

$$KE_{cap-installi} = KE_{cap-constri}/\mathcal{T}_{kci} \quad (۴-۵)$$

$\boldsymbol{\mathcal{T}}_{\text{kci}}$: زمان پابرجایی ظرفیت

مقدار اولیه ظرفیت‌های نیروگاهی در حال ساخت در این مدل برابر با ۶۰۰۰ میلیارد دلار در نظر گرفته شده است همچنین حداکثر حجم نیروگاهی که برای تولید برق برای تکنولوژی I در نظر گرفته شده است ۱۰۰۰۰ میلیارد دلار می‌باشد.

۵-۵- سناریوسازی

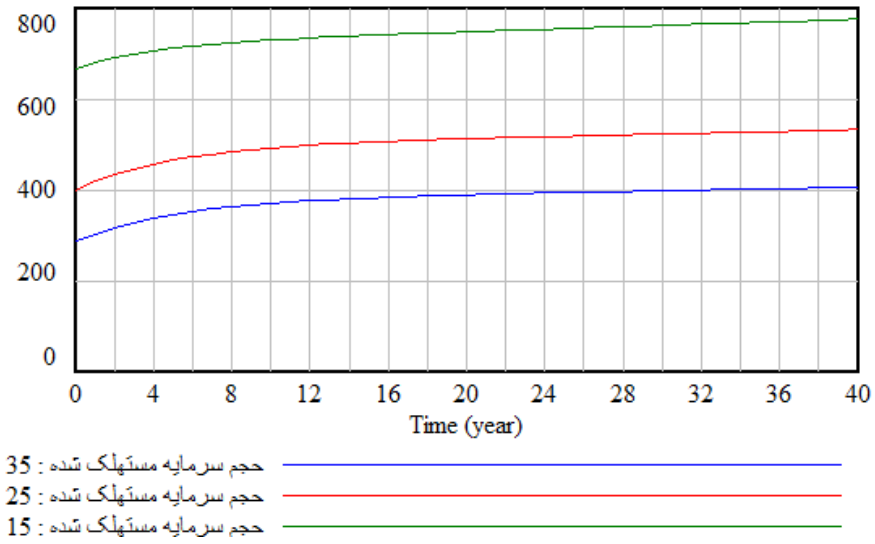
در نمودار حالت- جریان فوق سه متغیر طول عمر، سرمایه‌گذاری تکنولوژیکی و مدت زمان ساخت نیروگاه به عنوان پارامتر در نظر گرفته شدند و مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند. برای هر یک سه سناریوی مختلف در نظر گرفته شد.

۵-۵-۱- طول عمر ظرفیت‌های تولید برق

طول عمر یک سرمایه به عوامل مختلفی مانند کیفیت و موغوبیت مواد اولیه قطعات و تجهیزات استفاده شده، برنامه منظم تعمیر و نگهداری، شدت استفاده، شرایط آب و هوایی و تکنولوژی به کار رفته در تولید بستگی دارد. پس از ایجاد ظرفیت‌ها، با توجه به موارد گفته شده یک بازه حداقل و حداکثری برای طول عمر آن سرمایه یا مجموعه سرمایه‌ها در نظر گرفته می‌شود. رعایت هر چه بیشتر فاکتورهای بالا موجب ارتقاء و افزایش طول عمر سرمایه مورد نظر خواهد شد. بنابراین ضروری است که مواد اولیه قطعات و تجهزات از مواد درجه یک با تکنولوژی روز دنیا تولید شوند. صرفه‌جویی در خرید تجهیزات به روز و مرغوب در بلندمدت خسارت‌های چندین برابری برای واحد مورد نظر ایجاد

می‌کند که ممکن است در پی آن اختلال‌های زیادی به وجود بیاید. سرکشی، تعمیر، نگهداری و سرویس نمودن منظم و اصولی تجهیزات یکی از مهمترین عوامل اثرگذار بر عمر آنهاست. استفاده مداوم و بی‌وقفه از یک واحد تولیدی ممکن است از عمر مفید آن بکاهد. بنابراین با تنظیم یک برنامه مدون می‌توان تمهیداتی در راستای بازیابی و افزایش بازدهی تجهیزات اندیشید. یکی از مواردی که در حین ساخت یا خرید تجهیزات، قطعات، دستگاه‌ها و ساخت ساختمآنها باید مورد توجه جدی قرار بگیرد، شرایط آب و هوایی و جوّی در منطقه‌ای است که تجهیزات مورد نظر در آنجا نصب و راه‌اندازی می‌شوند. به عنوان مثال در مناطق مرطوب باید از موادی که در مقابل رطوبت و ساییدگی مقاوم‌تر هستند، استفاده شود تا نرخ فرسایش تجهیزات و ساختمآنها به تعویق افتد.

با توجه به مطالب عنوان شده برای متغیر طول عمر سرمایه تولید برق سه سناریو در نظر گرفته شده که شامل ۱۵، ۲۵ و ۳۵ سال می‌شود. در نمودار (۵-۳) طول عمر سرمایه بر حجم نیروگاه‌های مستهلک شده موثر است. رابطه‌ای که میان این دو متغیر انتظار می‌رود باید با افزایش طول عمر ظرفیت‌های تولیدی از حجم ذخایر مستهلک شده کاسته شود. طبق نمودار ۲ که از اجرای سه سناریوی فوق بر حجم نیروگاه‌های مستهلک شده بدست آمده است، روند شبیه‌سازی با روند انتظاری هم‌سو است. در سناریوی اول که طول عمر سرمایه ۱۵ سال در نظر گرفته شده، حجم سرمایه مستهلک شده در پایان دوره معادل با ۷۳۹.۶۲۹ میلیون دلار، در سناریو دوم در پایان دوره ۵۱۷.۷۰۲ میلیارد دلار و در سناریو سوم در پایان دوره ۴۰۱.۶۶ میلیارد دلار سرمایه مستهلک خواهد شد.



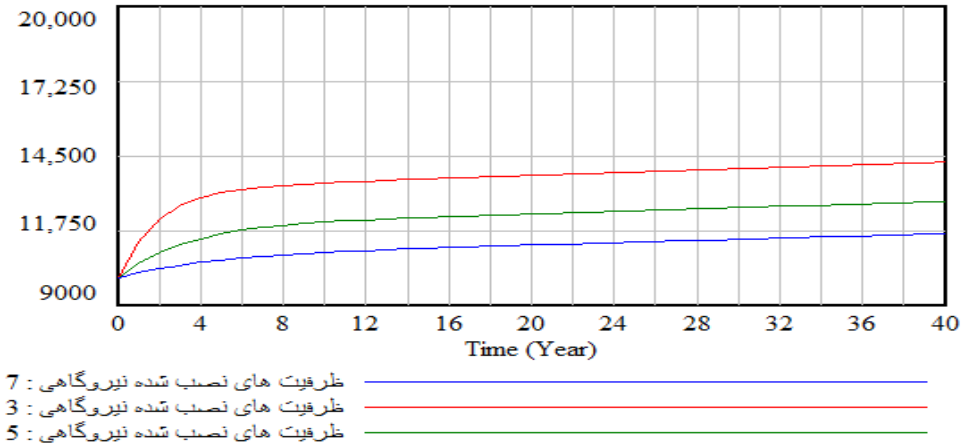
نمودار (۵-۳) تاثیر طول عمر سرمایه تولید برق بر حجم سرمایه مستهلک شده

بدیهی است که وزارت نیرو و شرکت‌های تولیدکننده برق باید در راستای بهبود طول عمر تجهیزات تلاش کنند.

۵-۵-۲- مدت زمان ساخت نیروگاه

در سیستم‌های پویا، تأخیرهای متفاوتی از جمله تأخیر اطلاعاتی، تأخیر ساخت و ساز، تأخیر فنی، تأخیر در اجرا، تأخیر در نظارت و ... برای انجام یک پروژه وجود دارد که با تأخیر به معنی لغوی آن متفاوت است(استرمن، ۲۰۰۰). در اینجا تأخیرهای ساخت و ساز با عنوان مدت زمان لازم برای ساخت نیروگاه در نظر گرفته شده و تاثیر این متغیر بر سرمایه نصب شده نیروگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. انتظار بر این است که هرچه مدت زمان لازم برای ساخت و ساز ظرفیت جدید کاهش یابد، یعنی بتوان با تمهیداتی از وقفه‌های زمانی جلوگیری نمود حجم سرمایه نصب شده نیز افزایش یابد. در حقیقت سرمایه زودتر به عرصه اجرا خواهد رسید. نمودار (۵-۵) این مطلب را به روشنی بیان می-دارد. در این نمودار سه سناریو برای مدت زمان لازم برای ساخت نیروگاه در نظر گرفته شده است که اولی این زمان را ۳ سال، دومی ۵ سال و سومین سناریو ۷ سال در نظر می‌گیرد. طبق نمودار در سناریوی اول حجم عظیمی از ظرفیت در سال اول ایجاد می‌شود که با دو سناریوی دیگر شکاف بسیار

زیادی دارد. رفته رفته از حجم ظرفیت‌های در حال ساخت کاسته می‌شود و بعد از سپری شدن چند سال این ظرفیت‌ها تکمیل می‌شوند.



نمودار (۵-۴) تاثیر مدت زمان ساخت نیروگاه بر ظرفیت‌های نصب شده نیروگاهی

بر اساس مقادیر شبیه‌سازی شده در زمان اتمام سناریو اول ۱۲۱۴۳، در پایان سناریو دوم ۱۱۶۲۱ و در پایان سناریو سوم میزان ۱۰۷۹۸ گیگاوات در سال ظرفیت نیروگاهی جدید به ظرفیت‌های قبلی افزوده خواهد شد. که مقدار آن در سناریو اول از سایر سناریوها بیشتر می‌باشد. بنابراین هرچه مدت زمان ساخت یک نیروگاه کوتاه‌تر باشد، حجم ظرفیت‌هایی که در پایان این دوره بدست خواهد آمد، بیشتر بوده و زودتر می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار بگیرد.

۵-۵-۳- سرمایه‌گذاری تکنولوژیکی در تولید برق

سرمایه‌گذاری در راستای تکنولوژی تولید برق بر ظرفیت‌های نیروگاهی در حال ساخت اثرگذار است. در ابتدای امر که سرمایه‌گذاری انجام می‌شود، بر حجم ظرفیت‌های در حال ساخت افزوده می‌شود و رفته رفته در طی سال‌های بعد که ظرفیت‌ها تکمیل می‌شوند و به مرحله ظرفیت‌های در حال بهره-برداری می‌رسند، از حجم اینها کاسته خواهد شد. بنابراین نمودار مورد نظر باید در ابتدا نمایی و سپس هدف‌جو باشد. طبق نمودار ۳ سناریوهای در نظر گرفته شده برای این متغیر شامل سرمایه-

گذاری ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۵۰۰۰ واحدپولی (میلیارد دلاری) است. در این حالت نمودار (۵-۳) گویای مطالب عنوان شده خواهد بود.

نمودار (۵-۵) تاثیر سرمایه گذاری در تکنولوژی تولید برق بر ظرفیتهای نیروگاهی در حال ساخت

طبق نمودار ابتدا ظرفیت‌ها کاهش یافته‌اند که مقدار کاهش در سناریو سوم که شامل ۱۵۰۰۰ واحد سرمایه‌گذاری بوده است نسبت به دو سناریوی دیگر کمتر می‌باشد. در هر سه سناریو تقریباً از سال هفتم به بعد روند صعودی آغاز می‌شود. طبق مقادیر پیش‌بینی شده در شبیه‌سازی ظرفیت‌های نیروگاهی در حال ساخت در سال دهم بعد از انجام سرمایه‌گذاری به میزان در سناریو اول ۵۴۸۳، در سناریو دوم ۵۷۹۰ و در سناریو سوم ۶۰۹۶.۴ گیگاوات ساعت تشکیل می‌شود. جذب هرچه بیشتر سرمایه‌گذاری‌ها و جذاب‌سازی قراردادها برای سرمایه‌گذاران موجب خواهد شد ظرفیت‌های نیروگاهی افزایش یابند و از این طریق علاوه بر مرتفع نمودن نیاز داخل، با توجه به گستردگی افق زمانی ایران و اختلاف ساعت با کشورهای همسایه می‌توان به صادرات بیشتر این حامل انرژی تکیه نمود.

۵-۶- نتیجه‌گیری

مدل شبیه‌سازی شده در این فصل در رابطه با ظرفیت‌های تولید برق و سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌های جدید می‌باشد. سه پارامتر در رابطه با طول عمر سرمایه، سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌های نیروگاهی در

حال ساخت و مدت زمان ساخت ظرفیت‌های جدید برای سناریوسازی و اجرای مدل در نظر گرفته شدند. برای هر پارامتر نیز سه سناریو مختلف در نظر گرفته شده است. در هر یک از سناریوها نتایج حاصل از شبیه‌سازی مطابق با انتظارات بوده است. سناریوهای مرتبط با طول عمر سرمایه ارتباط معکوس این متغیر را با ظرفیت مستهلک شده به خوبی نشان دادند و نمودار (۵-۳) این رابطه را به روشنی نشان می‌دهد. طبق نمودار (۵-۴) سرمایه‌گذاری تکنولوژیکی تولید برق بر ظرفیت‌های نیروکاهی در حال ساخت نیز تاثیری مطابق با انتظارات داشته است. همچنین طول مدت ساخت‌وساز نیز با سرمایه نصب شده ارتباط معکوس دارد که در نمودار (۵-۵) آورده شده است. طول عمر یک سرمایه به عوامل مختلفی مانند کیفیت و موغوبیت مواد اولیه قطعات و تجهیزات استفاده شده، برنامه منظم تعمیر و نگهداری، شدت استفاده، شرایط آب و هوایی و تکنولوژی به کار رفته در تولید بستگی دارد. بنابراین اگر خواستار نرخ استهلاک پایین‌تر برای تجهیزات و ساختمآنها هستیم باید به موارد گفته شده بیش از گذشته توجه نشان داد. طبق نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی برای پارامتر مدت زمان ساخت نیروگاه، هرچه مقدار این پارامتر کوتاه‌تر باشد، حجم ظرفیت‌هایی که در پایان این دوره بدست خواهد آمد، بیشتر بوده و زودتر می‌تواند مورد بهره‌برداری قرار بگیرد. جذب هرچه بیشتر سرمایه‌گذاری‌ها و جذاب‌سازی قراردادها برای سرمایه‌گذاران نیز موجب افزایش ظرفیت‌های نیروگاهی خواهد شد و از این طریق علاوه بر مرتفع نمودن نیاز داخل، با توجه به گستردگی افق زمانی ایران و اختلاف ساعت با کشورهای همسایه می‌توان به صادرات بیشتر این حامل انرژی تکیه نمود. از این طریق سرمایه مورد نیاز برای سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در آینده مهیا شده و رفته‌رفته سبد صادرات ایران از خام‌فروشی نفت‌خام و گازطبیعی به سمت محصولاتی با ارزش افزوده بالاتر سوق داده خواهد شد و از این طریق درآمدهای دولت و تولید ناخلص داخلی نیز رشد خواهند کرد. البته باید در نظر داشت که توسعه نیروگاه‌های بادی، خورشیدی و برقآبی در کشور امری ضروری است و با توجه به شرایط جغرافیایی ایران از نظر تعداد روزهای آفتابی در سال دستیابی به این جایگاه امری ممکن و

قابل دسترس خواهد بود. البته استفاده از انرژی جذر و مد و زمین‌گرمایی نیز در راستای نیل به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر گزینه‌هایی هستند که باید در دستور کار برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران انرژی قرار بگیرد.

فصل ششم– جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۶-۱- مقدمه

این پژوهش روابط علّی– معلولی سیستم جامع انرژی ایران تبیین نموده است. در پویایی شناسی سیستم‌ها، از ابزارهای نموداری مختلفی برای درک ساختار سیستم مثل نمودارهای علّی- حلقوی و نقشه‌های حالت و جریان استفاده می‌شود. نمودارهای علّی- حلقوی ابزاری مهم برای نشان دادن ساختار بازخوردی سیستم‌هاست. یک نمودار علّی از تعدادی متغیر تشکیل شده‌اند که توسط پیکآنهایی تاثیر بین این متغیرها نشان داده می‌شود و به یکدیگر متصل می‌شوند. منظور از سیستم جامع انرژی، بررسی اکتشاف، استخراج، تولید، صادرات، سرمایه‌گذاری، مصرف و قیمت در انرژی‌های تجدیدناپذیر نفت و گاز و انرژی‌های تجدیدپذیر شامل اکتریسیته، خورشیدی، برقآبی و بادی می‌باشد. بنابراین به علّت در نظر گرفتن اکثر انرژی‌های نقش‌آفرین در این پژوهش از عنوان سیستم جامع انرژی برای بیان جامعه آماری تحقیق استفاده شده است. روش جمع‌آوری آمار و اطلاعات مربوط به متغیرهای شاخص‌های اقتصاد انرژی از نوع تحقیقات کتابخآنهای می‌باشد. در انجام این مطالعه و به منظور بیان مسئله از اطلاعات ترازنامه انرژی ایران در سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۸۴، داده‌های پایگاه اطلاعات سری زمانی بانک مرکزی ج.ا ایران از سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۷۰ استفاده شده است.

۶-۲- جمع‌بندی مطالعه

مبنای پژوهشی این مطالعه بدست آوردن روابط علّت– معلولی در سیستم انرژی ایران است. صنعت نفت و گاز جزء صنایع بنیادی و حیاتی برای سایر صنایع می‌باشد و لزوم توجه به عوامل اثرگذار در آن و بدست آوردن روابط میان متغیرها در یک نگاه بسیار مهم می‌باشد و استفاده از روش پویایی سیستمی برای سیستم جامع انرژی ایران این امکان را فراهم می‌کند. بنابراین استفاده از این رویکرد برای بیان روابط موجود میان حجم عظیم متغیرهای انرژی‌های ایران و گردآوری موضوعات مختلف در کنار یکدیگر نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود. هدف اصلی این مطالعه بدست آوردن دیدگاه

جامعی از عوامل اثرگذار در بخش انرژی کشور است که اهداف فرعی در حیطه رابطه قیمت و تقاضای بخش انرژی، بررسی رابطه‌ی مصرف انرژی و کمیابی منابع سوخت‌های فسیلی، بررسی پایان‌پذیری منابع فسیلی و سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و امنیت انرژی هستند. با بررسی مطالعات پیشین اعم از مقاله و پایان‌نامه تاکنون مطالعه‌ای که روابط علّی میان حجم عظیم متغیرهای اثرگذار در صنعت نفت و گاز و انرژی‌های تجدیدپذیر ایران را به صورت همزمان مورد بررسی قرار داده باشد، مشاهده نشده است. در مجموع روابط علّت – معلول و حالت – جریان این مطالعه تعداد ۸۸ متغیر در نرم‌افزار ونسیم مورد طراحی، مدلسازی، شبیه‌سازی و تبیین قرار گرفتند.

مبنای پژوهشی این مطالعه مطالعات Naill مدل COAL2 و FOSSIL2 است که با استفاده از روابط علّی و نرم‌افزار ونسیم بخش انرژی آمریکا را مورد بررسی قرار داد. مدل COAL2 از (R.F Naill) یک مدل سیستمی انرژی آمریکا است که یک بخش تقاضا و سه بخش عرضه برق، زغال سنگ، نفت و گاز را در بر می‌گیرد. برخلاف سایر مدلسازی‌های انرژی، مدل سیستم دینامیکی بر پایه الگوی تعادل عمومی اقتصاد قرار ندارد. تحقیقات وسیعی از این دست مدل‌ها در گزارش‌های مؤسسه تحقیقاتی استنفور وجود دارد. COAL2 به منظور شبیه‌سازی رفتار سیستم انرژی آمریکا برای سی سال آینده تحت فروض مختلف سیاست‌های تقاضا و عرضه مانند تسریع تولید زغال‌سنگ و انرژی هسته‌ای شبیه‌سازی شده‌اند. در مدل FOSSIL2 حلقه تقاضا یک حلقه منفی یا هدف‌جو می‌باشد که این نسخه برای ایجاد تعادل بین نرخ اکتشاف و میزان مصرف کابرد دارد. نرخ تولید ذخایر (RPR)[۴۵] مقیاسی برای سطوح نسبی عرضه و تقاضا تولیدکنندگان است که برای تثبیت این نسبت از قیمت‌های قراردادی جدید (NCP)[۴۶] استفاده می‌کنند.

45 Reserve Production Ratio
46 New Contract Price

حلقه یک، حلقه بازخوردی منفی است که ارتباط سطح ذخایر اثبات نشده، هزینه استخراج و نرخ اکتشاف را نشان می‌دهد. با تخلیه ذخایر اثبات نشده، هزینه‌های استخراج به علت کمیاب شدن گاز در هر فوت و اینکه تولیدکنندگان در مناطق کمتری قادر به یافتن این ذخایر هستند، افزایش می‌یابد. این موارد نرخ اکتشاف را کاهش می‌دهند و تخلیه ذخایر اثبات نشده را آهسته می‌کنند. افزایش در هزینه استخراج همچنین هزینه کل واحد تولید را افزایش می‌دهد که بازدهی سرمایه‌گذاری در اکتشاف را می‌کاهد.

مدلسازی اقتصاد انرژی به روش‌های گوناگونی صورت گرفته است امّا استفاده از رویکرد پویایی سیستمی نگاهی نو، پویا، جامع و کامل در این زمینه بدست می‌دهد.

مطالعات اندکی در رابطه با رویکرد پویایی سیستمی در بخش انرژی در ایران انجام گرفته است که برای مثال می‌توان به اورعی (۱۳۹۳) اثرات تغییر قیمت برق کشاورزی ناشی از اجرای قانون هدفمندسازی یارانه‌ها بر شاخص اقتصادی نسبت سود به هزینه کشت پسته در رفسنجان را بررسی کرد، سلطانیان تلک‌آبادی (۱۳۹۴) که سیاست قیمت‌گذاری خوراک محصولات پتروشیمی را تحلیل کرده، در مطالعات خارجی نیز به Saroj Koul Et Al (2016) که به مدلسازی نااطمینانی و منابع هیدروکربنی پرداخته است، اشاره کرد. در مطالعات داخلی هیچ موردی در زمینه تبیین روابط علّی – معلولی انرژی آن هم به صورت جامع صورت نگرفته است. امّا مطالعاتی در خصوص قیمت‌گذاری سوخت نیروگاه‌ها انجام گرفته که از میان آنها می‌توان به مولایی و رضایی (۱۳۹۵) که تاثیرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر میزان ظرفیت‌سازی نیروگاه‌های بادی در مقایسه با سایر نیروگاه‌ها را بررسی کردند و منظور و رضایی (۱۳۹۲) که اثرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانهای را بررسی کردند، اشاره نمود.

۶-۳- نتیجه‌گیری

با توجه به مدل‌های علّی– معلولی و حالت– جریان استخراج شده در این مطالعه موارد زیر قابل توجه می‌باشند:

در دوره مورد بررسی مصرف سرانه و شدت مصرف انرژی بسیار بالا، بهره‌وری و قیمت‌های واقعی حامل‌های انرژی نیز بسیار نازل بوده‌اند که این مطلب موجب هدر رفت انواع انرژی در بخش‌های مختلف شده است و با توجه به رو به اتمام بودن ذخایر متعارف نفت و گاز و گذر آنها از از نیمه عمر خود، هم اکنون نیاز اصلی در برنامه‌ریزی‌های آینده انرژی، استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت و تولید صیانتی از ذخایر است. روش‌های ازدیاد برداشت هزینه‌های هنگفتی به همراه دارند ول طول عمر ذخایر هیدروکربوری را به طور چشمگیری افزایش می‌دهند.

قیمت‌های بالاتر حامل‌های انرژی و متنوع‌سازی انرژی‌های ترکیبی در کشور می‌تواند به کاهش هدر رفت سنتی مخارج سرمایه‌ای دولت، تولید ناخالص داخلی و تورم، تنوع منابع انرژی و بهبود وضعیت رقابت‌پذیری در اقتصاد ایران، تشویق صرفه‌جویی در انرژی توسط خانوارها و مؤسسات منجر و از این رو محیط سودآور و رقابت‌پذیری را برای این بخش فراهم شود. با کاهش تقاضای داخل، تولید فرآورده‌های هیدروکربوری در ظرفیت‌های موجود انجام می‌شود و دیگر نیازی به گسترش ظرفیت‌های تولید نخواهد بود. بودجه دولت و حجم سرمایه‌گذاری‌هایی که برای گسترش این ظرفیت‌ها مصرف می‌شود، صرفه‌جویی خواهد شد. افزایش درآمدهای حاصل از فروش انرژی این امکان را به دولت می‌دهد که منافع حاصل از منابع فسیلی را به صورت عادلآنهای توزیع نمایند؛ به نحوی که خانوارهای کم درآمد، که سهم کمی از این انرژی‌ها را مصرف می‌نمایند، منافع بیشتری را کسب کنند.

به منظور دستیابی به امنیت انرژی در رابطه با تقاضای جهانی انرژی برای ایران، بیش از عوامل برون‌زا باید به عوامل درون‌زای آن مانند هزینه حمل و نقل، ثبات سیاسی کشور، تکنولوژی تولید و قیمت تمام شده داخلی توجه نمود و در راستای دستیابی هرچه بیشتر آنها گام برداشت.

۶-۴- توصیه‌های سیاستی

برای جذب هرچه بیشتر سرمایه‌گذاری‌های خارجی در بخش انرژی‌های فسیلی لزوم تمرکز بر عوامل تقویت‌کننده آن مانند ثبات سیاسی کشور، کاهش تورم، کاهش دوره بازدهی سرمایه‌گذاری، قراردادهای جذّاب و درجه بازبودن اقتصاد کشور باید سر فصل برنامه‌ریزی‌های آینده اقتصاد مقاومتی قرار بگیرند.

سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه زیرساخت‌های آنها باید به نحوی باشد که اهداف سیاست‌های اقتصاد مقاومتی را در این بخش مرتفع سازد. به عبارت دیگر سرمایه‌گذاری‌ها و توسعه ظرفیت‌های تولیدی باید به صورت بومی انجام شود و نباید از تجهیزات بی‌کیفیت و نامرغوب، تقلبی و با طول عمر پایین استفاده نمود. در اولین گام باید با کشورهایی که اجناس و تجهیزات با کیفیت و مرغوب تولید می‌کنند برای همکاری، راه‌اندازی و گسترش خطوط تولید وارد مذاکره شد و رفته‌رفته با انتقال دانش از این شرکت‌ها خطوط تولید و تعمیر و نگهداری را بومی‌سازی نمود.

۶-۵- مشکلات و محدودیت‌های تحقیق

دسترسی به داده‌ها و آمارهای دقیق و به روز از مهمترین محدودیت‌های تحقیق به شمار می‌رود. گستردگی اقسام انرژی در کشور ایران نیز یکپارچه‌سازی تبیین روابط میان تمامی متغیرهای ممکن به منظور ارائه یک برنامه‌ریزی جامع و کامل را دشوار می‌سازد.

استخراج روابط ریاضیاتی مطابق با اقتصاد بومی ایران، شرایط داخلی و سیاستی به دلیل مغایرت با مراجع معتبر علمی دنیا، یکی از محدودیت‌های

تحقیق به شمار می‌رفت و برای رفع این مشکل باید روابط ریاضی جدید مورد طراحی و مدلسازی قرار می‌گرفت که با توجه به دوره کوتاه‌مدت کارشناسی ارشد تحقق این مهم میسر نبوده است.

پیوست‌ها

در این قسمت به ارائه توضیحات تکمیلی در رابطه با فصل ۳ بخش ۵ خواهیم پرداخت.

۳-۵- ابزارهای تفکر سیستمی

۳-۵-۳- تأخیر

تأخیر منبع مهمی در پویایی شناسی سیستم‌هاست. برخی تأخیرها با ایجاد ناپایداری و نوسان حامل خطرند. برخی دیگر نیز با جداسازی تغییرات ناخواسته و قادر ساختن مدیران به جداسازی پیام‌های مفید از اختلالات، چراغ روشن‌تری را در اختیار افراد قرار می‌دهند. تأخیر فرآیندی است که خروجی آن از ورودی آن عقب‌تر است. تأخیرها در بسیاری موارد همچون گزارش‌دهی اطلاعات، تصمیم‌گیری و اثرگذاری تصمیمات بر سیستم وجود دارند؛ بنابراین تأخیرات جزء جدایی‌ناپذیر سیستم‌ها است. حداقل وجود یک متغیر حالت برای هر تأخیر نیاز است. نکته مهم این است که بسیاری از زوایای پنهان سیستم‌ها نادیده گرفته می‌شود و از دید تحلیل‌گران پنهان می‌ماند. به دلیل تأثیر تأخیرات است که به روند روبه رشد یا انحطاط سیستم‌ها توجهی نمی‌شود وتصمیم‌گیران را به تصمیمات عجولانه و نادرست وا می‌دارد. لذا شناخت، درک صحیح و نحوه مدل‌سازی انواع مختلف تأخیرات و محاسبه مدت زمان آن، در تحلیل صحیح سیستم‌ها و تصمیمات مناسب نقش حیاتی دارد. در تعیین تأخیرها نه تنها طول میانگین زمان تأخیر را باید در نظر گرفت بلکه باید توزیع زمان‌های تحویل حول میانگین تأخیر را نیز لحاظ کرد.

۳-۵-۴- تعدیلات نامتقارن

متغیرهایی وجود دارند که رفتارشان در تمامی موارد متقارن نیست. مثلاً افراد در هنگام افزایش حقوق بهتر می‌توانند میزان مصرف یا پس‌انداز خود را تطبیق دهند تا زمانی که حقوق کاهش می‌یابد. به همین دلیل هر پدیده سیستمی برای تطبیق با شرایط جدید نیازمند یک زمان تأخیر مخصوص به

خود است و نمی‌توان یک زمان واحد و یکسان را برای تأخیر تمام موارد در نظر گرفت. گاهی اوقات تأخیر به مقدار ورودی بستگی دارد. اگر مقدار ورودی از یک حد کمتر باشد مقدار تأخیر یک مقدار خواهد بود و اگر مقدار ورودی از آن حد بیشتر باشد مقدار تأخیر عدد دیگری خواهد شد. یعنی:

$$Delay=\begin{cases}D_1 \text{ If } x \geq x. \\ D_2 \text{ If } x \geq x.\end{cases} \quad (۳-۳)$$

معمولاً افراد مقدار تأخیر را کمتر از میزان واقعی آن تخمین می‌زنند. هر چه تأخیر بزرگتر باشد میزان کم‌نمایی تأخیر بیشتر می‌شود. یک راه کم کردن این خطای تخمین، تقسیم سیستم به زیر سیستم‌های تشکیل‌دهنده آن و تخمین میزان تأخیر هر بخش و جمع کردن این مقادیر برای محاسبه میزان تأخیر کلی سیستم است. غالباً پیشنهاد می‌شود که مدل‌ساز دنیای واقعی را بررسی کرده و مقدار تأخیر محقق شده را ثبت کند.

۳-۵-۵- زنجیره‌سنجی و جریان‌های همزمان[۴۷]

جریان‌های همزاد برای تشریح مشخصه‌های اقلام داخل یک شبکه حالت و جریان به کار می‌روند. نرخ‌های جریان خروجی اقلام از یک متغیر حالت، غالباً به شدت به عمر اقلام بستگی دارد. زنجیره‌های سنی برای نمایش موقعیت‌هایی به کار می‌روند که نرخ مرگ و میر اقلام در یک ساختار حالت و جریان به سن بستگی داشته باشد. ساختار حالت و جریان سیستم‌ها عاملی تعیین‌کننده و مهم در مورد پویایی آنها بوده و معمولاً تأخیر قابل ملاحظه‌ای بین مواد ورودی به یک فرآیند و مواد خروجی از آن وجود دارد. یک زنجیره سنی تعداد دلخواهی متغیر حالت دارد که گروه سنی نامیده می‌شوند و هر گروه سنی هم می‌تواند تعداد جریان ورودی و خروجی داشته باشد.

۳-۵-۶- جریان‌های همزاد: مدل‌سازی مشخصه‌های یک موجودی

[47] Aging chane and Co-flow

اندازه متغیر حالت نشان می‌دهد که چه میزان اقلام در آن وجود دارد اما درباره دیگر مشخصه‌های اقلام اطلاعاتی نمی‌دهد. ساختارهای جریان‌های همزاد برای ردیابی مشخصه‌های اقلام مختلف در طول عبور آنها در ساختار حالت و جریان یک سیستم به کار می‌رود. از این رو باید این گونه متغیرهای پیرو را موازی متغیرهای حالت- جریان اصلی ترسیم کرد. به عنوان مثال هنگامی‌که سرمایه‌گذاری یک بنگاه مدل‌سازی می‌شود ناخودآگاه تعداد نیروی کار متناسب با این حجم سرمایه نیز مطرح می‌شود. لذا به متغیر حالت نیروی کار نیز در این تحلیل باید توجه کرد.

۳-۵-۷- ترکیب زنجیره‌سنجی و جریان‌های موازی[۴۸]

گاهی در سیستم چند جریان موازی[۴۹] وجود دارد و هر کدام دارای زنجیره عمر جداگانه‌ای است. در طراحی مدل باید ترکیبی از آنها استفاده شود. فرض اختلاط کامل غالباً مناسب نیست زیرا یک مدل بهتر نیازمند تأخیرها و زنجیره‌های سنی از درجه‌ی بالاتر است. به عنوان مثال در طراحی مدل یک بنگاه، نیروی کار، مواد اولیه و انرژی را به عنوان ورودی و جریان در نظر می‌گیرند. لذا باید از جریانهای موازی در مدل سازی این بنگاه استفاده کرد. اما هر یک از این اقلام دارای زنجیر عمر مخصوص به خود است که باید در عین ارتباط با یکدیگر به صورت جداگانه مدل شوند (Sterman, 2000).

$$\text{Total Capital Stock}=\sum_{n=1}^{n} capital \qquad (۴-۳)$$

$$\text{Total Factor Requrement Of Capital} = \sum_{n=1}^{n} \text{Factor Requirments Of Vintagei} \qquad (۵-۳)$$

$$\text{Average Factor Intensity Of Capital}=\frac{\text{Total Factor Requirement Of Capital}}{\text{Total Capital Stock}} \qquad (۶-۳)$$

[48] Integrating Co-flows and Aging Chains
[49] Coflow

منابع و مآخذ

الف) منابع داخلی

آذین ر.، (۱۳۸۸) "ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن تخلیه شده نفت و گاز زیرزمینی. بوشهر، دانشکده خلیج فارس، دانشکده مهندسی، بخش مهندسی شیمی" **مجله‌ی مهندسی شیمی ایران**، سال هشتم، شماره ۴۰،

ابونوری ا.، شاهمرادی ا.، تقی‌نژاد عمران و.، و رجایی م.، "اثرات اقتصاد کلان تکانه‌ی قیمت انرژی: در قالب یک الگوی DSGE"، **فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی**، سال دهم، شماره‌ی ۳۹، زمستان ۱۳۹۲. صفحات ۴۹-۲۱.

ارشدی ع.، تیموری ب.، (۱۳۸۹) "بررسی تحلیل وضعیت صادرات گاز طبیعی، LNG و واردات گاز طبیعی در یاران و سایر کشورهای جهان (قسمت دوم)" نخستین همایش چیلر و برج خنک کن، **Www.Tasisatconf.Ir**.

افشاری ز .، سلیمانی موحد م، (۱۳۸۹)، آزمون تئوری هکشر-اوهلین- ساموئلسون در تجارت درون صنتعت ایرا(رویکرد داده‌های ترکیبی پویا)، **پژوهشنامه بازرگانی**، بهار ۱۳۸۹، دوره ۱۴، شماره ۵۴، صص ۲۳-۱.

اورعی م.، ابونوری ع.، و محمدی ه.، (۱۳۹۳) "بررسی اثرات تغییر قیمت برق کشاورزی و سوخت ناشی از اجرای قانونو هدفمندسازی یارانه‌ها بر شاخص اقتصادی نسبت سود به هزینه کشت پسته در دشت رفسنجان (رویکرد تحلیل سیستمی)" **پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران**، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۲۸-۱.

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، بهره‌وری و شدت انرژی در ایران، دایره نیرو، اردیبهشت ۱۳۸۹، **اداره بررسی‌ها و سیسات‌های اقتصادی**.

بهبودی، داود. مهین اصلانی‌نیا، نسیم. سجودی، سکینه(۱۳۸۹). تجزیه‌ی شدت انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در اقتصاد ایران. **فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی**. سال هفتم. شماره‌ی ۲۶. پاییز ۱۳۸۹. صفحات ۱۳۰-۱۰۵.

"ترازنامه انرژی" ، **وزارت نیرو**، ۱۳۹۲.

حیدری ح.، و سعیدپور ل.، (۱۳۹۱) "تحلیل پویای اقتصاد سنجی از رابطه بین تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی و صادرات غیر نفتی در ایران" **فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی**، سال نهم، شماره ۳۳، صص ۸۳-۵۳.

درخشان م، (۱۳۸۹)، "ملاحظات استراتژیک در تدوین سیاست‌گذاری‌های بالادستی نفت و گاز کشور"، **فصلنامه راهبرد**، سال نوزدهم، شماره ۵۷، زمستان ۱۳۸۹، صص ۱۳۱-۱۰۹.

درخشان م، (۱۳۹۱)، "امنیت انرژی و تحولات آینده بازارهای نفت و گاز"، **فصلنامه راهبرد**، سال بیست و یکم، شماره ۶۴، پاییز ۱۳۹۱، صص ۱۸۸-۱۵۹.

درخشان م، (۱۳۹۲)، "ویژگی‌های مطلوب قراردادهای نفتی: رویکرد اقتصادی-تاریخی به عملکرد قراردادهای نفتی در ایران"، **فصلنامه اقتصاد انرژی ایران**، سال سوم، شماره ۹، زمستان ۱۳۹۲، صص ۱۱۳-۵۳.

درخشان م، (۱۳۹۳)، "قراردادهای نفتی از منظر تولید صیانتی و ازدیاد برداشت: رویکرد اقتصاد مقاومتی"، **دوفصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات اقتصاد اسلامی** سال ششم، شماره دوم، پیاپی ۱۲، بهار و تابستان ۱۳۹۳، صص ۵۲-۷.

درخشان م و تکلیف ع، (۱۳۹۴)، "انتقال و توسعه فناوری در بخش بالادستی صنعت نفت ایران: ملاحظاتی در مفاهیم، الزامات، چالش‌ها و راهکارها"، **پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران**، سال چهارم، شماره ۱۴، بهار ۱۳۹۴، صص ۸۸-۳۳.

رحیمی ن، کارگری ن، صمدیار ح و نیکخواه منفرد ک؛ (۱۳۹۳) "تعیین هزینه‌های اجتماعی انتشار SO2، Nox و CO2 در بخش انرژی کشور"، **علوم و تکنولوژی محیط‌زیست**، شماره۳، دوره ۱۶: ص

زارع‌زاده م.، قادری س ف.، توکلی مقدم ر.، (۱۳۹۰)، "بررسی سیستمی اثرات سیاست‌های قیمتی بر مصرف خانگی انرژی کشور"، **نشریه‌ی تخصصی مهندسی صنایع**، دوره‌ی ۴۵، شماره ۱، فروردین ماه ۱۳۹۰، صفحات ۸۱-۷۱.

سلطانیان تلک‌آبادی ح.، محقر ع.، و صادقی مقدم م.، (۱۳۹۴) "تحلیل سیاست قیمت‌گذاری خوراک محصولات پتروشیمی با رویکرد سیستم‌های پویا" **چشم‌انداز مدیریت صنعتی**، شماره ۲۰، صص ۷۸-۵۹.

سحابی ب.، قنبری ع.، و شفیعی ع.، (۱۳۹۰) "بررسی عوامل مؤثر بر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در ایران با تأکید بر نوسانات نرخ ارز" **فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)**، دوره ۸، شماره ۳، صص ۵۲-۲۷.

شرافت م.، مشرفی ر.، (۱۳۹۰)، "شبیه‌سازی تولید گاز از میادین مستقل ایران با استفاده از تئوری هوبرت: یک مدل پویای سستمی"، **فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی**، سال هشتم، شماره‌ی ۳۰، پاییز ۱۳۹۰، صفحات ۹۵-۶۳.

شفیعی ن.، پاکیزه م.، و رضوی سرآسیا ع.، (۱۳۹۲) "مطالعه و بررسی وضعیت ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی ایران و سایر کشورهای جهان" **نشریه مهندسی شیمی ایران**، سال دوازدهم. شماره ۶۷.

صدرزاده س، صادقی ز و قدس الهی ا، (۱۳۹۲) ، "تخمین تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت: رگرسیون معادلات به ظاهر نامرتبط SUR"، **فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و انرژی**، سال ۲، شماره۶، صص ۱۲۷-۱۰۷.

فرزاد ا، شرکت ملی نفت ایران. تزریق گازهای جایگزین در میادین نفتی کشور.

گلدانی س، رجبی مشهدی ح و قاضی ر، (۱۳۹۰) "ارائه یک مدل تحلیل برای برنامه‌ریزی توسعه تولید در محیط رقابتی برمبنای تعادل دینامیکی عرضه و تقاضای انرژی"، **نشریه مهندسی برق و الکترونیک**، شماره ۱، دوره۸، صص ۶۶-۵۷.

گلچین‌پور م.، (۱۳۹۰)، "مدیریت موثر بخش انرژی کشور با بکارگیری مدل‌های انرژی"، معاونت برنامه‌ریزی وزارت نفت، **ماهنامه اکتشاف و تولید**، شماره ۸۰، صص ۱۶-۱۱.

مزرعتی م، ۱۳۸۶، "امنیت انرژی، دو روی یک سکه: امنیت عرضه و امنیت تقاضای انرژی"، **فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی**، سال چهارم، شماره ۱۳، تابستان ۱۳۸۶، صص ۸۸-۷۱.

مصلح ک.، دهقانی ف.، الزامی م.، و میرزاابراهیمی ر.، (۱۳۸۷) "ذخایر نفتی جهان» در استفاده بهینه از منابع گازی در ایران. موسسه مدیریت انرژی افق" **مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی**، چاپ اول ISBN 978-964-8427-48-6.)

صبوری کارخانه، (۱۳۹۳) Http://Eco-Investopedia.Persianblog.Ir/Post//۳۲۱

منظور د. و رضایی ح، (۱۳۹۱) "بررسی اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر میزان ظرفیت‌سازی و تولید برق در کشور: رویکرد پویایی سیستمی"، **فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی**، سال ۲۰، شماره ۶۴، دوره، صص ۴۶-۲۵.

منظور د و رضایی ح، (۱۳۹۲) "بررسی اثرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای: رویکرد پویایی سیستمی"، **فصلنامه اقتصاد انرژی ایران**، سال ۳، شماره۹، دوره، صص ۲۱۵-۱۹۹.

منظور د. و رضایی ح، (۱۳۹۲) "اثرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر قیمت برق در بازار تجدید ساختاریافته: رویکرد پویایی سیستمی"، **فصلنامه علمی- پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه**، سال ۱۸. شماره ۱، دوره، صص ۱۰۸-۹۵.

مولایی م، منظور د و رضایی ح، (۱۳۹۱) "فرآیند تعیین قیمت تعادلی در بازار برق ایران با رویکرد پویایی سیستمی"، **فصلنامه اقتصاد مقداری**، شماره ۲، دوره ۹، صص۸۶-۷۱.

مولایی م ع.، رضایی ح، (۱۳۹۵)، "تاثیرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر میزان ظرفیت‌سازی نیروگاه‌های بادی در مقایسه با سایر نیروگاه‌ها با رویکرد پویایی سیستمی"، **مجله تحقیقات اقتصادی**، دوره ۵۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صص ۲۴۷-۲۲۹.

موسوی حقیقی م ح.، رجبی ا.، (۱۳۹۲)، "مدلسازی تاثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت شاخص‌های اقتصادی و زیست محیطی با روش پویایی شناسی سیستمی"، **فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی**، شماره ۱۲، تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۱۳۴-۱۰۳.

واعظی م.، (۱۳۸۵)، "مشارکت در انرژی- همکاری در امنیت؛ وابستگی متقابل ایران و چین"، **ماهنامه همشهری دیپلماتیک**.

کتب

کی سوباکول ب.، (۱۳۹۲)، **"کتاب مرجع امنیت انرژی"**، جلد اول، مترجم علیرضا طیب، چاپ اول، انتشارات موسسه مطالعات و تحقیقات بین المللی ابرار معاصر تهران، تهران، صص ۲۰۰-۱، شابک: 978-964-526-183-0.

پایان‌نامه‌ها

باقری ن، ۱۳۹۱، رساله‌ی دکتری، ‘‘مدل سیستم نوآوری تکنولوژیک انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران’’، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی.

رهاننده‌پور لنگرودی ر.، ۱۳۹۳، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، ‘‘تخصیص منابع فرآورده های نفتی و گازی با رویکرد پویایی سیستمی’’، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی.

رئیسی، ع، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، "تحلیل پویایی توسعه استفاده از انرژی های نو در ایران"، دانشکده مهندسی، دانشگاه نیشابور

رضایی، ح، ۱۳۹۱، رساله‌ی دکتری، ‘‘طراحی الگوی بلندمدت سرمایه‌گذاری در بازار تجدیدساختاریافته صنعت برق کشور: رویکرد پویایی سیستمی و بهینه‌یابی’’، دانشکده امور اقتصادی، دانشگاه امام صادق علیه السلام.

قلم‌زن، ا، ۱۳۸۹، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ‘‘بررسی تاثیر تغییر قیمت حامل‌های انرژی بر متغیرهای کلان اقتصادی با رویکرد پویایی‌های سیستم(System Dynamics)’’، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شاهد.

ب) منابع خارجی

Akhtar M. K, Wibe J. B, Slobodan P. Simonovic C and Macgee J. (2013), “Integrated assessment model of society-biosphere-climate-economyenergy System", **Environmental Modelling & Software 49**, pp 1e21.

Anurag Chauhan N & Saini R. P. (2014), “A Review on Integrated Renewable Energy System Based Power Generation for Stand-Alone Applications: Configurations, Storage Options, Sizing Methodologies and Control”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 38, Pp 99–120.

Ben – Shahar, H., (1976), “Oil: Prices and Capital”, **Lexington Books, Lexington, Mass**, ***.

Davies, E. G. R. and Simonovic, S. P. (2008), “An Integrated System Dynamics Model for Analyzing Behaviour of the Social-Economic-Climatic System: Model Description and Model Use Guide. Facility for Intelligent Decision Support”, **Department of Civil and Environmental Engineering**, the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.

De Vries, B. J. M. Et Al. (2001). “The Targets Image Energy Regional (TIMER) Model: Technical Documentation. The IMAGE Project”, **Department of International Environmental Assessment**, National, ***.

Eckbo, P. L., (1976), “The Future Of World Oil. Ballinger Publishing Co”, **Cambridge, Mass**.,***.

Edmonds, J., Pitcher, H., and Sands, R. (2004). “Second Generation Model 2004 (SGM): An Overview”, **Joint Global Change Research Institute**, Pacific Northwest National Laboratory, College Park, MD.

Ehsan Shafiei, Brynhildur Davidsdottir, Jonathan Leaver, Hlynur Stefansson, Eyjolfur Ingi , (2015), “Simulation Of Alternative Fuel Markets Using Integrated System Dynamics Model Of Energy System, Asgeirsson Procedia Computer Science”, **International Conference On Computational Science**, Volume 51, 2015, Pages 513–521, ICCS.

Exxon Corporation, Public Affairs Department. (1977). “**World Energy Outlook**”, January.

Farzaneh H, Christopher N.H. Doll A, Puppim De Oliveira J. A. (2015) “An Integrated Supply-Demand Model For The Optimization Of Energy Flow In The Urban System”, **Journal Of Cleaner Production** Xxx. Pp 1-16.

Fiddaman, T. S. (1997), “Feedback complexity in integrated climate-economy models. Doctoral Thesis”, Alfred P. Sloan , School of Management, **Massachusetts Institute of Technology, Boston, Massachusetts**.

Fischer, D., (1975) "A Dynamic Model To Calculate Optimal Price Strategies For Association Of Dissertation", **New York University**, (Available From University Microfilms, Ann Arbor, Michigan).

Fischer, D. Gately and J.F. Kyle. (1975), "The Prospects for Opec: A Critical Survey of Models of The Worls Oil Market", **Journal of Development Economics 2**, pp 86-363.

Forrester, J. W. (1961). "Industrial Dynamics", **John Wiley and Sons, Inc., New York**, N.Y. 464 pages.

Florida Power and Light Company (FPLC). (2013) Retrieved 2013, from /Http://Www.Fplenergy.Com

Gately, D. And J.F. Kyle in Association with D. Fixcher., (1977), "Strategies for Opec's Pricing Decisions.", **European Economic Review**. December.***.

Institute of Public Health and the Environment (RIVM), (2005), **Bilthoven, The Netherlands**,***.

Jain N, Alleyne A. G. (2012) "A Framework for the Optimization Of Integrated Energy Systems", **Applied Thermal Engineering**, 48, Pp 495-505.

Kong Chyong Chi, Nuttall William J, Reiner David M., (2009), "Dynamics Of The UK Natural Gas Industry: System Dynamics Modelling And Long-Term Energy Policy Analysis", **Technological Forecasting & Social Change 76**, pp 339–357.

Leibowicz B. D., (2015) "Growth and Competition in Renewable Energy Industries: Insights from an Integrated Assessment Model with Strategic Firms" **Management Science and Engineering Department, Stanford University. Energy Economics. .*****

Locus R, Brunner K and Meltzer A. (1976) "Econometric Policy Evaluation: A Critique. In The Philips Curve And Labor Market", **Amsterdam: North Holland**,***

Nehrir, N. (2006), "A Course On Alternative Energy Wind/Pv/Fuel Cell Power Generation", **IEEE Power Engineering Society General Meeting**, 6.

Nail R.F. (1972) "Managing The Discovery Life Cycle Of A Finite Resxource: A Case Study Of U.S. Natural Gas", **Submitted In Partial Fulfilment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science At The Massachusetts Institute Of Technology**.

Nail R.F., Belenger Sh., Klinger A., And Petersen E., (1992) "An Analysis Of The Cost Effectiveness Of U.S. Energy Policies To Mitigate Global Warming", **System Ddynamics Review**, 8, 111-128.

Nail R.F. (1992) "A System Dynamics Model for National Energy Policy Planning" **System Dynamics Review,** 8, Pp1-19.

Nordhaus William D. (1994), "Managing the global commons: The economics of climate change", **MIT Press, Cambridge, MA**.

Popp David, (2004), "ENTICE: endogenous technological change in the DICE model of global warming", **Journal of Environmental Economics and Management 48**. PP742–768.

Prambudia Y., And Nakano M, (2012) “Integrated Simulation Model for Energy Security Evaluation”, **Energies, 5**, pp 5086-5110; Doi: 10.3390/En5125086.

Radzicki M. J and Taylor R. A (2008). "Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics". In: **U.S. Department Of Energy's Introduction to System Dynamics**. Retrieved 23 Oktober.

Radzicki, M. J. (2004), “Expectation Formation and Parameter Estimation in Uncertain Dynamic System: The System Dynamics Approach To Post Keynesian-Institutional Economics”, **Department of Social Science & Policy Studies Worcester Polytechnic Institute**, ***.

Randers, J. (1980), “Elements of the System Dynamics Method”, **the MIT Press, Cambridge, MA.**

Renewable Choice Energy (RCE). (2013). Retrieved From <Www.Renewablechoice.Com>.

Sterman J. D. (1988) “A Skeptic’s Guide to Computer Models”, **Westview Press**, *** Pp 209-229.

Sterman John D, (2000), “Business Dynamics Systems Thinking And Modeling For A Complex World”, **Massachusetts Institute Of Technology Sloan School Of Management**.

Swait, J. And Adamowicz,W. (1996), “The Effect Of Choice Environment And Task Demands On Consumer Behavior. Discriminating Between Contribution and Confusion, Working Paper”, **Department of Rural Economy, University of Alberta**.

Union of Concerned Scientists (UOCS). (2013) Retrieved From < Www.Ucsusa.Org >.

Vega, D. C., and Alpizar, F. (2011), “The Case of the Toro 3 Hydroelectric Project and the Recreo Verde Tourist Center In Costa Rica; Environment For Development”, **Discussion Paper Series**, May, Efd DP.

ج) پایگاه اطلاعاتی

"آمار تفصیلی صنعت برق ایران، سال‌های مختلف"، تهران. Www. Amar.Tavanir.Org.Ir

بانک اطلاعات سری‌های زمانی اقتصادی Www.Tsd.Cbi.Ir/Display/Content.Aspx

سازمان کشورهای صادرکننده نفت با نام اختصاری «اوپک» Www.Opec.Org

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور Iran - The Geology. - www.Entrepreneur.Com

شرکت ملی گاز ایران	Www.Nigc.Ir
وزارت نیرو	Www.Moe.Gov.Ir
موسسه علوم و منابع طبیعی آلمان	Www.Bgr.Com
آژانس بین‌المللی انرژی	Www.Iea.Com
سازمان اطلاعات انرژی آمریکا	Www.Eia.Com
انجمن جهانی انرژی	Www.Wec.Com

Explicating the Causal Relationships Of Iran's Comprehensive Energy System: System Dynamics Approach

Abstract

This study explained the causal relations of iran's comprehensive energy system by system dynamics approach. The purpose of this research is to find models and the factors influencing in this section to making decision by positive features of system dynamics approach for a more comprehensive vision in the energy sector. The community in this study including nonrenewable energy, oil and gas and renewable energy including electricity, solar energy, hydropower and wind, respectively. The data used in this study were collected and the corresponding graphs were expressed 1991-2013. By review the reference energy models, previous researches and studies, total of 88 variables related to interactions existing between energy variables and its sub-sectors order to objectives of this research were estimated. The effects of these variables on each other were drawn in the software vensim by the causal relationships in four separate diagrams including "supply and demand, energy security, investment in fossil energy and renewable energy". According to the results of the study low energy price has created the phenomena such as encouraging the use of inefficient and consuming resources, the use of surplus energy incom, benefiting the wealthy interests, causing adverse effects on the environment, reduce the development of renewable alternative energies, lack of energy storage and adequate funding for production to adapt to the growing demand and import gasoline because of high consumption. In this study, the use of leverage equilibrium price as a way of preventing early completion of reserves and maintain them for more years are presented. By liberalization of energy prices demand adjustment occurs and its profits leads to profitability energy sector, providing resources and funds needed to r&d investment in this sector to develop energy-saving activities, increase reserves and increase export revenues will be available for export. By investing in the energy sector, production capacity of resources available increased and can be added to the quantity supplied. Of course, with production of resources they will be decreased, and need to inject oil and gas and other methods of eor occurs.

Keywords:
oil, gas, power, renewable energy, system dynamics, causal relations, investment, resistive economic, import and export energy, energy security.

Jel classification:

Q20, q21, q31, q40, q41, q42, q48, q58.

Shahrood University of Technology

Faculty of Industrial Engineering & Management

MSC Theseis Strings economic trends economic systems Planing

Explicating the Causal Relationships Of Iran's Comprehensive Energy System: System Dynamics Approach

By:

Monire Zamanifar

Supervisor:

Dr. Mohammad Ali Molaei

Advisor :

Dr. Hosein Rezaee

November 2016