فصلنامه اقتصاد دفاع
انجمن علمی اقتصاد دفاع ایران
سال ششم، شماره بیست و یکم، پاییز ۱۴۰۰، صص ۱۱۳-۸۹

آینده‌پژوهی مصرف انرژی متأثر از تغییرات آب و هوایی در ایران و تحلیل پیامدهای اقتصادی امنیتی آن برای جمهوری اسلامی ایران

علی طاهری‌فرد هنجنی[۱]
سید محمد میرهاشمی دهنوی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

چکیده

بسیاری از محققان اعتقاد دارند که تغییرات آب و هوایی متأثر از فعالیت‌های انسانی و مصرف انواع مختلف انرژی است؛ که در این میان اثر مصرف انرژی بر تغییرات آب و هوایی را با مفاهیمی همچون اثر گازهای گلخانه‌ای تفسیر می‌کنند؛ اما اثر تغییرات آب و هوایی بر مصرف انرژی به‌صورت کلی و بر ترکیب انرژی‌های مصرفی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. هدف این مطالعه آینده‌پژوهی مصرف انرژی با توجه به تغییرات آب و هوایی در ایران است. در این مطالعه به‌منظور پاسخگویی به این هدف از الگوسازی پویایی‌شناسی سیستم و همچنین پیش‌بینی مصرف انرژی از نظر خبرگان فعال در بخش دفاعی و همچنین بخش انرژی در قالب تکنیک دلفی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی پویایی‌شناسی سیستم در ایران نشان داد که نتایج شبیه‌سازی مدل پویایی شناسی سیستم به‌خوبی توانسته مقادیر متغیرهای این مدل را شبیه‌سازی کرده و از طرف دیگر با تغییر اقلیم مصرف نفت و گاز در آینده در ایران کاهش پیدا کرده و مصرف برق افزایش پیدا می‌کند. از این‌رو از طریق سیاست‌هایی همچون واردات برق، افزایش تولید گاز از طریق سرمایه‌گذاری در میدان‌ها گازی، گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، اصلاحات قیمت انرژی و همچنین واردات گاز، اقدامات لازم را در این زمینه اعمال نمایند. زیرا بحث گاز و برق با توجه به اهمیت اقتصادی، سیاسی و امنیتی آن می‌تواند چالش‌های زیادی را برای ج. ا. ایران ایجاد کند.

واژگان کلیدی: آینده‌پژوهی، مصرف انرژی، تغییرات آب و هوایی، پویایی‌شناسی سیستم، تکنیک دلفی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[۱] دکتری علوم اقتصادی، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد. خراسان رضوی، ایران. (taheri.ali1983@gmail.com)
[۲] دکتری علوم اقتصادی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز، فارس، ایران. نویسنده مسئول. (Mohamadmirhashemi.88@gmail.com)

۱. مقدمه

بر اساس شواهد موجود، در جنگ جهانی، اولین حرکات آلمانی‌ها اتصال به منابع نفتی رومانی و مجارستان که در آن زمان اهمیت زیادی داشتند است و در حمله روسیه نیز هدف مهم و استراتژیک آن‌ها فتح منابع قفقاز است که درنهایت به شکست استالینگراد منجر شد. همچنین تلاش ژاپن در سال ۱۹۴۱ برای دستیابی به معادن نفتی اندونزی و برمه نمونه دیگری از جنگ قدرت جهت در اختیار داشتن منابع انرژی بوده است. علاوه بر جنگ‌های فوق‌الذکر و موارد متشابه آن، اگر از دریچه سیاست نیز به انرژی بنگریم موارد متعددی قابل‌ذکر است که نمونه آن افزایش قیمت نفت به‌طور ناگهانی در اوایل سال ۱۹۷۴ میلادی است. در آن سال کشورهای عضو اوپک تصمیم گرفتند به بی‌عدالتی در رابطه با انرژی واقعی نفت خام خاتمه دهند و قیمت نفت را از ۳ دلار به ۱۲ دلار افزایش دهند. واقعیت امر این بود که قدرت سیاسی نظامی اوپک باعث چهار برابر شدن قیمت نفت نبوده، بلکه احساس خطری که امریکا از وضعیت اقتصادی اتحادیه اروپا و ژاپن حس می کرد باعث شد از اعمال نفوذ خود در اوپک استفاده نماید و بدین‌وسیله سعی در ضربه زدن به رقبای خود را داشت. علاوه بر اینکه چند برابر شدن درآمد کشورهای عضو اوپک بازار خوبی برای سرازیر شدن اجناس آمریکایی به این کشورها را به دنبال داشت، این موضوع تأثیر بسزایی در به‌کارگیری و اعمال مدیریت صحیح در استفاده از انرژی و پیشگام شدن ژاپنی‌ها و اروپائیان در صنعتی جهان جایگزین مناسبی برای نفت و انرژی‌های فسیلی نداشته باشد، اهمیت و تأثیر این نوع انرژی‌ها در تصمیم‌گیری‌های عمده سیاسی، نظامی و اقتصادی جهان کاملاً مشخص است. لذا اگر از هم‌اکنون برنامه‌ریزی مناسبی در روند مصرف انرژی وجود نداشته باشد، قطعاً باید منتظر بحران‌های مختلفی بود. با توجه به اهمیت انرژی و آینده‌پژوهی آن در ایران، منطقه و جهان، دستیابی به سیاست‌هایی که بتواند در راستای تغییر و تحولات پیش‌بینی شده، قدرت امنیتی و اقتصادی ایران را تحت تاثیر قرار دهد، نیاز به انجام مطالعاتی در این زمینه دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطالعات انجام شده در ایران راستا نتوانسته است به ارائه پیشنهادهای کاربردی در جهت امنیت اقتصادی و حتی سیاسی ایران کمک کند؛ از این‌رو نیاز به انجام چنین مطالعه‌ای ضرورت پیدا می‌کند.

در اواخر دهه ۱۹۸۰، گرم شدن زمین به‌عنوان یکی از مسائل روز مطرح شد و بدین ترتیب، در بین الگوهای انرژی به الگوسازی محیط‌زیست – انرژی توجه ویژه‌ای شد. در سال‌های اخیر به‌منظور مدیریت سیستم‌های انرژی، و برنامه‌ریزی در زمینه انرژی و کنترل آلودگی مطالعات زیادی با استفاده از رهیافت‌های بالا به پایین[۱]، پایین به بالا[۲] و رهیافت تلفیقی[۳] (لیو[۴] و همکاران (۲۰۱۰)، ژو و ماسوئی[۵] (۲۰۰۹)، گیلن و چن[۶] (۲۰۰۱)، لین[۷]

[1] top-down
[2] bottom-up
[3] hybrid
[4] Liu
[5] Xu and Masui
[6] Gielen and Chen
[7] Lin

و همکاران (۲۰۱۰)، کانودیا و لولو[1] (۱۹۹۸)، کوریمو[2] و همکاران (۲۰۰۳)، ژانگ[3] و همکاران (۲۰۱۱)، فنگ[4] و ژانگ (۲۰۱۲)، بوهرینگر و روترفورد[5] (۲۰۰۹)، هادلی و شورت[6] (۲۰۰۱)، تورتون[7] (۲۰۰۸) و میراسگدیس[8] همکاران (۲۰۰۷)) انجام شده است. در الگوهای سنتی انرژی مورد استفاده در مطالعات پیشین، معمولاً فرض پیش‌بینی دقیق و روابط تعیین شده سیستم انرژی وجود دارد؛ و رفتارهای پویای بین متغیرهای اصلی موردنظر در الگو مورد توجه قرار نمی‌گیرند. با استفاده از رهیافت پویایی‌شناسی سیستم[9]، می‌توان روابط داخلی، آثار تغییرات ساختاری و آثار دخالت‌های مطلوب و نامطلوب در سیستم انرژی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

از نقطه‌نظر تقاضا، انرژی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در تصمیمات مصرف‌کنندگان برای حداکثر کردن مطلوبیتشان مطرح بوده و از طرف عرضه اقتصاد نیز می‌تواند، به همراه سایر نهاده‌های تولید نظیر موجودی سرمایه و نیروی کار نقش اساسی و مهمی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها و همچنین ارتقای استانداردهای زندگی داشته باشد.

از طرفی تغییرات آب‌وهوایی به‌طور مستقیم افراد را به ترک مناطقی مجبور می کنند که در اثر تغییرات ناگهانی جوی غیرقابل سکونت شده است یا در بلندمدت به دلیل تغییراتی موجب کاهش استانداردهای زندگی گردیده باشد. همچنین این تغییرها به‌طور غیرمستقیم زمینه را برای مهاجرت مهیا می‌کنند؛ یعنی رقابت بر سر منابع کمیاب، ابتدا به نارضایتی و درگیری در کشور یا منطقه آسیب‌دیده منجر می‌شود و سپس هنگامی‌که ناراضیان خود را از ماندن در این کشور یا منطقه ناتوان ببینند، برای مهاجرت، به‌ویژه مهاجرت به کشورهای همسایه، تصمیم می‌گیرند. بنا بر آنچه بیان شد، تغییرات آب و هوایی علاوه بر اینکه می‌تواند بر متغیرهای اقتصادی به‌صورت کلی و مصرف انرژی به‌صورت خاص اثرگذار باشد، می‌تواند از دیدگاه امنیتی نیز ایران را با چالش‌هایی مواجه کند. حال بررسی اثر تغییرات آب و هوایی بر مصرف انرژی در حال تبدیل شدن به موضوعی خاص هم برای محققان اقتصادی و هم سیاست‌گذاران اقتصادی و محیط‌زیست است. بسیاری از محققان اعتقاد دارند که تغییرات آب و هوایی متأثر از فعالیت‌های انسانی و مصرف انواع مختلف انرژی‌ها مخصوصاً انرژی‌های فسیلی است؛ که در این میان اثر مصرف انرژی بر تغییرات آب و هوایی را با مفاهیمی همچون اثر گازهای گلخانه‌ای تفسیر می‌کنند (خلیل‌عراقی و همکاران، ۱۳۹۱)؛ اما اثر تغییرات آب و هوایی بر مصرف انرژی به‌صورت کلی و بر ترکیب انرژی‌های مصرفی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. به این صورت که با افزایش دمای هوا و همچنین افزایش گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن و مونواکسید کربن، گرایش به سمت مصرف انرژی کمتر و افزایش کارایی انرژی و همچنین استفاده از انرژی‌های با کربن پایین‌تر بیشتر شده است. ازاین‌رو در مطالعه

---

[1] Kanudia and Loulou
[2] Corimo
[3] Xang
[4] Feng
[5] Bohringer and Rotherford
[6] Hadly and Short
[7] Turton
[8] Mirasgedis
[9] System Dynamics

حاضر به آینده‌پژوهی مصرف انرژی با توجه به تغییرات آب و هوایی در ایران پرداخته شده است.

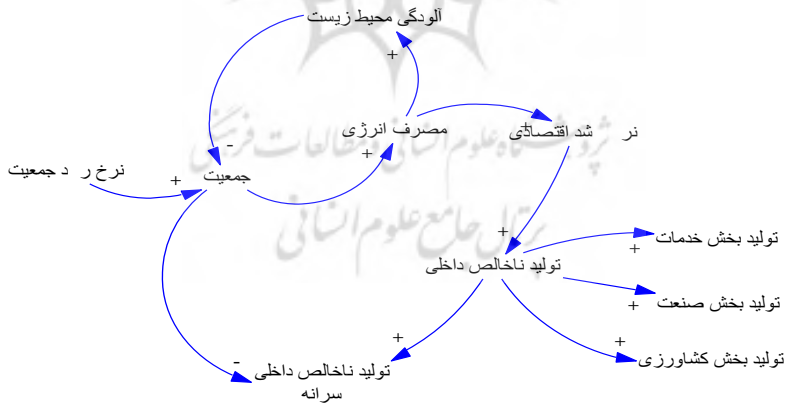
۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱. مبانی نظری پژوهش

با توجه به هدف موردنظر، در این پژوهش الگوی طراحی شده است که در این الگو از ترکیب هفت زیر بخش اقتصاد و اجتماع، کشاورزی، صنعت، خدمات، خانگی، حمل و نقل و زیر بخش محیط‌زیست استفاده شده است. در ادامه زیربخش‌های موردنظر در الگو را توضیح می‌دهیم.

۲-۱-۱. زیر بخش اقتصاد و اجتماع

به دلیل رابطه متقابل این زیر بخش با بقیه زیر بخش‌ها، این زیر بخش هسته اصلی الگو را تشکیل می‌دهد. به‌طورکلی می‌توان گفت که رشد رابطه تنگاتنگی با مصرف انرژی دارد. زیرا مصرف انرژی بالاتر منجر به رشد اقتصادی بیشتر خواهد شد. بنابراین این‌که رشد اقتصادی به چه میزان فرض شود اثر معنی‌داری بر تخمین مصرف انرژی و همچنین انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی دارد. جمعیت یکی دیگر از عواملی است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر مقدار و ترکیب مصرف انرژی اثرگذار است (WEO[1]، ۲۰۰۸). رشد جمعیت سبب گسترش فعالیت‌های اقتصادی و افزایش روند روز افزون مصرف منابع و انرژی می‌شود. جمعیت بیشتر به تولید بیشتری نیازمند است، تولید بیشتر به ایجاد مشاغل بیشتر می‌انجامد و افزایش اشتغال و تولید به افزایش گازها و انواع آلاینده‌های زیست‌محیطی و محصولات جانبی می‌شود (فطرس، ۱۳۸۵؛ فطرس و معبودی، ۱۳۸۹). شکل شماره (۱) نمودار علی–حلقوی را برای این زیر بخش نشان می‌دهد.



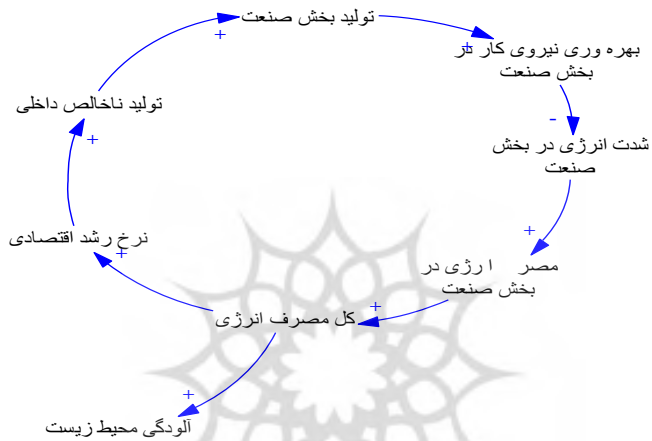
شکل شماره (۱) نمودار علی–حلقوی مربوط به زیر بخش اقتصاد–اجتماع

منبع: یافته‌های پژوهش

[1] World Energy Outlook

۲-۱-۲. زیر بخش صنعت

در ایران هم مثل دیگر کشورهای در حال توسعه بخش صنعت از اهمیت زیادی در اقتصاد و مصرف انرژی برخوردار است. به دلیل رشد صنایع انرژی‌بر، مصرف انرژی در این بخش نیز در سال‌های اخیر افزایش چشم-گیری داشته است. شدت انرژی که به‌صورت مصرف انرژی به ازای هر واحد تولید در نظر گرفته شده است، متغیر کلیدی در تعیین مصرف انرژی در این بخش است. شدت انرژی در بخش صنعت رابطه زیادی با توسعه اقتصادی و تغییرات فناوری و ساختار صنعت دارد (فنگ و همکاران، ۲۰۱۳). نمودار علی–حلقوی مربوط به این زیر بخش در شکل شماره (۲) آورده شده است.

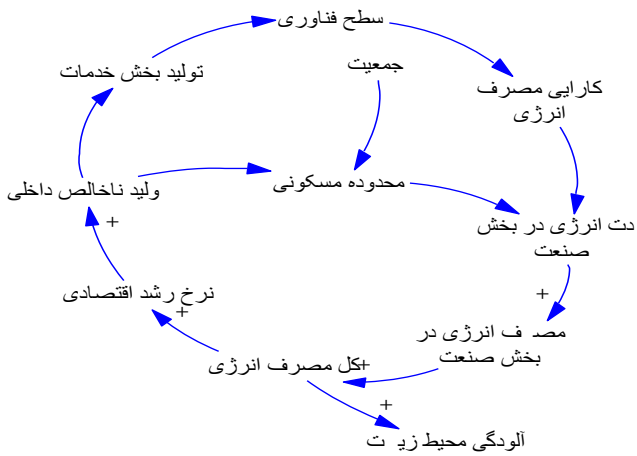


شکل شماره (۲) نمودار علی حلقوی زیر بخش صنعت

منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۱-۳. زیر بخش خدمات

آنچه می‌تواند بر شدت انرژی در بخش خدمات مؤثر باشد تولید بخش خدمات، جمعیت، ساختار انرژی در این بخش یا به عبارت بهتر سطح فناوری مصرف انرژی در این بخش، و همچنین محدوده مسکونی است. (فنگ و دیگران، ۲۰۱۳). با افزایش جمعیت محدوده مسکونی افزایش یافته و نیاز به ارائه خدمات بیشتری است و این باعث افزایش مصرف انرژی در این بخش خواهد شد. از طرف دیگر با افزایش سطح فناوری مصرف انرژی، شدت انرژی به دلیل افزایش کارایی انرژی کاهش خواهد یافت. با توجه به آنچه بیان شد، نمودار علی–حلقوی برای این زیر بخش در شکل شماره (۳) آورده شده است.

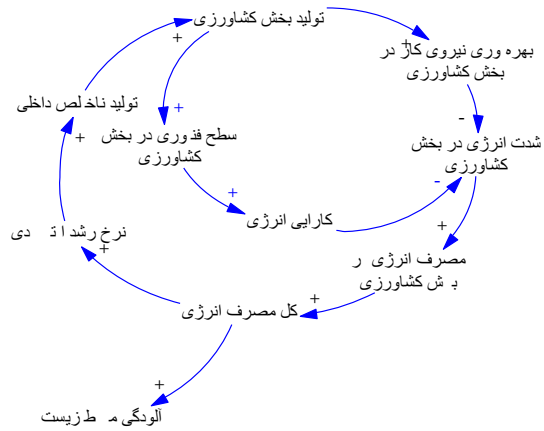


شکل شماره (۳) نمودار علی حلقوی زیر بخش خدمات

منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۱-٤. زیر بخش کشاورزی

مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل تغییر ساختار انرژی و افزایش سطح فناوری و به‌کارگیری تجهیزات بهتر، هم از نظر مقدار مصرف و هم از نظر ترکیب مصرف تغییرات زیادی کرده است (سیف، ۱۳۸۷). ازاین‌رو سعی شده در الگو این تغییرات در نظر گرفته شود. بنابراین شدت انرژی در بخش کشاورزی را تابعی از تولید ناخالص داخلی سرانه، ساختار انرژی در بخش کشاورزی یا به عبارت بهتر فناوری مصرف انرژی در بخش کشاورزی و همچنین تابعی از بهره‌وری نیروی کار در نظر گرفته شده است. ساختار انرژی در بخش کشاورزی را می‌توان با سهم برق از کل مصرف انرژی مصرفی در این بخش تعیین کرد؛ افزایش سهم برق به معنی استفاده از انرژی‌های با آلودگی کمتر و بازدهی بیشتر و همچنین تا حدودی افزایش سطح زیرساخت‌ها در این بخش است. با افزایش بهره‌وری نیروی کار در بخش کشاورزی نیز به دلیل افزایش تولید هر واحد نیروی کار، مصرف انرژی هر واحد تولید کاهش یافته و در نتیجه آن شدت انرژی کاهش پیدا می‌کند. شکل شماره (۴) نمودار علی–حلقوی زیر بخش کشاورزی را در الگو نشان می‌دهد.

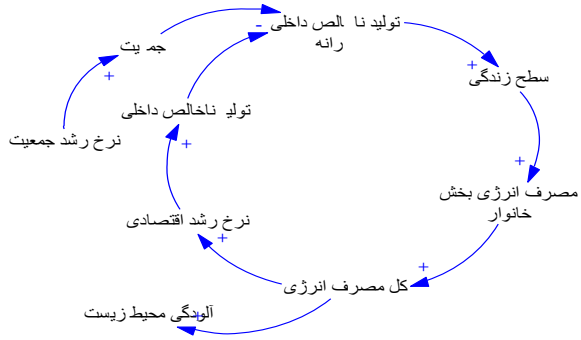


شکل شماره (۴) نمودار علی حلقوی زیر بخش کشاورزی

منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۱-۵. زیر بخش مصرف خانگی

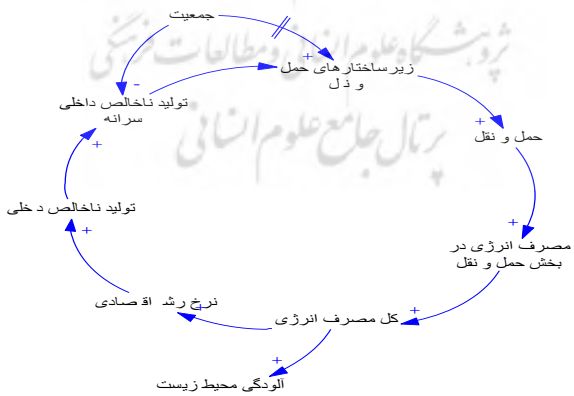
افزایش در نرخ رشد اقتصادی نه‌تنها باعث افزایش سطح سرمایه و ثروت جامعه می‌شود، بلکه سبک زندگی و همچنین مقدار مصرف انرژی و نوع انرژی مصرفی توسط خانوارها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییر در سبک زندگی و همچنین انرژی مصرفی خانوارها باعث شده که در طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۸ مصرف نفت و فرآورده‌های نفتی خانوارهای ایرانی کاهش و در همین دوره مصرف برق و گاز افزایش داشته باشد (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰). نمودار علی–حلقوی زیر بخش خانوار در شکل شماره (۵) آورده شده است. همان‌طور که در نمودار نیز مشخص است با افزایش جمعیت تولید ناخالص داخلی سرانه کاهش یافته، اما با افزایش تولید ناخالص داخلی، تولید سرانه افزایش و به دنبال آن سطح زندگی افزایش و همان‌طور که گفته شد با افزایش سطح زندگی مصرف انرژی افزایش می‌یابد. به دنبال افزایش مصرف انرژی از یک طرف نرخ رشد اقتصادی افزایش یافته و از طرف دیگر آلودگی محیط‌زیست افزایش خواهد یافت. که این روابط در شکل شماره (۵) در غالب نمودار علی–حلقوی آورده شده است.



شکل شماره (۵) نمودار علی حلقوی زیر بخش خانوار
منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۱-٦. زیر بخش حمل و نقل

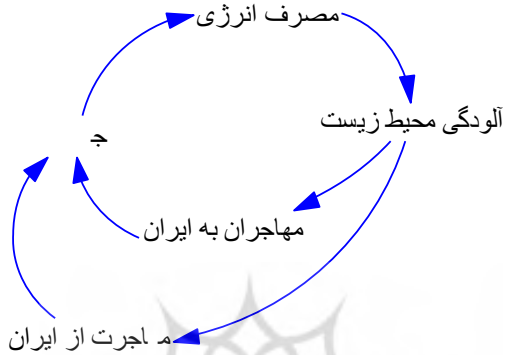
بخش حمل نقل شامل حمل و نقل ریلی، هوایی، زمینی و همچنین حمل و نقل شهری است. مصرف انرژی در این بخش را می‌توان تابعی از جمعیت و همچنین تولید ناخالص داخلی سرانه لحاظ کرد. با افزایش جمعیت نیاز به زیرساخت‌های حمل و نقل افزایش یافته که این زیرساخت‌ها با وقفه افزایش پیدا می‌کنند. با ایجاد زیر ساختارهای لازم حمل و نقل افزایش یافته و مصرف انرژی را در این بخش افزایش می‌دهد. که افزایش انرژی مصرفی در این بخش کل مصرف انرژی را افزایش داده و از یک طرف باعث افزایش نرخ رشد اقتصادی و از طرف دیگر باعث افزایش آلودگی محیط‌زیست می‌شود. شکل شماره (۶) نمودار علی–حلقوی این زیر بخش را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۶) نمودار علی حلقوی زیر بخش حمل و نقل
منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۱-۷. زیر بخش محیطزیست

با افزایش مصرف انرژی آلودگی محیطزیست افزایش می‌یابد، این افزایش آلودگی از دو سمت بر سطح جمعیت اثرگذار است. از یک طرف مهاجران به ایران کاهش می‌یابد و از طرف دیگر مهاجرت از ایران افزایش یافته که منجر به کاهش جمعیت می‌شود. کاهش جمعیت مصرف انرژی را کاهش می‌دهد. این روابط در نمودار علی-حلقوی شکل شماره (۷) آورده شده است.



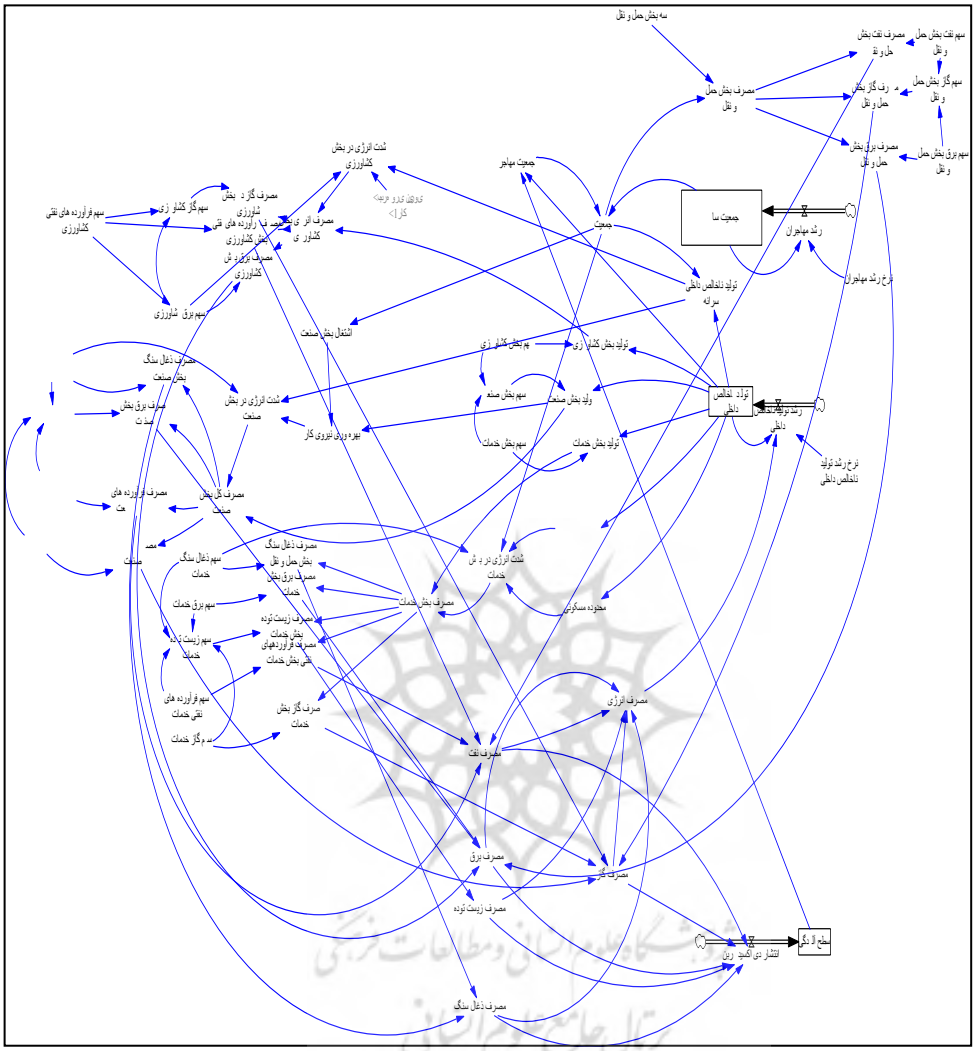
شکل شماره (۷) نمودار علی حلقوی زیر بخش حمل و نقل
منبع: یافته‌های پژوهش

۲-۱-۸. نمودار جریان انباشت

نمودار جریان انباشت الگو طراحی شده برای اقتصاد ایران در شکل شماره (۸) و توضیحات مربوط به این نمودار در جدول شماره (۱) آورده شده است. با توجه به سند چشم‌انداز بیست‌ساله کشور، رشد اقتصادی ایران ۸ درصد در نظر گرفته شده است؛ ازاین‌رو رشد اقتصادی در این الگو ۸ درصد فرض می‌شود. همچنین سهم بخش کشاورزی با توجه به سند چشم‌انداز ۲۵ درصد، سهم بخش خدمات ۳۴ درصد و بقیه یعنی ۴۱ درصد برای بخش صنعت در نظر گرفته شد. این نرخ را با توجه به روند آن در طی سال‌های گذشته و برنامه‌های توسعه و اهداف موجود در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ در نظر گرفته شده است[۱].

---

[۱] ذکر این نکته ضروری است که به دلیل پیچیدگی‌های موجود در توصیف رابطه پویای بین متغیرها، بدست آوردن یک رابطه تجربی که این روابط را نشان دهد تقریبا غیر ممکن است به همین دلیل معادلات زیادی با ترکیبات مختلف و بر اساس متغیرهای در نظر گرفته شده در هر زیر بخش بررسی شد و معادلاتی که خوبی برازش بالاتر (R^2 بالاتر) و سازگاری بیشتری با واقعیت داشتند در الگو مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های مورد استفاده برای معادلات مختلف از ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۹۰، مرکز آمار ایران و داده‌های منتشر شده بانک جهانی استفاده شده است همچنین سهم هر یک از انرژی ها با استفاده از روند زمانی متغیرها در سال‌ها گذشته بدست آمده است



شکل شماره (۸) نمودار ذخیره–جریان الگو اقتصاد–انرژی–محیط‌زیست ایران

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول شماره (۱) معادلات متغیرهای کلیدی در نمودار جریان انباشت

نام متغیر	چگونگی محاسبه	توضیحات	منابع مورد استفاده
مصرف انرژی بخش صنعت	$\mathrm{ED_I} = \mathrm{EI_I} \times \mathrm{VA_I}$	در بخش صنعت انرژی از چهار منبع فرآورده‌های نفتی، گاز، برق و زغال‌سنگ تأمین می‌شود. $\mathrm{ED_I}$ انرژی مصرف شده در بخش صنعت، $\mathrm{EI_I}$ شدت انرژی یا مصرف انرژی به ازای هر واحد ارزش‌افزوده در این بخش و $\mathrm{VA_I}$ ارزش‌افزوده بخش صنعت است.	ترازنامه انرژی ۱۳۹۰
مصرف انرژی در بخش خدمات	$\mathrm{ED_s} = \mathrm{EI_s} \times \mathrm{VA_s}$	منابع مهم تأمین انرژی در بخش خدمات زغال‌سنگ، برق، گاز، نفت و زیست‌توده هستند. $\mathrm{ED_s}$ انرژی مصرف شده در بخش خدمات، $\mathrm{EI_s}$ شدت انرژی یا مصرف انرژی به ازای هر واحد ارزش‌افزوده در این بخش و $\mathrm{VA_s}$ هم ارزش‌افزوده در این بخش است.	ترازنامه انرژی ۱۳۹۰
مصرف انرژی در بخش کشاورزی	$\mathrm{ED}_A = \mathrm{EI_A} \times \mathrm{VA_A}$	منابع تأمین انرژی در این بخش را نفت و فرآورده‌های نفتی، برق و گاز طبیعی تشکیل می‌دهند. مصرف انرژی در بخش کشاورزی ED_A و شدت انرژی در این بخش را $\mathrm{EI_A}$ و ارزش‌افزوده بخش کشاورزی $\mathrm{VA_A}$ است.	ترازنامه انرژی ۱۳۹۰
مصرف انرژی در بخش خانگی	$\mathrm{ED_h} = \mathrm{S_h} \times \mathrm{e} \times \mathrm{P}$	گاز، برق، زیست‌توده و نفت و فرآورده‌های نفتی را به‌عنوان منابع تأمین‌کننده انرژی در این زیر بخش در نظر گرفتیم. ED_h کل مصرف انرژی در بخش خانگی، S_h سهم مصرف خانگی از کل مصرف انرژی، e مصرف سرانه انرژی و P جمعیت را نشان می‌دهد.	ترازنامه انرژی ۱۳۹۰، مرکز آمار ایران
مصرف انرژی در بخش حمل و نقل	$\mathrm{ED_T} = \mathrm{S_T} \times \mathrm{e} \times \mathrm{P}$	نفت و فرآورده‌های نفتی، گاز و برق منابع تأمین‌کننده انرژی این زیر بخش را تشکیل می‌دهند. ED_T کل مصرف انرژی در بخش حمل و نقل، S_h سهم بخش حمل و نقل از کل مصرف انرژی، e مصرف سرانه انرژی و P جمعیت را نشان می‌دهد.	ترازنامه انرژی، مرکز آمار ایران
انتشار دی‌اکسید کربن	$\mathrm{CE} = \sum_{\mathrm{i,j}} \mathrm{ED_{ij}} \times \mathrm{EF_j}$	در این‌جا CE کل در اکسید منتشرشده را نشان می‌دهد. i و j در این‌جا به ترتیب نشان‌دهنده زیر بخش و نوع انرژی هستند؛ به این‌صورت که $\mathrm{ED_{ij}}$ انرژی مصرفی زیر بخش i از نوع انرژی j را نشان می‌دهد. $\mathrm{EF_j}$ ضریب انتشار دی-اکسیدکربن انرژی نوع j را نشان می‌دهد.	سایت سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[1]

منبع: یافته‌های پژوهش

[1] United States Environmental protection Agency (EPA)

۲-۲. پیشینه پژوهش

پیشینه مربوط به تحقیق حاضر را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد؛ در برخی از مطالعات به بررسی آینده‌پژوهی مصرف انرژی پرداخته شده و برخی از مطالعات دیگر به بررسی اثر تغییرات آب و هوایی و تغییر اقلیم بر مصرف انرژی پرداخته‌اند. از مطالعات مربوط به این تحقیق می‌توان به مطالعات علیزاده و همکاران (۱۳۹۵)، داوودی و همکاران (۱۳۹۵)، مرادی و همکاران (۱۳۹۵)، یعقوبی (۱۳۹۵)، عباسی (۱۳۹۴)، تقی زاده مهرجردی (۱۳۹۴)، میرفخرالدینی (۱۳۹۲)، عباسی و همکاران (۱۳۹۱)، بابایی میبدی و همکاران (۱۳۹۱)، خلعتبری (۱۳۸۸)، گو[1] و همکاران (۲۰۰۱)، کونش و اسپرینگائل[2] (۲۰۰۸)، سایسل و بارسال[3] (۲۰۰۱)، سوریانی و همکاران (۲۰۱۰)، دایسون و چانگ (۲۰۰۵)، استیو[4] (۲۰۰۳)، رهان[5] و همکاران (۲۰۱۱)، آناند[6] و همکاران (۲۰۰۵)، گائو و همکاران (۲۰۰۱)، فورد[7] (۱۹۸۳)، نیل[8] (۱۹۹۲)، کوادرات[9] (۲۰۰۵)، دینر[10] و همکاران (۱۹۹۵)، بون و لارسن[11] (۱۹۹۲) و چی و همکاران (۲۰۰۹)، کوئیان[12] و همکاران (۲۰۰۴)، اخمت[13] و همکاران (۲۰۱۴)، ولیز[14] و همکاران (۲۰۱۷)، ژو و زمرکوسکی[15] (۲۰۱۷)، آنسل و کایزر[16] (۲۰۱۸)، وسه و لین[17] (۲۰۱۸) اشاره کرد. در ادامه در دو بخش مطالعات داخلی و مطالعات خارجی به مروری مختصر بر تعدادی از این مطالعات پرداخته خواهد شد.

طحاری مهرجردی و همکاران (۱۳۹۱) به الگوسازی و پیش‌بینی مصرف انرژی بخش حمل و نقل ایران با استفاده از الگوهای شبکه عصبی فازی، شبکه عصبی ژنتیک و شبکه عصبی پرداختند. در این مطالعه از داده‌های سالانه مصرف انرژی بخش حمل و نقل کشور به عنوان متغیر خروجی الگوهای پیش‌بینی و از داده‌های سالانه جمعیت کل کشور، تولید ناخالص داخلی و تعداد خودرو، به عنوان متغیرهای ورودی الگوهای پیش‌بینی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که الگوی شبکه عصبی فازی، نسبت به سایر الگوها از بیشترین دقت در پیش بینی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل کشور برخوردار است. همچنین بر اساس نتایج تحلیل حساسیت

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Guo
[2] Kunsch and Springael
[3] Saysel and Barlas
[4] Stave
[5] Rehan
[6] Anand
[7] Ford
[8] Naill
[9] Qudrat-Ullah
[10] Dyner
[11] Bunn and Larsen
[12] Qian
[13] Akhmat
[14] Véliz
[15] Xu and Szmerekovsky
[16] Ansell & Cayzer
[17] Wesseh & Lin

ورودی‌ها به وسیله شبکه عصبی، ورودی جمعیت کشور به عنوان ورودی شناخته شد که بیشترین تأثیر را در مصرف انرژی دارد.

عباسی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی تغییر اقلیم در آینده و در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ پرداختند. در این مطالعه با استفاده از مدل‌های MAGICC-SCENGEN خروجی‌های دو مدل گردش عمومی جو با در نظر گرفتن هجده سناریو انتشار IPCC تجزیه و تحلیل شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بارش در ایران تا ۲۱۰۰ با کاهش ۲/۵ درصدی مواجه خواهد شد. نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که در برخی از مناطق ایران و با استفاده از برخی از مدلها، ایران با کاهش بارش مواجه شده و در برخی از موارد با کاهش بارش مواجه می‌شود.

تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی الگوی ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک در پیش بینی تقاضای انرژی بخش کشاورزی ایران پرداختند. برای این منظور، از داده‌های سالانه مصرف انرژی بخش کشاورزی کشور به عنوان متغیر خروجی مدل‌های پیش‌بینی و از داده‌های سالانه جمعیت کل کشور و کل تولیدات بخش کشاورزی کشور به عنوان متغیرهای ورودی مدل‌های پیش‌بینی استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که الگوی ترکیبی شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک، نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک دارای بالاترین دقت در پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش کشاورزی کشور است.

علیزاده و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به تدوین سناریوهای آینده انرژی و آزمون پابرجایی راهبردهای مدیریت انرژی ایران پرداختند. در این مطالعه ترکیبی از روش‌های دلفی، پویش محیطی،[1]PEST و تحلیل اثرات متقابل، پارامترهای کلیدی بخش انرژی تجمیع شده و با استفاده از پرسشنامه تحلیل اثرات متقابل با نظر نمونه ای از خبرگان حوزه انرژی و آینده‌پژوهی، عدم قطعیت‌های کلیدی شناسایی شده سپس با استفاده از عدم قطعیت‌های کلیدی و با رجوع به همه عوامل و اطلاعات جمع‌آوری شده، سه سناریو با نام‌های فن سالار، رکود و خودکفایی تدوین شد. در این مطالعه سیاست خارجی کشور در رابطه با سایر کشورها و جذب سرمایه‌گذاری خارجی در بخش انرژی، تحریم و فشارهای عرب علیه ایران و احتمال بروز جنگ و حملات تروریستی به عنوان پارامترهای کلیدی موثر بر آینده بخش انرژی کشور شناسایی شدند.

کوئیان[2] و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین مصرف انرژی و تغییرات آب و هوایی پرداختند. در این مطالعه از داده‌های دوره زمانی ۱۹۵۳ تا ۱۹۹۹ برای کشور چین و روش مبتنی بر داده‌های سری زمانی استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که بین مصرف انرژی و تغییرات اقلیم رابطه معنی‌داری وجود داشته و این در حالی است که این رابطه با تغییرات سطح توسعه‌یافتگی و همچنین تغییرات تکنولوژی تغییر پیدا می‌کند.

هیدایاتنو[3] (۲۰۱۲) به منظور بررسی رابطه بین اقتصاد، جامعه و محیط زیست شهر جاکارتا، الگویی را برای ارزیابی تعدادی از شاخص‌های توسعه پایدار که در ارزیابی سیاست‌ها برای کمک به سیاستگذاران به منظور بهبود سناریوهای مختلف مفید باشد، طراحی کرد. وی به این نتیجه رسید که همراه با توسعه جاکارتا، اقتصاد

---

[1] Political-Economical-Societal-Technology
[2] Qian
[3] Hidayatno

و جامعه این شهر نیز پیشرفت زیادی خواهد داشت. این پیشرفت اثر مستقیمی از طریق افزایش انتشار دی اکسید کربن و افزایش مصرف آب‌های زیرزمینی، بر محیط زیست خواهد داشت که می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل تراکم جمعیت، بیکاری و کاهش امید به زندگی شود.

فنگ[1] و همکاران (۲۰۱۳) الگویی جهت بررسی روند مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن برای شهر پکن در طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۰۵ طراحی کردند. نتایج حاصل از الگو نشان داد مصرف انرژی از حدود ۵۵/۹۹ میلیون تن معادل ذغال سنگ در سال ۲۰۰۵ در پکن به ۱۱۴/۳۰ میلیون تن معادل ذغال سنگ در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید که نشان دهنده افزایش ۱/۰۴ برابری در تقاضای انرژی در این شهر است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که کل دی اکسید منتشر شده در سال ۲۰۳۰ با ۴۳ درصد افزایش نسبت به سال ۲۰۰۵ به ۱۶۹/۶۷ تن خواهد رسید. نتایج آن‌ها نشان دهنده این است که با تغییر ساختاری از انرژی‌های با کربن بالا به سمت انرژی‌های با کربن پایین، می‌توان نقش مهمی را در کاهش دی اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در این شهر ایفا کرد.

اخمت[2] و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین تغییرات آب و هوایی و مصرف انرژی در مناطق مختلف جهان پرداختند. در این مطالعه از داده‌های کشورهای گروه منا، کشورهای جنوب صحرای آفریقا، کشورهای آسیا پاسیفیک و کلیه کشورهای جهان در دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱ استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که یک رابطه تعادلی بلندمدت بین مصرف انرژی و تغییر اقلیم وجود داشته و این رابطه در مناطق مختلف جهان متفاوت است. آنان همچنین بدست آوردند که یک رابطه علی یک طرفه از تغییرات آب و هوایی به مصرف برق در کشورهای مورد مطالعه وجود دارد.

ولیز[3] و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی اثر تغییرات آب و هوایی بر مخارج ناشی از مصرف انرژی برق در ایالت ماساچوست آمریکا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات آب و هوایی اثری غیرخطی بر قیمت برق داشته است بصورتی‌که افزایش ۲ درصدی در میانگین دمای هوا باعث افزایش مصرف و قیمت برق در این ایالت شده و مخارج مصرف برق خانوارهای این ایالت را ۱۲ درصد افزایش می‌دهد. آنان همچنین نشان دادن که این رابطه در بخش‌های تجاری متفاوت بوده بصورتی که افزایش یک درصدی در دمای هوا، مخارج را تا ۳/۶ برابر افزایش خواهد داد.

آنسل و کایزر[4] (۲۰۱۸) با ارائه یک مدل سیستم دینامیک، به پیش‌بینی مصرف انرژی با توجه به نقش تغییرات آب و هوایی و کیفیت دخایر فسیلی پرداختند. در این مطالعه با توجه به رشد جمعیت، تولیدات غذایی و همچنین تولید بخش صنعت، به پیش‌بینی متغیرهای مختلف تحت تاثیر دمای هوا و اثر سناریوهای مختلف بر مقادیر پیش‌بینی شده تا دوره ۲۱۰۰ پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ مصرف انرژی با افزایش ۵۰ درصدی هزینه مصرف انرژی و افزایش ۲/۴ تا ۲/۷ درصدی در درجه هوا مواجه خواهد بود. همچنین نتایج

[1] Feng
[2] Akhmat
[3] Véliz
[4] Ansell & Cayzer

حاکی از آن بود که افزایش ۲ درجه‌ای در دمای هوا باعث کاهش تولید بخش صنعت به اندازه ۰/۱ تا ۰/۲ درصد شده است.

وسه و لین[1] (۲۰۱۸) به بررسی رابطه بین مصرف انرژی، جایگزینی انرژی، تغیرات آب و هوایی و مصرف دی اکسید کربن به عنوان یکی از شاخص‌های تعیین‌کننده تغییرات آب و هوایی در مصر پرداختند. در این مطالعه از یک مدل علیت ترانسلوگ توسعه داده شده توسط محققان استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش انتشار دی اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی، تغییرات آب و هوایی به یک مسئله مهم برای سیاست‌گذاران تبدیل شده است. از طرف دیگر آنان بدست اوردند که بین مصرف انرژی، انتشار دی اکسید کربن، رشد اقتصادی و جایگزینی انرژی رابطه علی یک طرفه وجود داشته و تغییرات اقلیم باعث جانشینی انرژی‌های مختلف شده است.

آنچه مشخص است، بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که در هیچکدام از مطالعات قبلی به پیش‌بینی مصرف انرژی و انواع آن پرداخته نشده است و اثر تغییرات آب و هوایی بر مقادیر پیش‌بینی شده نیز مورد تحلیل و بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو می‌توان نوآوری این مطالعه را از چند نظر مورد تاکید قرار داد؛ اول اینکه در بررسی‌های انجام شده، مطالعه‌ای که از دیدی سیاسی و امنیتی به مسئله آینده‌پژوهی مصرف انرژی در ایران بپردازد، یافت نشده است. از طرف دیگر روش مورد استفاده در این مطالعه یکی از روش‌های مهم در آینده‌پژوهی یعنی پویایی‌شناسی سیستم است که می‌تواند متغیرهای مختلف را در کنار یکدیگر در یک سیستم قرار داده و به شبیه‌سازی آن بپردازد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه با استفاده از مدلسازی پویایی‌شناسی سیستم که یک روش کمی است، به آینده‌پژوهی مصرف انرژی پرداخته شده و سناریوهای مختلف در آینده‌پژوهی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. به عبارت بهتر در این قسمت از تحقیق روش سناریوسازی آینده‌پژوهی مورد استفاده قرار گرفته است.

در مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم نیاز به برآورد معادلات مربوطه در تحقیق است که در این تحقیق به‌منظور برآورد معادلات از الگوی خود رگرسیونی با وقفه‌های توزیعی (ARDL)، الگوی مبتنی بر داده‌های پانلی، و به‌منظور برآورد در الگوی ARDL از آزمون‌های ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته و فیلیپس پرون، و به‌منظور برآورد در الگوهای پانلی از آزمون ریشه واحد پانلی لوین، لین و چو، و ایم پسران و شین، آزمون همبستگی مقطعی و در صورت نیاز آزمون F و آزمون هاسمن استفاده شد. نرم‌افزار مورد نیاز برای الگوی پویایی‌شناسی سیستم نرم‌افزار VENSIM و برای برآورد مدل‌ها و آزمون‌ها نیز از نرم‌افزارهای EVIEWS، MICROFIT و STATA استفاده شد. ضمن اینکه در مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم و همچنین پیش‌بینی مصرف انرژی از نظر خبرگان فعال در بخش دفاعی و همچنین بخش انرژی در قالب تکنیک دلفی استفاده شد.

[1] Wesseh & Lin

از طرفی تحقیق حاضر از نظر دوره زمانی به پیش‌بینی مصرف انرژی در افق ۱۴۲۰ پرداخته و به‌منظور برآورد معادلات مورد نیاز از داده‌های دوره زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۸ استفاده کرده است. از نظر مکانی ایران را شامل می‌شود و از نظر موضوعی در حوزه اقتصاد سیاسی و اقتصاد انرژی و محیط‌زیست است.

۳-۱. مدلسازی پویایی‌شناسی

پویایی‌شناسی سیستم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌های تفکر سیستمی اولین بار توسط فارستر در سال ۱۹۶۱ جهت شناسایی و تبیین رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده و چگونگی تعامل آن‌ها با یکدیگر مطرح شد. وی معتقد بود که روش‌های کمی قادر به حل مشکلات واقعی نمی‌باشند. چون بعضی از مسائل قابل کمی شدن نیستند و روابط بین آن‌ها خطی نیست؛ اما این روش با تمرکز بر فرایند بازخور و تعیین روابط علی و معلولی قادر به شناخت و تبیین روابط بین سیستم‌های مختلف است. وی اوایل دهه ۷۰ با استفاده از این الگو ارتباط بخش‌های مختلف حاکم بر دنیا را در قالب مدل‌سازی world1 مطرح کرد. جنبه‌های پیشرفته این الگو تحت عنوان world2 و world3 در سطحی وسیع‌تر به‌منظور بررسی چالش‌های پیش روی جامعه بشری ایجاد و آزمون شد. این مدل شامل حوزه‌های مختلفی است و بخشی از آن‌که به مدل توسعه ملی صنعت[1] معروف شد، به بررسی وضعیت بخش صنعت با سایر بخش‌ها می‌پردازد. با توجه به قابلیت‌های روش پویایی‌شناسی سیستم بر شبیه‌سازی و تحلیل رفتار سیستم‌های پیچیده، این الگو طی چند دهه گذشته در حوزه‌های مختلف مخصوصاً سیستم‌های اقتصادی–اجتماعی کاربردهای زیادی داشته است؛ که در این مطالعه نیز از این روش استفاده شده است. در این مطالعه به‌منظور پیش‌بینی مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسید کربن ایران در دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۴۲۰ و تجزیه‌وتحلیل حساسیت آن تحت سناریوهای مختلف از یک شبیه‌سازی کامپیوتری بر مبنای رهیافت پویایی‌شناسی سیستم استفاده شده است.

۳-۲. اعتبارسنجی الگو

اعتبارسنجی الگوهای بر مبنای رهیافت پویایی‌شناسی سیستم برای اطمینان از درست بودن و سودمند بودن آن الگو است. از آن‌جایی که طراحی یک الگو با هدف رسیدگی به مشکلات و رفع آن‌ها در زمینه‌های متفاوت است، الگو طراحی شده به‌منظور تطابق با واقعیت، آزمون می‌شود. برای ارزیابی و بهبود مدل‌های پویا آزمون‌های زیادی طراحی شده است؛ که با توجه به محدودیت‌های آمار و داده‌ها و نیز محدودیت‌های نسخه PLE نرم‌افزار Vensim در این الگو به‌منظور اعتبارسنجی الگو از آزمون رفتار مجدد[2] استفاده می‌شود. هدف از آزمون رفتار مجدد مقایسه نتایج شبیه‌سازی‌شده با داده‌های واقعی برای اطمینان از صحت عملکرد الگو است. به عبارت دیگر در این حالت رفتار شبیه‌سازی‌شده برای الگو بازتولید می‌شود تا با داده‌های واقعی محاسبه شود (فقیه و همکاران، ۱۳۹۲).

[1] Industrial National Model
[2] Behavioral Reproduction Test

در شکل شماره (۹) مقادیر شبیه‌سازی‌شده مصرف انرژی با عدد ۱ و مقادیر واقعی آن در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ با عدد ۲ مشخص شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است مقادیر شبیه‌سازی‌شده تقریباً توانسته است که مقادیر واقعی را پیش‌بینی کند. مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر واقعی انتشار دی‌اکسید کربن در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ به ترتیب با اعداد ۱ و ۲ در شکل شماره (۱۰) آمده است. همان‌طور که مشخص است تا حدودی الگو توانسته است که انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی را پیش‌بینی کند؛ ولی همان‌طور که قبلاً نیز بیان شد انتظار نیست که الگو بتواند به‌صورت دقیق مقادیر واقعی را پیش‌بینی کند. با توجه به مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده برای دو متغیر موردنظر در الگو می‌توان گفت که الگو طراحی شده می‌تواند الگو مفیدی باشد.

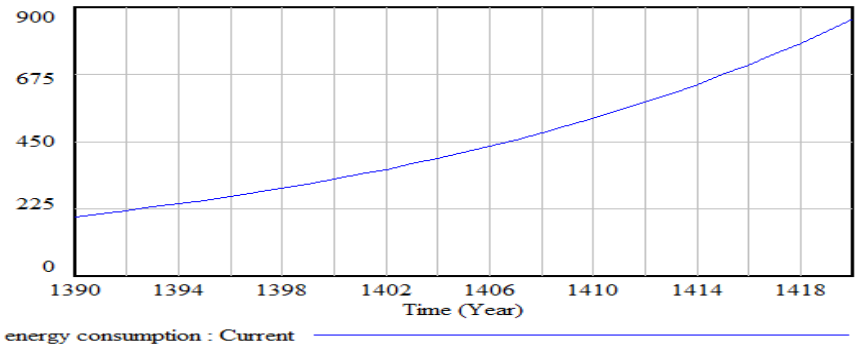
٤. تجزیه و تحلیل داده ها و یافته های پژوهش

٤-١. شبیه‌سازی الگو پایه

از تکنیک شبیه‌سازی به‌منظور تحلیل آثار تصمیمات بر یک سیستم و یا پیش‌بینی رفتار آینده سیستم استفاده می‌شود. با کمک شبیه‌سازی می‌توان مسائل دنیای واقعی را در دنیای مجازی تجربه کرد؛ شبیه‌سازی می‌توانند تحت شرایط مختلف و به‌منظور بررسی سیاست‌های مختلف تکرار شود. البته به این نکته باید توجه کرد که در شبیه‌سازی، الگوی ساده شده از دنیای واقعی ساخته می‌شود، که رفتاری نزدیک به دنیای واقعی داشته باشد و نباید انتظار داشت که به‌طور کامل مطابق با آن باشد.

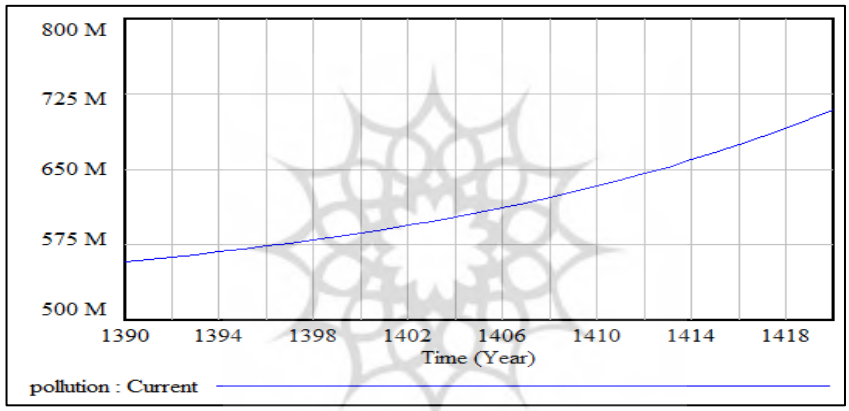
نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی در ایران در شکل شماره (۹) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، با ادامه روند کنونی و با در نظر گرفتن مقادیر پایه، مصرف انرژی در ایران افزایشی بوده و تا سال ۱۴۲۰ به حدود ۸۰۰ میلیون تن معادل نفت خام در سال خواهد رسید. مقایسه نتایج با آمارهای BP برای مصرف انرژی ایران نشان می‌دهد که مدل طراحی شده توانسته است که تا حدودی آمارهای واقعی را پیش‌بینی کند.

همان‌طور که بیان شد، یکی دیگر از متغیرهای اصلی این مدل که به‌منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روند شبیه‌سازی انرژی، انتشار دی‌اکسید کربن است. شکل زیر مقادیر شبیه‌سازی شده برای این متغیر را در افق ۱۴۲۰ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل زیر نیز مشخص است، مطابق با انتظار و با افزایش مصرف انرژی در ایران، آلودگی محیط‌زیست به‌صورت کلی و انتشار دی‌اکسید کربن به‌صورت خاص افزایش یافته و در نتیجه تخریب محیط‌زیست افزایش خواهد یافت. بررسی‌ها نشان داد که برای انتشار دی‌اکسید کربن نیز نتایج شبیه‌سازی‌شده با نتایج واقعی همخوانی دارد؛ از این‌رو بر اساس نتایج مدل پایه می‌توان گفت که مدل طراحی شده تا حدودی توانسته است که واقعیت‌های موجود را به‌خوبی شبیه‌سازی کند. با توجه به اینکه هدف از مدل‌سازی ارائه نتایجی است که بتواند تا حدودی واقعیت‌های موجود را نشان دهد، می‌توان گفت که در این مدل می‌توان سناریوهای موردنظر را در مدل بررسی و نتایج را تفسیر کرد.



شکل شماره (۹) نتایج شبیه‌سازی الگو پایه و مقادیر واقعی مصرف انرژی

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل شماره (۱۰) نتایج شبیه‌سازی الگو پایه و مقادیر واقعی انتشار دی‌اکسیدکربن

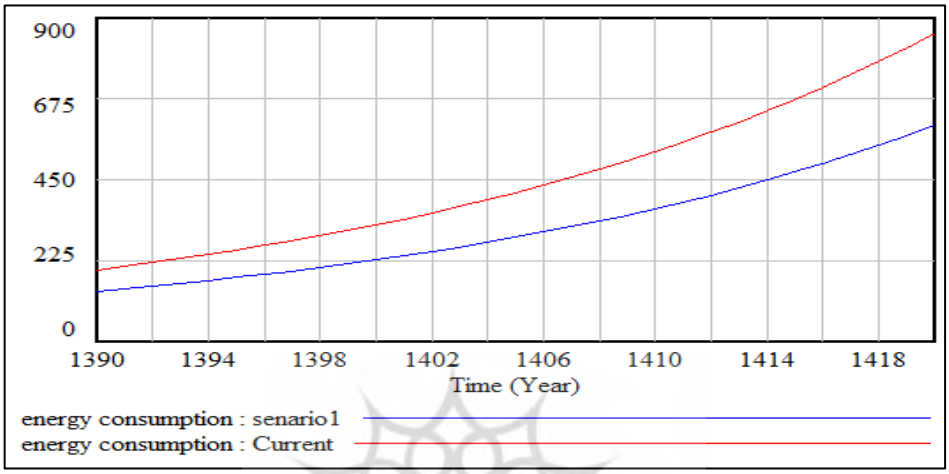
منبع: یافته‌های پژوهش

٤-۲. آینده‌پژوهی مصرف انرژی در ایران تحت سناریوهای تغییرات آب و هوایی

همان‌طور که در بخش مبانی نظری پژوهش بیان شد، انتشار بیش از حد دی‌اکسید کربن باعث تخریب محیط‌زیست و منجر به تغییر اقلیم می‌شود، و در نتیجه آن سیاست‌های مقابله با انتشار دی‌اکسید کربن اتخاذ خواهد شد؛ ضمن اینکه تغییر اقلیم می‌تواند ترکیب مصرف انرژی را نیز تحت تأثیر قرار دهد. از این‌رو در ادامه به بررسی این اثر تغییر دما به‌عنوان یکی از شاخص‌های نشان‌دهنده تغییر اقلیم پرداخته شده و مصرف انرژی و همچنین انتظار دی‌اکسید کربن ناشی از آن پیش‌بینی می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی شده مصرف انرژی تحت سناریو افزایش ده درصدی دمای هوا در شکل شماره (۱۱) ارائه شده است. تحت این سناریو فرض شده افزایش دمای هوا به‌صورت خاص و تغییر اقلیم به‌صورت خاص باعث می‌شود که تکنولوژی استفاده شده مصرف انرژی را ۱۰ درصد کاهش دهد؛ همان‌طور که در شکل نیز مشخص

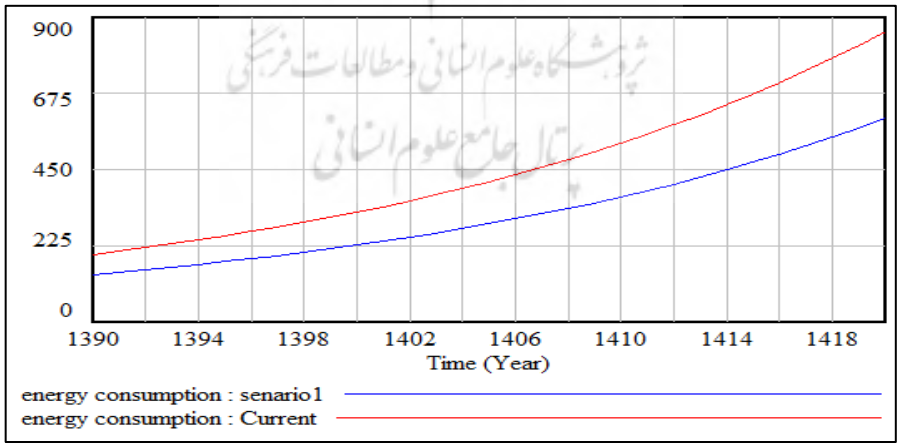
است، اعمال این سیاست باعث کاهش مصرف انرژی خواهد شد؛ از این‌رو به نظر می‌رسد که یکی از سیاست‌هایی که می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی در ایران شود، استفاده از تکنولوژی‌های صرفه‌جویانه در مصرف انرژی است.



شکل شماره (۱۱) نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی با افزایش دما

منبع: یافته‌های پژوهش

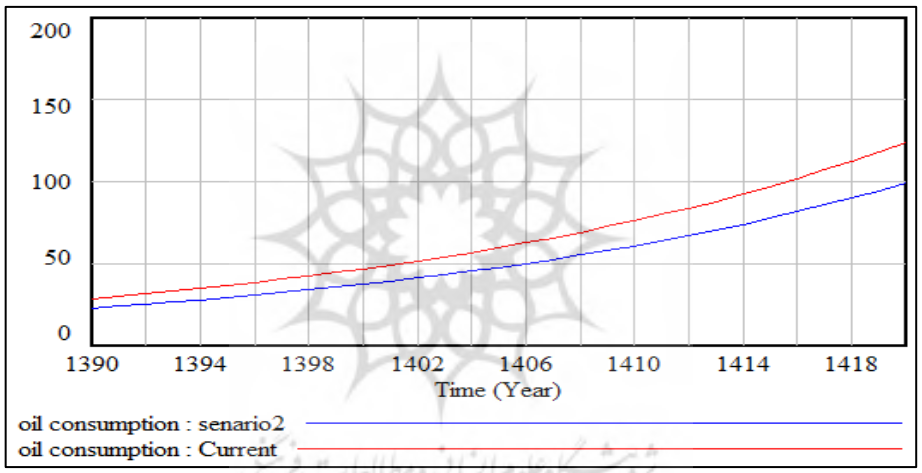
شکل شماره (۱۲) نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی تحت سناریو افزایش دما و به همراه آن استفاده از تکنولوژی‌های کاهش‌دهنده شدت انرژی را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱۲) نتایج شبیه‌سازی انتشار دی‌اکسید کربن با افزایش دما

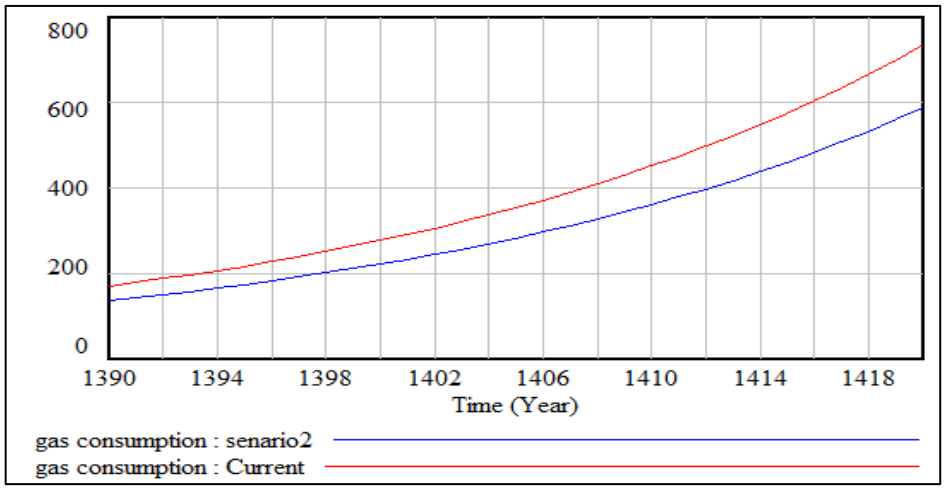
منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق با انتظار با کاهش مصرف انرژی انتشار دی‌اکسید کربن نیز با کاهش مواجه خواهد شد؛ از این‌رو به نظر می‌رسد افزایش دمای هوا و یا تغییر اقلیم باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت شده و این مورد به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های کاهش دهنده شدت انرژی ایجاد شده است. با توجه به آنچه بیان شد، می‌توان گفت تغییر اقلیم اگر همراه با استفاده از تکنولوژی‌های کاهش دهنده مصرف انرژی باشد، باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه آن کاهش دی‌اکسید کربن خواهد شد؛ ولی در صورتی که این مورد اعمال نشود، یعنی افزایش دما به همراه تغییر تکنولوژی نباشد، تغییری در مصرف انرژی ایجاد نخواهد شد. به عبارت دیگر سناریو دوم این مطالعه افزایش ۱۰ درصدی دما در ایران می باشد. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که ترکیب مصرف انرژی متفاوت خواهد بود. شکل شماره (۱۳) میزان مصرف نفت تحت افزایش ۱۰ درصدی دما را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، به نظر می‌رسد که افزایش دما باعث کاهش مصرف نفت در ایران خواهد شد.



شکل شماره (۱۳) شبیه‌سازی مصرف نفت تحت سناریو دوم (میلیون تن معادل نفت خام)
منبع: یافته‌های پژوهش

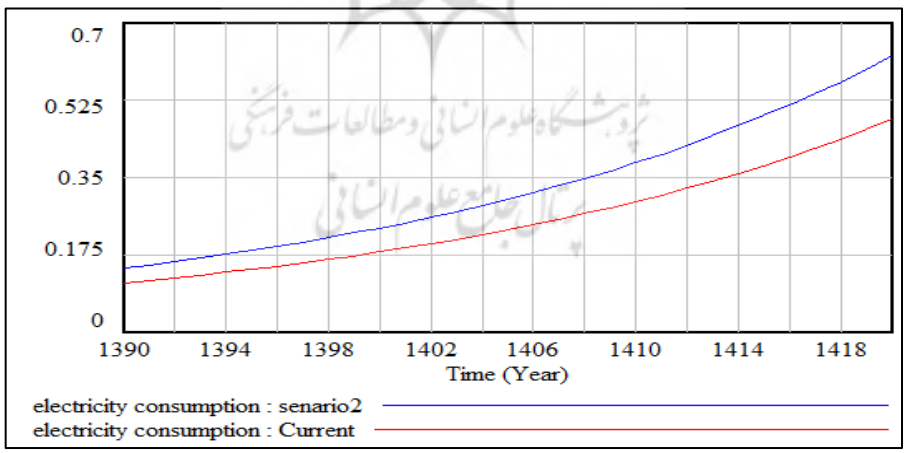
نتایج شبیه‌سازی مصرف گاز در افق ۱۴۲۰ برای ایران در شکل شماره (۱۴) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، افزایش متوسط دمای ایران باعث کاهش مصرف گاز طبیعی در ایران شده و همانند با نفت مصرف این انرژی را کاهش می‌دهد.



شکل شماره (۱۴) شبیه‌سازی مصرف گاز تحت سناریو دوم (میلیون تن معادل نفت خام)

منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج شبیه‌سازی شده مصرف برق در ایران در افق ۱۴۲۰ در شکل شماره (۱۵) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل نیز مشخص است، افزایش دما باعث افزایش مصرف برق در ایران شده و به نظر می‌رسد که این پدیده مصرف برق ایران را با افزایش مواجه کرده و یکی از مشکلاتی که افزایش دما برای ایران به وجود خواهد آورد، افزایش تقاضا برای برق در ایران خواهد بود.



شکل شماره (۱۵) شبیه‌سازی مصرف برق تحت سناریو دوم (میلیون تن معادل نفت خام)

منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی در ایران نشان داد که با ادامه روند کنونی و با در نظر گرفتن مقادیر پایه، مصرف انرژی در ایران افزایشی بوده و تا سال ۱۴۲۰ به حدود ۸۰۰ میلیون تن معادل نفت خام در سال خواهد رسید. مقایسه نتایج با آمارهای BP برای مصرف انرژی ایران نشان می‌دهد که مدل طراحی شده توانسته است که تا حدودی آمارهای واقعی را پیش‌بینی کند. از طرف دیگر نتایج نشان داد که افزایش دمای هوا و یا تغییر اقلیم باعث کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت شده و این مورد به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های کاهش دهنده شدت انرژی ایجاد شده است. با توجه به آنچه بیان شد، می‌توان گفت تغییر اقلیم اگر همراه با استفاده از تکنولوژی‌های کاهش دهنده مصرف انرژی باشد، باعث کاهش مصرف انرژی و در نتیجه آن کاهش دی‌اکسید کربن خواهد شد ولی در صورتی که این مورد اعمال نشود، یعنی افزایش دما به همراه تغییر تکنولوژی نباشد، تغییری در مصرف انرژی ایجاد نخواهد شد. همچنین نتایج شبیه‌سازی مصرف گاز در افق ۱۴۲۰ برای ایران نشان داد که افزایش متوسط دمای ایران باعث کاهش مصرف گاز طبیعی در ایران شده و همانند با نفت مصرف این انرژی کاهش یافته و افزایش دما باعث افزایش مصرف برق در ایران خواهد شد. نکته قابل توجه اینکه تولید برق ایران از نیروگاه‌ها عمدتاً بر اساس گاز است که افزایش مصرف برق، نیاز نیروگاه‌ها به گاز را افزایش خواهد داد. این نکته در حالی است که ایران با پیش‌بینی تراز منفی گاز روبرو بوده و افزایش مصرف برق می‌تواند از نظر تأمین گاز ایران را با مشکلاتی مواجه کند. از این‌رو به سیاست‌گذاران اقتصادی و امنیتی توصیه می‌شود، افزایش مصرف برق را مهم تلقی کرده و از طریق سیاست‌هایی همچون واردات برق، افزایش تولید گاز از طریق سرمایه‌گذاری در میدان‌ها گازی، گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، اصلاحات قیمت انرژی و همچنین واردات گاز، اقدامات لازم را در این زمینه اعمال نمایند. زیرا بحث گاز و برق با توجه به اهمیت اقتصادی، سیاسی و امنیتی آن می‌تواند چالش‌های زیادی را برای ج. ا. ایران ایجاد کند.

ضمنا می‌توان گفت مهمترین محدودیت این مطالعه دستیابی به اطلاعات کشورهای منطقه و همچنین پیش‌بینی مصرف انرژی در جهان بوده که باعث شد روند این مطالعه با مشکلاتی مواجه شود. با توجه به این محدودیت، بررسی مواردی همچون بررسی نقش سیاسی و امنیتی کشورهای منطقه و چگونگی حضور ایران در بخش انرژی این کشورها، بررسی آثار امنیتی حضور ایران در بخش انرژی کشورهای منطقه، اولویت‌بندی سیاست‌های ایران در بخش انرژی با توجه به چالش‌های آینده انرژی در جهان و منطقه، امکان‌سنجی حضور ایران در کشورهای عراق و پاکستان با تحلیل و اقتصادی کردن منافع سیاسی و امنیتی آن و ارائه سیاست‌های و اولویت‌بندی سیاست‌های اتخاذی توسط جمهوری اسلامی ایران با توجه به آینده انرژی در جهان، می‌تواند از جمله مطالعات آتی در زمینه این تحقیق باشد.

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- اسدی‌کیا، هیوا؛ اویارحسین، رضا؛ صالح، ا. رفیعی، حامد و زارع، سمانه (۱۳۸۸). رابطه رشد اقتصادی و آلودگی هوا در ایران با نگاهی بر تأثیر برنامه‌های توسعه. *مجله محیط‌شناسی*، دوره ۳۵، شماره ۵۵، ص ۹۳-۱۰۰.
- استادی‌جعفری، مهدی و رصافی، امیرعباس (۱۳۹۲). ارزیابی سیاست‌های توسعه پایدار در بخش حمل و نقل شهری با استفاده از الگوهای سیستم پویایی؛ مطالعه موردی: شهر مشهد، *مدیریت شهری*، دوره ۱۱، شماره ۳۱، ص ۲۸۱-۲۹۴.
- امام‌وردی، قدرت الله؛ کریمی، مجتبی؛ هاشم‌زاده اخباری، مونا و شاه‌کرم اوغلی، معصومه (۱۳۹۱). *پیش-بینی مصرف انرژی در ایران با استفاده از رهیافت سیستم دینامیکی و اقتصادسنجی*، اولین همایش بین‌المللی اقتصاد سنجی، روش‌ها و کاربردها.
- بهبودی، داوود؛ اصلانی نیا، میهن و سجودی، سکینه (۱۳۸۹). تجزیه شدت انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در اقتصاد ایران، *فصل‌نامه اقتصاد انرژی*، دوره ۷، شماره ۲۶، ص ۱۰۵-۱۳۰.
- پورمعصومی، سعید؛ شتاب بوشهری، نادر؛ ارباب شیرانی، بهروز و مشایخی، علینقی (۱۳۸۹). یک الگو دینامیک سیستم برای تجزیه و تحلیل سیستم اقتصاد-انرژی ایران، *مهندسی صنایع و مدیریت شریف*، دوره ۱، شماره ۲، ص ۷۱-۸۷.
- خلیلی عراقی، منصور؛ شرزه‌ای، غلامعلی و برخورداری، سجاد (۱۳۹۱). تحلیل تجزیه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در ایران، *محیط‌شناسی*، دوره ۳۸، شماره ۶۱، ص ۹۳-۱۰۴.
- رجائیان، محمدمهدی (۱۳۸۸). *شبیه‌سازی سیستم‌های پویا با نرم‌افزار ونسیم*، چاپ اول، مرکز نشر فرازیار، مشهد.
- سیف، اله مراد (۱۳۸۷). شدت انرژی: عوامل تاثیرگذار و تخمین یک تابع پیشنهادی، *فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره ۵، شماره ۱۸، ص ۱۷۷-۲۰۱.
- صمدی، علی حسین (۱۳۸۷). ارزیابی میزان مشارکت بخش کشاورزی در فرایند رشد اقتصادی ایران و دیگر کشورهای عضو اوپک، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، دوره ۷، شماره ۲۶، ص ۱۶۹-۱۹۸.
- صمدی، علی حسین. مصلح شیرازی، علینقی و روحی، آناهیتا (۱۳۹۱). طراحی یک الگو دینامیک برای صنعت گردشگری در ایران با استفاده از رویکرد پویاشناسی سیستم برای افق ۱۴۰۴، *فصلنامه الگوسازی اقتصادی*، دوره ۶، شماره ۱۷، ص ۶۵-۸۹.
- فطرس، محمدحسن (۱۳۸۵). *مباحثی از اقتصاد محیط‌زیست (مجموعه مقالات)*، همدان، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- فطرس، محمدحسن و معبودی، رضا (۱۳۸۹). رابطه علی مصرف انرژی، جمعیت شهرنشین و آلودگی محیط‌زیست در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۷، شماره ۲۷، ص ۱-۱۷.

- فقیه، نظام الدین؛ رعنایی کرد شولی، حبیب الله؛ محمدی، علی؛ صمدی، علی حسین؛ موسوی حقیقی، محمدهاشم و غفورنیان، محمد (۱۳۹۲). ارزیابی زنجیره تأمین خدمات ارتباطات ثابت ایران با رویکرد پویایی های سیستم، *چشم‌انداز مدیریت صنعتی*، دوره ۲، شماره ۱۱، ۱۱۱-۱۳۷.
- منظور، داوود و رضایی، حسین (۱۳۹۱). بررسی اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها بر میزان ظرفیت-سازی و تولید برق در کشور: رویکرد پویایی سیستمی، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، دوره ۲۰، شماره ۶۴، ص ۲۵-۴۶.
- موسوی حقیقی، محمدهاشم و رجبی، احمد (۱۳۹۲). الگوسازی تأثیر تغییرات شدت انرژی در بخش صنعت بر شاخص‌های اقتصادی و زیست‌محیطی با روش پویایی‌شناسی سیستمی، *فصلنامه تحقیقات الگوسازی اقتصادی*، دوره ۲، شماره ۱۲، ص ۱۰۳-۱۳۴.

منابع لاتین

- Chi, K.C., Nuttall, W.J., & Reiner, D.M. (2009). Dynamic of the UK Natural Gas Industry: System Dynamic Modeling and Long-Term Energy Policy Analysis, *Technological Forecasting & Social Change*, 76. 339-357.
- Feng, Y.Y., Chen, S.Q., & Zhang, L.X. (2013). System Dynamics Modeling for Urban Energy Consumption and CO2 Emissions: A case Study of Beijing, China, *Ecological modeling*, 252. 44-52.
- Guo, H.C., Liu, L., Huang, G.H., Fuller, G.A., Zou, R., & Yin, Y.Y. (2001). A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for Lake Erhai Basin, *Journal of Environmental Management*, 61. 93–111.
- Hidayatno, Akhmad., Rahman, Irvanu., & Muliadi, Ricki. (2012). *A System Dynamics Sustainability Model to Visualize the Interaction Between Economic, Social and Environment Aspects of Jakarta's Urban Development*, International Seminar on Science and Technology Innovation, University of Al Azhar Indonesia, October 2-4.
- Kunsch, P., & Springael, P. (2008). Simulation with System Dynamics and Fuzzy Reasoning of a Tax Policy to Reduce CO2 Emissions in the Residential Sector. *European Journal of Operational Research*, 185. 1285–1299.
- Liu, G.Y., Yang, Z.F., Chen, B., & Zhang, L.X. (2011). Emergy-based multiple spatial scale analysis framework combining

resources and emissions impact for urban ecological economic evaluation, *Entropy*, 13. 720–743.

- Liu, G.Y.; Yang, Z.F.; & Chen, B. (2012). Emergy-based Urban Dynamic Modeling of Long-Run Resource Consumption, Economic Growth and Environmental Impact: Conceptual Considerations and Calibration, *Procedia Environmental Sciences*, 13. 1179-1188.
- Naill, R. (1992). A system dynamics model for national energy policy planning, *System Dynamics Review*, 8. 1–19.
- Shengjuan, Han., & Zhu Jingping. (2011). Research on the Dynamic Relationship of the Energy-Economy-Environment (3E) System-Based on an Empirical Analysis of China, *Energy Procedia*, 5, 2397-2404.
- Tao, Z., & Li, M. (2007). System Dynamics Model of Hubbert Peak for China's oil, *Energy Policy*, 35, 2281-2286.
- Vafa-Arani, H., Jahani, S., Dashti, H., Heydari, J., & Moazen, S. (2014). A system Dynamic Modeling for Urban Air Pollution: A Case Study of Tehran, Iran, *Transportation Research*, 31, 21-36.
- Zhao, W., Ren, H., & Rotter, V.S. (2011). A System dynamics Model for Evaluating the Alternative of Type in Construction and Demolition Waste Recycling Center—The Case of Chongqing, China. Resources. *Conservation and Recycling*, 55, 933–944.
- Zhan, S.F., Zhang, X.C., Ma, C., & Chen, W.P. (2012). Dynamic Modeling for Ecological and Economic Sustainability in a Rapid Urbanizing Region, 2012, *Environmental*, 13. 242-251.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Journal of Defense Economics
Defense Economics Scientific Association of Iran
Volume 6, Issue 21, Autumn 2021, Pages 89-113

The future study of energy consumption affected by climate change in Iran and its economic and security consequences for the Islamic Republic of Iran

Ali Taherifard Hanjani[1]
Seyyed Mohammad Mirhashmi Dehnavi[2]*

Abstract
Many researchers believe that climate change is affected by human activities and consumption of different types of energy; so the effect of energy consumption on climate change interpret as greenhouse effect; But the effect of climate change on energy consumption in general and on the composition of energy consumption has recently been considered in many studies. The purpose of this paper is future study of energy consumption with respect to climate change in Iran. In this study, in order to achieve the goals, in this paper, system dynamic modeling and also experts analysis in the form of Delphi technique were used. The results of system dynamics simulation in Iran showed that the simulation results of the system dynamics model could simulate the values of the variables of this model and on the other hand with the change of oil and gas consumption in the future in Iran will decrease and electricity consumption will increase. Therefore, policymakers must to think about electricity supply in the future through the import or production of electricity to avoid security challenges.
Key words: future study, energy consumption, climate change, system dynamics, Delphi technique.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Ph.D. in Economics, Faculty of Administrative and Economic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad. Razavi Khorasan, Iran. (taheri.ali1983@gmail.com)
[2] Ph.D. in Economics, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Fars, Iran. Corresponding Author. (Mohamadmirhashemi.88@gmail.com)