پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال هشتم، شماره ۳۲، پاییز ۱۳۹۸ صفحات ۱۷۶-۱۳۷
نوع مقاله: پژوهشی

اثر قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران[۱]

تیمور محمدی[۲]
حمید آماده[۳]
عاطفه تکلیف[۴]
خلیل قدیمی دیزج[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۷

چکیده:

روند صعودی مصرف گاز طبیعی در اثر توسعه گازرسانی طی سال‌های اخیر، ضرورت مطالعه تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی را بیش از پیش محسوس می‌نماید. هدف از این پژوهش، بررسی اثر آزادسازی قیمت گاز طبیعی در چارچوب اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی در ایران است. برای سنجش تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی، در مرحله نخست، بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف با استفاده از روش روزن اشتاین، بر اساس مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی طی دوره ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد با به کارگیری روش هم‌انباشتگی یوهانسن - یوسلیوس و مدل تصحیح خطای برداری (VECM) روابط بین قیمت گاز طبیعی با تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد. براساس نتایج مدل، هرچند قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی اثر مثبت داشته است، لیکن بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، منجر به کاهش آن شده است. که این امر می‌تواند ناشی از کاهش قیمت واقعی گاز طبیعی در اثر تورم و افزایش شدید نرخ ارز در سال‌های بعد از اجرایی شدن قانون هدفمندی یارانه‌ها باشد.

طبقه‌بندی JEL: Q41 , Q48

کلیدواژه‌ها: قیمت گاز طبیعی، نمای لیاپانوف، تاب‌آوری سیستم گاز طبیعی، مدل تصحیح خطای برداری، مصرف گاز طبیعی

---

۱. این مقاله مستخرج از رساله دکتری با عنوان «اثر آزادسازی قیمت گازطبیعی بر تاب‌آوری سیستم عرضه گاز برای مصرف خانگی ایران» می‌باشد که با حمایت «شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران» انجام شده است.

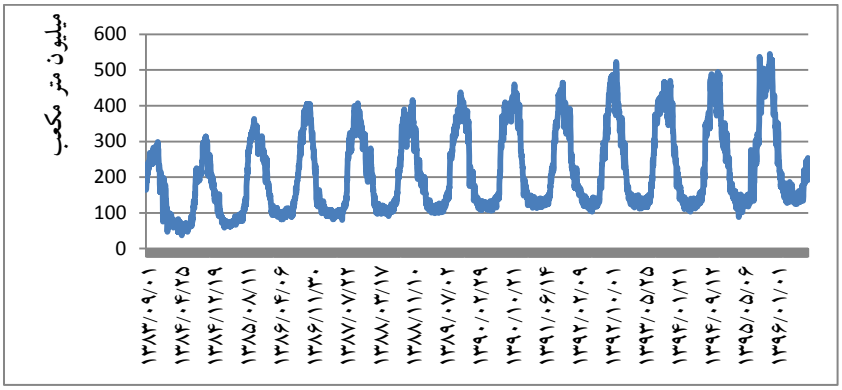
۲. دانشیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی استاد راهنما (atmahmadi@gmail.com)
۳. استادیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی استاد راهنما (amadeh@gmail.com)
۴. استادیار اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی استاد مشاور (a_taklif@yahoo.com)
۵. دکتری اقتصاد نفت وگاز، گرایش بازارها و مالیه، دانشگاه علامه طباطبایی (khghadimi7@gmail.com)

۱. مقدمه

افزایش چشمگیر سهم گاز طبیعی در سبد انرژی طی سال‌های اخیر و روند صعودی آن در بخش‌های مختلف مصرف از جمله بخش صنعتی، تجاری، خانگی و نیروگاهی از یکسو و پایان‌پذیر بودن ذخایر گازی از سوی دیگر، ضرورت مصرف بهینه گاز را در تمام بخش‌های مصرف‌کننده بیش از پیش محسوس می‌نماید. در این میان، اعمال سیاست‌های قیمتی مناسب در جهت واقعی نمودن قیمت گاز طبیعی از جمله اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها می‌تواند در راستای بهینه نمودن مصرف گاز طبیعی در بخش‌های مختلف مصرف به ویژه بخش خانگی در ماه‌های سرد سال مؤثر باشد.

اتفاقات و حوادث پیش‌بینی‌نشده همواره حیات بشری را تحت‌الشعاع قرار داده‌اند، لیکن بازگشت به مسیر و احیاء و بازپروری خود، فرایندی است که سرعت و کیفیت آن از فردی به فردی دیگر و از جامعه‌ای به جامعه‌ای دیگر متفاوت است. اقتصاددانان با معرفی مفهوم تاب‌آوری و به دنبال آن شاخص تاب‌آوری اقتصادی، به دنبال توضیح و توصیف تفاوت مذکور هستند. آنها معتقدند آسیب‌پذیری و سرعت بازگشت و احیای جوامع بشری را می‌توانند با شاخص تاب‌آوری اقتصادی توضیح دهند.

یکی از اتفاقات مهم مربوط به نوسانات دما به ویژه در ماه‌های سرد سال است که منجر به افزایش چشمگیر سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی (۸۵ درصد تولید روزانه) می‌گردد، به طوری که به دنبال آن، قطعی گاز صنایع عمده و نیروگاه‌ها و حتی کاهش گاز صادراتی رخ می‌دهد. تا جایی که تداوم مصرف بالای گاز طبیعی در بخش خانگی در اثر سرمای شدید، می‌تواند منجر به قطعی گاز خانوارها در برخی مناطق کشور شده و مشکلات اقتصادی - اجتماعی گوناگونی را به وجود آورد.

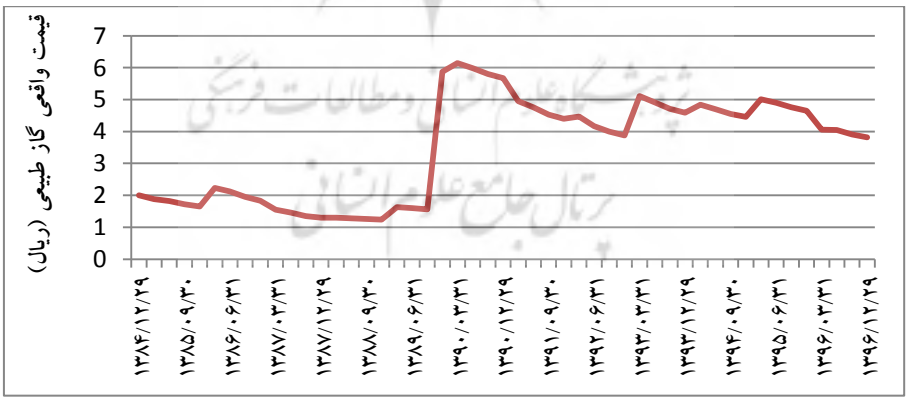


نمودار (۱): مصرف روزانه گاز طبیعی در بخش خانگی (میلیون متر مکعب)

منبع: گزارش آماری مدیریت گازرسانی شرکت ملی گاز ایران

بر اساس اطلاعات موجود، همان‌گونه که در نمودار (۱) ملاحظه می‌گردد، در طول روزهای مختلف سال، مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی، دارای نوسان شدیدی است، به طوری که مصرف گاز خانگی در روزهای سرد سال حدود ۵ برابر مصرف در روزهای گرم سال می‌باشد.

بر اساس قانون هدفمندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹، قیمت گاز طبیعی افزایش چشمگیری داشت و بعد از این سال انتظار می‌رفت تا حدی از مصارف خارج از الگوی مصرف در مناطق مختلف جغرافیایی به ویژه در ماه‌های سرد سال کم گردد.



نمودار (۲): قیمت واقعی گاز طبیعی در بخش خانگی (واحد: ریال به ازای هر مترمکعب)

منبع: ۱) گزارش آماری مدیریت گازرسانی شرکت ملی گاز ایران، ۲) محاسبات محقق

به طوری که در نمودار (۲) ملاحظه می‌گردد، قیمت واقعی گاز طبیعی در سال ۱۳۸۴ به ازای هر مترمکعب ۲ ریال و متوسط آن قبل از اجرای هدفمندی یارانه‌ها ۱/۶ ریال بوده است. با اجرایی شدن قانون هدفمندی یارانه‌ها در ۲۸ آذر ماه سال ۱۳۸۹ قیمت گاز طبیعی ۵/۹ ریال شده است. این در حالی است‌که در سال‌های بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها به دلیل وجود تورم در اقتصاد ایران، میزان قیمت واقعی گاز طبیعی روند نزولی داشته است، به طوری که در سال ۱۳۹۶ قیمت واقعی گاز طبیعی در بخش خانگی به ۳/۸ ریال رسیده است.

بنابراین هدف در این پژوهش، بررسی اثر قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی (سیستم توزیع گاز طبیعی) در ایران است. لازم به توضیح است که سیستم توزیع گاز طبیعی، به معنای عرضه (تأمین) گاز طبیعی پایدار و به عبارتی گازرسانی مستمر و مطمئن است. به طوری که در این پژوهش، از طریق محاسبه نمای لیاپانوف، مبتنی بر مصارف روزانه گاز طبیعی در بخش خانگی، از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ به صورت فصلی، به عنوان شاخصی جهت سنجش تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی برای مصارف خانگی ایران استفاده می‌گردد. سپس با استفاده از مدل هم‌انباشتگی و تصحیح خطای برداری به بررسی اثر قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی پرداخته می‌شود. چرا که انتظار می‌رود با واقعی شدن قیمت گاز طبیعی، میزان مصرف آن کاهش یافته و به تبع آن، تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی افزایش یابد. لازم به یادآوری است که قیمت واقعی گاز طبیعی از تقسیم قیمت اسمی گاز طبیعی بر شاخص بهای کالاها و خدمات مصرفی براساس سال پایه ۱۳۹۰ (زیرشاخه گروه اصلی مسکن، آب، برق،گاز و سایرسوخت‌ها) محاسبه شده است که در مدل نیز از قیمت واقعی استفاده شده است.

به منظور دستیابی به هدف پژوهش ابتدا مبانی نظری مطرح شده و در بخش سوم به مرور مطالعات تجربی خارجی و داخلی پرداخته شده است. بخش چهارم و پنجم به ارائه مدل و بررسی یافته‌های پژوهش اختصاص یافته و در بخش ششم نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲. مبانی نظری

به باور اقتصاددانان، اقتصادهایی که به دنبال حوادث پیش‌بینی نشده (ناگوار) کمتر آسیب می‌بینند و یا سریع‌تر به شرایط باثبات باز می‌گردند، تاب‌آوری اقتصادی بالاتری دارند.[۱]

مفهوم تاب‌آوری به طور عمده بر این فرضیه که حالات مختلف سیستم شامل نقاط تعادل گوناگون است، بنا شده است. به عبارت دیگر، فرض می‌شود که تکامل سیستم‌ها (اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره) با جابه‌جایی این سیستم‌ها از یک حالت تعادل (یا دامنه پایداری) به حالت تعادل دیگر انجام می‌شود.[۲]

اخیراً نویسندگان بسیاری اذعان کرده‌اند که مفهوم تاب‌آوری نه‌تنها در سیستم‌های زیست‌محیطی بلکه به طور کاملاً مؤثری می‌تواند در توضیح، تشریح و مطالعه سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی به کار رود، زیرا اصول حاکم بر کلیه این سیستم‌ها یکسان است.[۳]

جدول (۱): تعاریف تاب‌آوری

نویسنده	تعریف
هولینگ، ۱۹۷۳	معیاری از توانایی سیستم برای جذب تغییرات، در حالی که هنوز مقاومت پیشین را دارد.
پیم، ۱۹۸۴	موفقیت یک سیستم در بازگشت به حالت اولیه.
الونگ و همکاران[۴]، ۲۰۰۱	خصیصه‌ای که امکان تحمل کردن، استفاده و حتی منفعت از تغییر را به سیستم می‌دهد.
کاردونا[۵]، ۲۰۰۴	ظرفیت جامعه یا اکوسیستم آسیب‌دیده در جذب پیامدهای منفی و جبران (بازیابی) این پیامدها.

منبع: وایت و همکاران[۶]

در ادبیات تاب‌آوری، به سطوح سه‌گانه‌ای از تاب‌آوری اشاره شده است، تاب‌آوری فرد، اجتماع[۷] و ملی. در برخی مطالعات، دو سطح آخر به عنوان تاب‌آوری اجتماعی[۸] در نظر گرفته شده‌اند.[۹] برخی از پژوهش‌ها نیز تاب‌آوری را دارای سطوح چندگانه‌ای مثل

---

۱. آماده و همکاران (۱۳۹۵)

2. Reggiani et al. (2002)
3. Reggiani et al. (2002)
4. Alwang et al.
5. Cardona
6. White et al. (2015)
7. Community
8. Social resilience
9. Kimhi (2016)

فردی، اجتماعی، نهادی، ملی، منطقه‌ای و جهانی دانسته‌اند. پژوهش دیگری تاب‌آوری را با سطوح و اجزای متفاوت‌تری بررسی کرده است. این پژوهش تاب‌آوری ملی را دارای زیر سیستم‌های زیر می‌داند،

۱. زیر سیستم اقتصادی: مشتمل بر جنبه‌هایی از قبیل محیط اقتصاد کلان، بازار کالا و خدمات، بازار مالی، بازار کار، پایدارپذیری و بهره‌وری و مانند آن‌ها.

۲. زیر سیستم زیست‌محیطی: مشتمل بر جنبه‌هایی مانند منابع طبیعی، شهرسازی و سیستم زیست‌بوم‌شناختی.

۳. زیر سیستم حکمرانی: مشتمل بر جنبه‌هایی همچون نهادها، دولت، رهبری، سیاست‌ها و قوانین.

۴. زیر سیستم زیرساخت‌ها: مشتمل بر جنبه‌هایی همچون زیرساخت‌های حساس (مخابرات، انرژی، سلامت، حمل و نقل و آب).

۵. زیر سیستم اجتماعی: مشتمل بر جنبه‌هایی همچون سرمایهٔ انسانی، سلامت، اجتماع و افراد.[۱]

برای پایداری و تاب‌آوری، در مطالعات مختلف به یکی از سه حالت توجه شده است. ۱) تاب‌آوری به عنوان یکی از مؤلفه‌های پایداری، ۲) پایداری به عنوان مؤلفه‌ای از تاب‌آوری و ۳) پایداری و تاب‌آوری به صورت جداگانه بحث شده است.[۲]

پترسون[۳] تعریف دیگری از تاب‌آوری ارائه می‌دهد:

الف) تاب‌آوری مهندسی: عبارتست از نرخ بازگشت سیستم به حالت یگانه پایدار یا حالت سیکلی پایدار، بعد از یک اختلال[۴] (هولینگ، ۱۹۸۶) که این تفسیر کاملاً بر اساس نظر پیم می‌باشد.[۵]

ب) تاب‌آوری زیست‌محیطی: میزان اختلالی که سیستم قبل از تغییر ساختار، به علت تغییر در متغیرها و روندی که رفتار را کنترل می‌نماید، می‌تواند جذب کند.[۶]

---

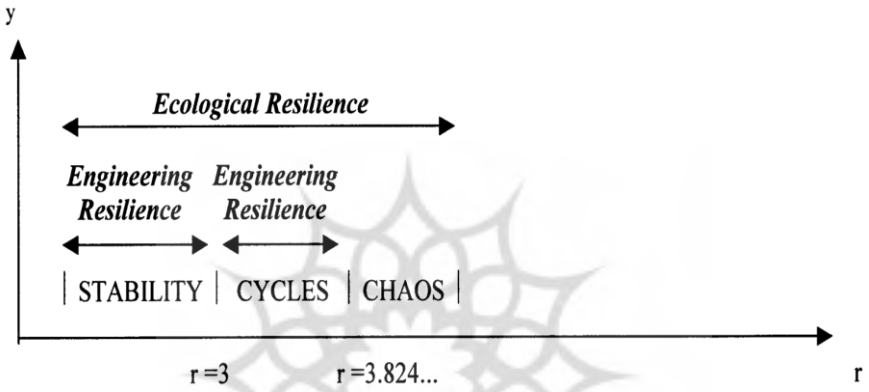
۱. غیاثوند و همکاران (۱۳۹۳)

2. Marchese et al.
3. Peterson et al. (1998)
4. Holling (1992)
5. Peterson et al. (1998)
6. Peterson et al. (1998)

به عنوان مثال، معادله شناخته‌شده لجستیک ورهولست[1] در فضای گسسته را مورد توجه قرار دهیم:

$$y(t+1) = ry(t)(1-y(t)) \qquad (1)$$

با تحلیل فازی - فضایی مربوطه، (y نسبت به r) کاملاً واضح است که برای مقادیر $3<r<3.824$ معادله لجستیک قبل از رسیدن به زمان شوک در $r=3.824$ شروع به نوسان می‌کند.[2]



نمودار (۳): تاب‌آوری زیست‌محیطی و مهندسی برای معادله لجستیک

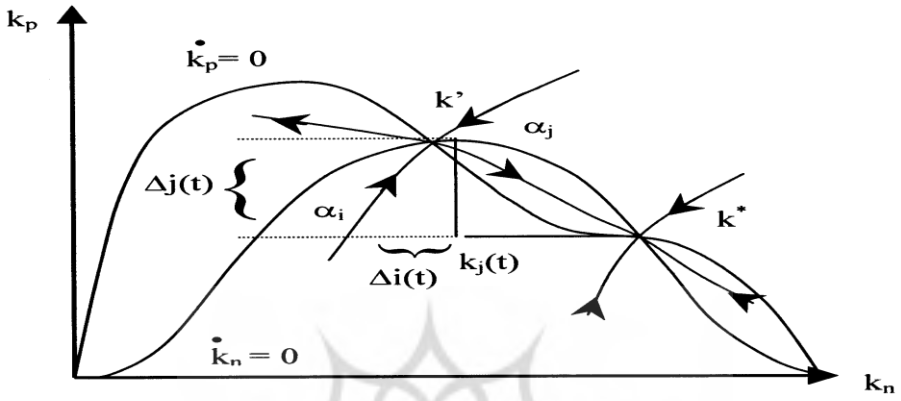
منبع: رجیانی و همکاران (۲۰۰۲)

تاب‌آوری مهندسی که در نمودار (۳) ملاحظه می‌گردد، را می‌توان با دوره پایداری و دوره نوسانات برای تابع لجستیک، مورد تجزیه و تحلیل قرار داد، علاوه بر این، برای سیستم‌های زیست‌محیطی، می‌توان در دوره زمانی آشوب، خواص سیستم برای پافشاری، یعنی ظرفیت آن برای جذب امواج سهمگین نوسانات را منعکس نمود.

به عبارت دقیق‌تر در نمودار (۴) $k_p(t)$ و $k_n(t)$ متغیرهای حالت هستند در حالی که K^* نشانگر نقطه تعادل است که توسط یک مخروط جاذب با مختصات α_i و α_j و ... احاطه شده است. از این شکل می‌توانیم بلافاصله یک عنصر جالب که معرف تفاوت تعاریف تاب‌آوری و تعریف معمول پایداری است را تشخیص دهیم و آن اینکه

1. Varhoulst
2. Reggiani et al. (2002)

اندازه‌گیری تاب‌آوری در همان سیستم، می‌تواند با تغییر جهت اختلال، تغییر یابد. بنابراین تاب‌آوری یک سیستم در بعضی نقاط در مخروط تعادل پایدار موضعی، k^* نسبت به تغییر در هریک از متغیرهای حالت آن سیستم، عبارتست از حداکثر اختلالی که آن متغیرها می‌توانند بدون آن‌که باعث شوند سیستم همسایگی α_i- را ترک کند، تحمل کند.[1]



نمودار (٤): اندازه‌گیری تاب‌آوری سیستم بر اساس نظر هولینگ

منبع: پرینگز

اندازه‌گیری تاب‌آوری سیستم در جهت i یا j برابراست با $\alpha_i - k_i(t)$ و $\alpha_j - k_j(t)$

این بدین معنی است که:

الف) نقطه‌ای از سیستم که در نزدیکی مرز مخروط جاذب قرار دارد، از نقطه‌ای که در نزدیکی نقطه تعادل است، تاب‌آوری کمتری دارد.

ب) تاب‌آوری برای جهت‌های مختلف اختلال، متفاوت است.

ج) اگر سیستم در اثر مقداری اختلال، تاب‌آوری خود را از دست بدهد (یعنی $\alpha_i - k_i(t)$ منفی باشد) درنتیجه سیستم از یک مخروط جاذب به مخروط جاذب دیگر از مجرای α_i جابه‌جا خواهد شد (یعنی K' در نمودار شماره ۲-۳).

روشن است که از نقطه نظر تجربی، در به کارگیری روش هولینگ برای اندازه‌گیری تاب‌آوری، مشکلاتی ظاهر می‌گردد. به طور مثال، اینکه چگونه می‌توان اندازه مخروط

1. Perrings (1998)

جاذب را اندازه‌گیری کرد؟ پرینگز برای این کار، نمای لیاپانوف[1] را مطرح کرده است. درواقع با محاسبه نمای لیاپانوف می‌توان تاب‌آوری سیستم را اندازه‌گیری کرد.[2]

لوین و همکاران[3] در پژوهشی نشان داد، سیستم‌های اقتصادی ـ اجتماعی و چند بعدی (فضایی) باید به اندازه کافی در برابر چالش‌ها و تغییر ات ناگهانی، مجهز باشند، در حالی که معمولاً تشخیص سیگنال‌های[4] قوی، برای فهمیدن به موقع تغییرات، تحرک‌ها و انجام راه‌حل‌های مؤثر، مشکل خواهد بود. در برخورد با چنین مسائلی، به یک سیستم واکنشی که انعطاف‌پذیر و سازگار باشد، نیاز است. در سیستم‌های زیست‌محیطی و اقتصادی – اجتماعی به طور مشابه، فعالیت‌های بشر می‌تواند منجر به جابه‌جایی کیفی ساختار و عملکرد شود. واضح است که سیستم در معرض از دست دادن تاب‌آوری است، یعنی، دیگر در برابر تنش‌ها و شوک‌های ناشی از فعالیت‌های بشر، ظرفیت جذب شوک و تنش را ندارد، به طوری که منجر به تغییرات اساسی و از دست دادن عملکرد و غالباً از دست دادن بهره‌وری می‌گردد. تاب‌آوری، توانایی تجربه تغییر و اختلالات بدون تغییرات کمّی فاجعه‌آمیز، در ساختار اساسی عملکرد سیستم و ابزاری برای اندازه‌گیری همبستگی سیستم می‌باشد.[5]

در کل لازم است که تحقیقات تئوریک (نظری) و روش‌شناختی بیشتری درباره تاب‌آوری و همچنین ترکیب آن با مفاهیم ذکر شده در بالا که در فضای اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرد، انجام شود. به طور تجربی، هنوز دانش ما در به کارگیری اندازه‌گیری تاب‌آوری در موارد عملی (واقعی)در علوم (شامل تمامی رشته‌ها و زمینه‌ها) جای کار زیادی دارد. در این زمینه امکان به کارگیری روش‌های اندازه‌گیری تاب‌آوری مهندسی در موارد تجربی، گام اول است.[6]

با توجه به مطالب مذکور، در این پژوهش تاب‌آوری زیرساخت سیستم گازرسانی ایران به عنوان مهم‌ترین زیرساخت انرژی (به دلیل دارا بودن بیشترین سهم در سبد انرزی

1. Lyapunov Exponent
2. Perrings (1998)
3. Levin et al. (1998
4. Signals
5. Levin et al. (1998)
6. Reggiani et al., (2002)

ایران) بر مبنای مفهوم تاب‌آوری مهندسی و با استفاده از نمای لیاپانوف مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است، مفهوم نمای لیاپانوف، قبل از ظهور نظریه آشوب، جهت مشخص نمودن پایداری سیستم‌های غیرخطی به کار می‌رفت.[۱]

تئوری آشفتگی یا آشوب[۲] برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط دانشمندی به نام ادوارد لورنز[۳] در هواشناسی به کار برده شده و آن را به یک علم تبدیل نموده و سپس در حیطه تمام علوم و مباحث تجربی، ریاضی، رفتاری، مدیریتی و اجتماعی وارد شده و اساس تغییرات بنیادی در علوم به ویژه، هواشناسی، نجوم، مکانیک، فیزیک، ریاضی، زیست‌شناسی، اقتصاد و مدیریت را فراهم آورده است.

در نظریه آشوب، سیستم‌های پیچیده صرفاً ظاهری پرآشوب دارند و درنتیجه، نامنظم و تصادفی به نظر می‌رسند، در حالی که درواقعیت تابع یک جریان معین با یک فرمول ریاضی مشخص هستند، از همین رو، موضوع آشوب در ریاضیات، معمولاً با عنوان آشوب معین، مطرح می‌شود، که بر پایه نظریه رشد غیر خطی با بازخورد[۴] شکل گرفته است.[۵] به عنوان نمونه، ارتباط میان مصرف انرژی و رشد اقتصادی از یک فرایند خطی تبعیت ننموده و تحت شرایط مختلف، تغییر جهت می‌دهد. بنابراین استفاده از مدل‌های غیر خطی، جهت تخمین رابطه مصرف انرژی و تولید ناخالص داخلی، می‌تواند نتایج دقیق و قابل اعتمادی ایجاد نماید.[۶]

هیلز[۷] آشوب یا بی‌نظمی را این‌گونه تعریف می‌کند، بی‌نظمی و آشوب، نوعی بی‌نظمی منظم یا نظم در بی‌نظمی است. بی‌نظم ازآن‌رو که نتایج آن غیر قابل پیش‌بینی است و منظم، بدان جهت که از نوعی قطعیت برخوردار است. بی‌نظمی در مفهوم علمی، یک مفهوم ریاضی محسوب می‌شود، شاید نتوان، خیلی دقیق، آن را تعریف کرد. اما می‌توان، آن را نوعی اتفاقی بودن، همراه با قطعیت دانست. قطعیت آن، به خاطر آن است

---

۱. معینی و همکاران (۱۳۸۵)

2.Chaos Theory
3. Edward Lorenz
4.Nonlinear Growth with Feedback

۵. مشیری (۱۳۸۱)

۶. هاتفی و همکاران (۱۳۹۷)

7. Hayles (1990)

که بی‌نظمی دلایل درونی دارد و به علت اختلالات خارجی رخ نمی‌دهد. اتفاقی بودن، به دلیل آنکه رفتار بی‌نظمی، بی‌قاعده و غیر قابل پیش‌بینی دقیق است.

آزمون‌های متفاوتی برای وجود آشوب در سری‌های زمانی وجود دارد که ازجمله این آزمون‌ها، بعد همبستگی و حداکثر نمای لیاپانوف است. یکی از مشخصه‌های سیستم‌های پویا «خاصیت حساسیت نسبت به شرایط اولیه» می‌باشد. مهم‌ترین وسیله برای تشخیص وجود حساسیت نسبت به شرایط اولیه در یک سیستم پویا، استفاده از نمای لیاپانوف است. میزان آشوبناکی سیستم و نرخ واگرایی مسیرهای همسایه در فضای فاز را نمای لیاپانوف، مشخص می‌کند. درواقع در این روش، میانگین نمایی واگرایی یا همگرایی نقاط نزدیک به هم اما نه با شرایط اولیه یکسان، اندازه‌گیری می‌شود، یعنی نمای لیاپانوف مثبت، میانگین نمایی واگرایی نقاط نزدیک به هم، اما نه با شرایط اولیه یکسان و نمای لیاپانوف منفی، میانگین نمایی همگرایی نقاط نزدیک به هم، اما نه با شرایط اولیه یکسان را اندازه‌گیری می‌کنند. بنابراین با توجه به ویژگی «حساسیت نسبت به شرایط اولیه»، نمای لیاپانوف مثبت می‌تواند، به عنوان تعریفی برای آشوب معین، سیستم بیان شود، که به طور خاص‌تر در تعریف حداکثر نمای لیاپانوف مطرح می‌شود. همچنین این آزمون می‌تواند پایداری یک سیستم پویا را اندازه‌گیری کند.[1]

نظریه «پایداری» نقشی اساسی در نظریه و مهندسی سیستم‌ها، دارد معمولاً پایداری نقاط تعادل را از دید لیاپانوف بررسی می‌کنند. یک نقطه تعادل را پایدار می‌گوییم اگر همه پاسخ‌هایی که از نقاط نزدیک به آن آغاز می‌شود در همان نزدیکی باقی بماند، در غیر این صورت، آن نقطه تعادل ناپایدار است. این نقطه را پایدار مجانبی می‌گوییم، اگر تمامی پاسخ‌هایی که از نقاط نزدیک به آن آغاز شود، نه‌تنها در همان نزدیکی باقی بماند، بلکه با افزایش زمان، به سوی نقطه تعادل، سوق یابد.[2]

کشورهای مصرف‌کننده انرژی بعد از بحران نفتی ۱۹۷۳ مفهوم امنیت انرژی را محدود به «امنیت عرضه انرژی» تعریف و به ادبیات اقتصادی وارد کردند. به عنوان مثال،

1. Bask (1997)

۲. خلیل (۱۳۸۰)

بیلکی[1] «عرضه مطمئن و کافی انرژی با قیمت‌های معقول» را امنیت انرژی می‌داند. ثبات اقتصادی و امنیت ملی هر کشوری وابسته به کارکرد مؤثر و مقاوم بودن سیستم انرژی آن کشور و در یک کلام به امنیت انرژی، وابسته است. آنچه که در بحث انرژی اهمیت دارد، آن است که اگر یک تصویر جامع و کامل از سیستم انرژی داشته باشیم، بحث امنیت انرژی و مقاوم‌سازی سیستم انرژی را بهتر و کامل‌تر می‌توان دنبال نمود.[2]

تعریفی که توسط مرکز مطالعات انرژی انگلستان[3] برای سیستم انرژی یک کشور ارائه شده، عبارت است از: مجموعه‌ای از تکنولوژی‌ها، زیرساخت‌های فیزیکی، نهادها، سیاست‌ها و تکنیک‌هایی که در یک کشور وجود دارد و این امکان را فراهم می‌آورد که خدمات انرژی به مصرف‌کنندگان نهایی انرژی تحویل داده شود. «این تعریف همه ابعاد سیستم انرژی اعم از منابع انرژی، زیرساخت‌ها و تکنولوژی‌ها و نهایتاً سیاست‌ها و نهادهایی را پوشش می‌دهد که می‌تواند بر سیستم تأثیرگذار باشد». این تعریف، همچنین همه مراحلی را که در مسیر چرخه عرضه انرژی واقع شده است، مانند استخراج منابع تجدیدناپذیر، تولید، تبدیل انرژی، حمل و نقل، انتقال، ذخیره‌سازی، توزیع و مصرف نهایی را دربر می‌گیرد. با ترکیب مفاهیم سیستم انرژی و مقاوم‌سازی می‌توان مقاوم بودن سیستم انرژی را تعریف نمود. مرکز مطالعات انرژی انگلستان، مقاوم بودن سیستم انرژی را این‌گونه تعریف می‌کند: «ظرفیت یک سیستم برای تحمل اختلال و تداوم تحویل خدمات انرژی ارزان به مصرف‌کنندگان». به دلیل آنکه مقرر است سیستم انرژی در نهایت به مصرف‌کننده نهایی خدمت برساند، اگر در مقابل مخاطرات از خود مقاومت نشان دهد و عملکرد خود را حفظ کند، یک سیستم مقاوم خواهد بود. بنابراین سیستم مقاوم، قادر است بعد از وقوع شوک، به سرعت بهبود یابد و در وضعیت‌های مختلف، ابزارهای جایگزین را برای تأمین انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان فراهم نماید. به میزانی که این امکان برای سیستم وجود نداشته باشد، سیستم آسیب‌پذیر است و می‌تواند در مواجهه با مخاطرات، با اختلال مواجه شود.[4]

---

1. Bielecki, (2002)

۲. نوراحمدی و پادام (۱۳۹۵)

3. UK Energy Research Center

۴. نوراحمدی و پادام (۱۳۹۵)

تابع تقاضای گاز طبیعی را به صورت زیر می‌توان معرفی کرد:[1]

$$E = f(p,y,z) \qquad (۲)$$

E: مصرف انرژی

p: بردار قیمت نسبی

y: درآمد مصرف‌کننده

z: سایر متغیرها از جمله شرایط آب و هوایی، عوامل جمعیتی و غیره.

عرضه گاز طبیعی تابعی از میزان ذخایر اثبات‌شده گاز طبیعی، ظرفیت تولید، نوع استخراج، سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده، هزینه تولید، هزینه حمل و نقل، ظرفیت انتقال، هزینه حفظ محیط زیست، تعداد و سطح رقابت بین عرضه‌کنندگان شرایط اقتصادی و سیاسی در کشورهای عرضه‌کننده و سایر عوامل می‌باشد.[2] (ابونوری و غفوری، ۱۳۹۰).

مقاوم بودن سیستم گازرسانی و موازنه تولید و مصرف گاز طبیعی ازجمله عوامل اصلی در تاب‌آوری عرضه گاز طبیعی می‌باشد. به طوری که در صورت مازاد تولید بر مصرف گاز طبیعی، امکان تداوم پایدار گازرسانی (با فرض عدم هرگونه اخلال در سیستم گازرسانی) میسر خواهد بود. توان تولید و ظرفیت انتقال گاز طبیعی جهت عرضه پایدار گاز طبیعی از یک‌سو و میزان مصرف و تعداد مشترکین گاز طبیعی از سوی دیگر تاب‌آوری عرضه گاز طبیعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. لذا در این پژوهش، از تلفیق عوامل مؤثر بر عرضه و تقاضای گاز طبیعی ازجمله قیمت واقعی گاز طبیعی، طول خطوط سراسری انتقال گاز طبیعی، سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی از کل تولید و تعداد مشترکین گاز طبیعی به عنوان متغیرهای مستقل و نمای لیاپانوف به عنوان متغیر وابسته (شاخص تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی) جهت طراحی مدل برآوردی، به منظور بررسی اثر آزادسازی قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران استفاده شده است.

---

1. Olsen and Roland (1988)

۲. ابونوری و غفوری (۱۳۹۰)

۳. مطالعات تجربی

با توجه به اینکه در رابطه با اثر حذف یارانه انرژی (آزادسازی قیمت‌ها) بر متغیرهای اقتصادی ازجمله تقاضای خانوارها و تولید ناخالص داخلی و رفاه اجتماعی مطالعات متعددی مطرح شده است و همچنین در رابطه با تاب‌آوری اقتصادی و رشد اقتصادی نیز در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای انجام شده است، لیکن بررسی اثر آزادسازی قیمت گاز طبیعی به عنوان یک سیاست قیمتی به معنای واقعی شدن قیمت یکی ازاصلی‌ترین حامل‌های انرژی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی به عنوان تنها صنعت تأمین‌کننده گاز طبیعی در سراسر کشور ازجمله مطالعات نخستین محسوب می‌گردد. در این بخش از پژوهش، هم به برخی مطالعات مرتبط با تاب‌آوری و متغیرهای کلان اقتصادی و هم به برخی مطالعات پیرامون اثر حذف یارانه انرژی بر متغیرهای اقتصادی اشاره می‌گردد.

۱-۳. مطالعات انجام‌شده داخلی

۱-۱-۳. مطالعات انجام‌شده داخلی مرتبط با موضوع تاب‌آوری

مشیری و مروت (۱۳۸۴) در پژوهشی به بررسی وجود آشوب در شاخص‌های بازدهی روزانه و هفتگی قیمت سهام بازار بورس تهران در بازه زمانی ۱۳۸۲-۱۳۷۷ پرداختند. نتایج آزمون بزرگ‌ترین نماهای لیاپانوف که آزمون مستقیمی برای فرایندهای غیر خطی معین است دلالت بر وجود آشوب در شاخص‌های بازدهی قیمت کل سهام بازار بورس تهران دارد. این نتیجه دلالت بر ناکارایی بازار سهام و درنتیجه، قابلیت پیش‌بینی کوتاه‌مدت آن دارد که می‌تواند یک رهنمود سیاستی مبنی بر شناخت عوامل ناکارایی بازار مانند شفاف نبودن جریان اطلاعات و اقدام در جهت رفع آنها داشته باشد. همچنین برای مدل‌سازی و به ویژه پیش‌بینی شاخص قیمت‌های سهام، استفاده از مدل‌های غیر خطی به جای مدل‌های معمول خطی مناسب‌تر است.

معینی و همکاران (۱۳۸۵) در پژوهشی به بررسی آشوبناکی سری زمانی قیمت نفت در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۸ پرداخته‌اند و پس از آن برای پیش‌بینی قیمت نفت ازترکیب نمای لیاپانوف با تابع لجستیک بهره برده‌اند و مقدار نمای لیاپانوف را ۱/۲۵ به دست آورده‌اند.

بابازاده و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از نظریه آشوب و ماکزیمم نمای لیاپانوف، حساسیت نرخ ارز ایران نسبت به شرایط اولیه را در برابر دلار آمریکا، کانادا، پوند انگلیس، یورو اروپا و درهم امارات، دربازه زمانی ۱۳۷۱/۱/۵ تا ۱۳۸۶/۳/۲ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که نرخ ارز ایران در برابر دلار آمریکا از حساسیت کمتری نسبت به شرایط اولیه برخوردار است و نیز از یک فرایند آشوبی تبعیت می‌کند.

رستمی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی به بررسی رفتار قیمت سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس تهران با نظریه آشوب پرداختند. آنها اطلاعات ۳۱ شرکت برای بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۰ را مورد مطالعه قرار دادند و نمای لیاپانوف را با دو روش روزن‌اشتاین و تیلور تخمین زدند که هر دو روش تأییدکننده وجود آشوب بوده‌اند.

شاکری و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی سری زمانی روزانه قیمت سکه تمام بهار آزادی در ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۵/۸/۱۰ تا ۱۳۹۲/۱۱/۹ بر اساس تئوری آشوب پرداخته‌اند. برای وجود روند معین یا تصادفی بودن سری زمانی از آزمون BDS، در سه مرحله استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سری زمانی قیمت سکه، قابل پیش‌بینی است و فرض عدم وجود توابع غیر خطی در پسماند الگوهای ARIMA و GARCH با استفاده از آزمون مذکور رد می‌شود. همچنین برای بررسی روند آشوبی در این سری زمانی، از آزمون حداکثر نمای لیاپانوف استفاده شده است که نتیجه این آزمون نشان می‌دهد، داده‌ها دارای روند آشوبی می‌باشند، ازاین‌رو امکان وجود توابع غیر خطی در سری زمانی قیمت سکه پذیرفته شده و قابلیت پیش‌بینی قیمت آن تأیید می‌شود.

مغاری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی اثر آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اقتصادی بر تولید ناخالص داخلی کشورهای منتخب عضو اوپک را مورد مطالعه قرار داده‌اند. نتایج حاصل از مطالعه، نشان می‌دهد، کشورهای ایران، الجزایر، اکوادور، نیجریه و ونزوئلا در وضعیت پسر ولخرج قرار داشته، اما پتانسیل افزایش تاب‌آوری را در سال‌های آینده خواهند داشت و کویت در بهترین وضعیت و امارات در وضعیت خودساخته قرار دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد، آسیب‌پذیری اقتصادی رابطه‌ای عکس و تاب‌آوری اقتصادی رابطه‌ای مستقیم با تولید ناخالص داخلی دارد.

ابونوری و لاجوردی (۱۳۹۵) در پژوهشی به برآورد شاخص‌های آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اقتصادی پرداخته‌اند. آسیب‌پذیری از ویژگی‌های ساختاری است که منجر به افزایش نقاط ضعف اقتصاد در برابر شوک‌های برونزا می‌شود. تاب‌آوری اقتصادی نیز به توانایی سیاستی یک اقتصاد برای مقاومت در برابر شوک و میزان بازیابی پس از شوک اطلاق می‌شود. در این پژوهش با استفاده از روش حداکثر راستنمایی، شاخص آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اقتصادی کشورهای عضو اوپک برای ۱۳۹۲-۱۳۷۴ برآورد شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که کشورهای عراق، آنگولا، لیبی و نیجریه دارای آسیب‌پذیری بالا و امارات، قطر، کویت و عربستان سعودی دارای آسیب‌پذیری پایین‌تری هستند. رتبه ایران در شاخص خالص تاب‌آوری و در میان ۱۴ کشور عضو اوپک برابر۶ برآورد شده است.

ابونوری، لاجوردی (۱۳۹۶) در پژوهشی به مطالعه واکنش تاب‌آوری اقتصادی در برابر تکانه‌های نفتی و بی‌ثباتی رشد اقتصادی در کشورهای عضو اوپک پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند، بین تکانه‌های نفتی و بی‌ثباتی رشد اقتصادی رابطه مثبت برقرار است، لذا یک اقتصاد تاب‌آور می‌تواند بخشی از اثر منفی تکانه‌های نفتی بر نوسانات رشد را تعدیل نماید.

میرجلیلی و بزرگی (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی شاخص ترکیبی تاب‌آوری اقتصادی ایران طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۴ پرداخته‌اند. به همین منظور از یک شاخص ترکیبی بومی متشکل از متغیرهای نرخ تورم، نرخ بیکاری، نرخ ارز، نسبت کسری بودجه به تولید ناخالص داخلی، سهم نفت در بودجه، نسبت صادرات غیر نفتی به واردات، نسبت واردات کالاهای واسطه‌ای و اولیه به کل واردات، نسبت بودجه کل کشور به تولید ناخالص داخلی، نسبت مصرف دولت به مصرف کل اقتصاد، نسبت صادرات و واردات به تولید ناخالص داخلی، اقتصاد زیرزمینی، نسبت شاغلان با تحصیلات عالی به کل شاغلان دولت، ضریب جینی، نرخ باسوادی، تعداد بیمه‌شدگان اصلی تأمین اجتماعی، تاب‌آوری اقتصادی متناسب با شرایط اقتصاد ایران، محاسبه شده و تفسیر می‌شود. نتایج نشان‌دهندهٔ روند افزایشی شاخص مقاومت اقتصاد ایران با شیب ملایم است. بیشترین میزان شاخص در سال ۱۳۹۳ و کمترین آن در سال ۱۳۸۴ می‌باشد. بررسی ارتباط میان شاخص تاب‌آوری و

تولید ناخالص داخلی سرانه، بیانگر وجود رابطه مثبت در دورهٔ مورد بررسی است، به این صورت که با افزایش تاب‌آوری اقتصادی، تولید ناخالص داخلی سرانه کشور نیز افزایش می‌یابد.

۲-۱-۳. مطالعات انجام‌شده داخلی مرتبط با حذف یارانه انرژی

محمدی و همکاران (۱۳۹۰) تأثیر حذف یارانه انرژی بر تولید ناخالص ملی در ایران را با استفاده از روش خودرگرسیون‌برداری (VAR) مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که در صورتی که افزایش قیمت بنزین و نفت گاز موجب کاهش مصرف این دو فرآورده نفتی شود، رشد تولید ناخالص ملی کمتر خواهد شد، ولی اگر مصرف بنزین و نفت گاز کاهش نیابد، آن بر رشد تولید اثر نخواهد گذاشت. لازم به ذکر است که عدم واکنش مصرف‌کنندگان نسبت به افزایش قیمت این دو فرآورده می‌تواند تحت شرایط مختلفی در اقتصاد اتفاق بیفتد.

صادقی و سهرابی (۱۳۹۱) به بررسی اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر رفاه مصرف‌کنندگان در بخش خانگی، پرداختند و به این نتایج دست یافتند، برق کالایی لوکس و دارای کشش قیمتی منفی است. همچنین نشان دادند که در صورت افزایش ۶ برابری قیمت‌ها در فروردین ۱۳۹۰، اثر مستقیم واقعی کردن قیمت‌های حامل‌های انرژی (افزایش قیمت) جبران نشده است و مصرف‌کنندگان متضرر شده‌اند.

بزازان و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر هدفمندی یارانه انرژی برق بر تقاضای خانوارها به تفکیک شهر و روستا در ایران با استفاده از سیستم تقاضای تقریباً ایده‌آل و روش رگرسیون‌های به ظاهر نامرتبط (SUR) پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند انرژی برق برای خانوارهای شهری و روستایی کالای ضروری بوده و کشش قیمتی آن کمتر از واحد است لذا سیاست‌های قیمتی به تنهایی برای کاهش مصرف برق کارساز نبوده و ضروری است در کنار آن از سیاست‌های غیر قیمتی استفاده شود.

اسکندری و همکاران (۱۳۹۵) اثرات تعدیل قیمت حامل‌های انرژی بر اقتصاد ایران را با استفاده از جدول داده - ستاده مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که به دلیل

وابستگی زیاد بخش‌های حمل ونقل و صنایع و معادن به حامل‌های انرژی، میانگین رشد تولید در این بخش‌ها کاهش و در بخش کشاورزی افزایش داشته است.

۲-۳. مطالعات انجام شده خارجی

۱-۲-۳. مطالعات انجام‌شده خارجی مرتبط با موضوع تاب‌آوری

رجیانی، گراف و نیجکامپ[1] (۲۰۰۲) در پژوهش خود به بررسی تاب‌آوری آلمان غربی در حوزه بازار کار پرداختند. آنها برای این منظور از نمای لیاپانوف بهره بردند. نتایج آنها نشانگر پایداری کم صنایع تولیدی و ساختمان‌سازی نسبت به سایر بخش‌ها بوده است.

روز[2] (۲۰۰۲) با به کارگیری مدل تعادل عمومی قابل محاسبه، تاب‌آوری اقتصادی آب منطقه‌ای پورتلند در ایالت اورگان آمریکا در برابرزمین‌لرزه شبیه‌سازی‌شده با پیش‌فرض ۶/۴ ریشتر و با قطعی آب برای مدت ۳ تا ۹ هفته قبل و بعد از بازسازی برآورد شده است و نتایج نشان می‌دهد، وجود یک مکانیزم قیمتی در شرایط بحرانی می‌تواند در افزایش تاب‌آوری اقتصادی مؤثر باشد.

اسپینوسا و گوریگویتا[3] (۲۰۱۲) در پژوهشی به بررسی پایداری کشورهای حوزه یورو در مقابل بحران مالی سال ۲۰۰۷ پرداختند. آنها این پایداری را با محاسبه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف در طول چند سال محاسبه کردند و نتایج آنها نشانگر اقدامات مناسب و به موقع آلمان در مقابل این بحران‌ها بود و کوچک‌ترین نماهای لیاپانوف برای آلمان و به تبع آن پایدارترین اقتصاد هم برای آن کشور بوده است.

بورمن[4] و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص ترکیبی و با به کارگیری ۱۰ مؤلفه و ۵۲ متغیر، تاب‌آوری ۵ گروه از کشورهای توسعه‌یافته، اروپای مرکزی و شرقی، مستقل مشترک‌المنافع، در حال توسعه آسیایی، شمال و شرق میانه آفریقا، جنوب صحرای آفریقا و نیم‌کره غربی در دوره زمانی ۲۰۱۱-۱۹۹۷ برآورد نمودند.

1. Reggiani et al.
2. Rose
3. Espinosa and Gorigoitía (2012)
4. Boorman et al

۲-۲-۳. مطالعات انجام‌شده خارجی مرتبط با حذف یارانه انرژی

یوسف و ریسوسیودارمو[1] (۲۰۰۷) در پژوهش خود با عنوان ارزیابی اصلاح قیمت انرژی در اندونزی، اثرات حذف یارانه‌های انرژی، بر روی متغیرهای کلان اقتصادی کشور اندونزی را با توجه به مدل تعادل عمومی محاسبه و مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت تولید ناخالص داخلی اسمی، مخارج واقعی خانوارها، واردات اسمی و واردات واقعی کاهش می‌یابند.

ابوالعین و همکاران[2] (۲۰۰۹) به بررسی تأثیر حذف یارانه فرآورده‌های نفتی در مصر با استفاده از مدل CGE پرداختند و نتیجه گرفتند که حذف یارانه انرژی نابرابری توزیع درآمد را کاهش می‌دهد و رفاه چارک‌های ثروتمند بیشتر کاهش می‌یابد.

لین و جیانگ[3] (۲۰۱۰) به برآورد یارانه‌های انرژی و تأثیر اصلاح یارانه‌های انرژی در چین در قالب مدل CGE پرداختند. نتایج نشان داد که تحت سناریوی حذف کامل یارانه بدون بازتوزیع درآمد آن، رفاه اقتصادی، تولید ناخالص داخلی و اشتغال کاهش پیدا می‌کند و تحت سناریوی حذف کامل یارانه انرژی و بازتوزیع درآمد آن، در اقتصاد آثار مثبتی وجود خواهد داشت.

با توجه به مبانی نظری و مطالعات تجربی انجام‌شده داخلی و خارجی، ترکیب دو موضوع تاب‌آوری و آزادسازی قیمت گاز طبیعی (افزایش قیمت گاز طبیعی) - به عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی در ایران - یعنی بررسی «اثر آزادسازی قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران» ازجمله مطالعات نخستین محسوب می‌گردد و دلیلی بر جدید بودن و نوآوری پژوهش حاضر است. در ضمن در این پژوهش، اثر اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، به عنوان یک سیاست قیمتی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی از یک‌سو و محاسبه تاب‌آوری سیستم گازرسانی با استفاده از نمای لیاپانوف از سوی دیگر، از نوآوری‌های تحقیق به شمار می‌آید.

1. Yusuf and Resosudarmo
2. Aboulein et al.
3. Lin and Jiang

٤. روش پژوهش

در این پژوهش، با استفاده از نمای لیاپانوف، تاب‌آوری سیستم توزیع گاز در ایران بر اساس مصارف روزانه در بخش خانگی طی دوره ۱۳۸۴ تا۱۳۹۶ محاسبه می‌گردد. برای محاسبه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف نیاز به محاسبه وقفه زمانی و بعد محاط است. برای محاسبه وقفه زمانی از دو روش تابع خودهمبستگی و تابع میانگین اطلاعات متقابل استفاده می‌شود. در روش میانگین اطلاعات متقابل علاوه بر همبستگی خطی، همبستگی و ساختار غیر خطی نیز محاسبه می‌گردد. ولی در روش خودهمبستگی فقط همبستگی خطی داده‌ها بررسی می‌شود. بنابراین در بررسی سری‌های زمانی غیر خطی، استفاده از میانگین اطلاعات متقابل مناسب‌تر است و این روش در سال ۱۹۸۶ توسط فریزر و سوییننی[1] برای انتخاب زمان تأخیر مناسب در تجزیه و تحلیل‌های غیر خطی معرفی شد.

برای محاسبه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف نیز از روش روزن‌اشتاین استفاده می‌گردد که نسبت به روش ولف، معتبرتر است.

یکی از اولین الگوریتم‌هایی که برای محاسبه نمای لیاپانوف بر اساس سری زمانی ارائه شده است، الگوریتم ولف و همکاران (۱۹۸۵) می‌باشد. برای محاسبهٔ نمای لیاپانوف براساس الگوریتم ولف، ابتدا ماتریس m^* $(N-m+1)$ بعدی از N داده اسکالر سری زمانی را ایجاد می‌کنیم. از میان این ماتریس، تمام جفت بردارهایی xi و xj را که در رابطهٔ زیر صدق می‌کنند، مشخص می‌کنیم[2]:

$$r_{\circ}(m;i,j)=\left|x_i-x_j\right|<\varepsilon \qquad (۳)$$

که در آن ε، مقدار کوچک مثبت است. با رشد طول زمانی n، $rn\ (m\ ;\ i\ ,\ j)$ را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$r_n(m;i.j)=\left|x_{i+n}-x_{j+n}\right| \qquad (۴)$$

سپس میزان واگرایی $dn\ (m:\ i\ ,\ j)$ نقاط نزدیک به هم را در فضای m بعدی به صورت زیر:

$$d_n(m;i,j)=\frac{r_n}{r_{\circ}}=\frac{\left|x_{i+n}-x_{j+n}\right|}{\left|x_i-x_j\right|} \qquad (۵)$$

1. Fraser and Swinney
2. Wolf et al. (1985)

به دست می‌آوریم. آن‌گاه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف λ را از رابطهٔ زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\lambda = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N-n} \sum_{n=0}^{N-1} \log d_n(m;i,j) \qquad (۶)$$

روزن‌اشتاین و همکاران[1] به سه مشکل اصلی روش ولف برای محاسبه نمای لیاپانوف اشاره می‌کنند:

۱. پاسخ‌های غیر قابل اعتماد برای داده‌های کم.

۲. محاسبات سخت و فشرده.

۳. نسبتاً دشوار برای پیاده‌سازی.

آنها روش جدیدی را برای محاسبه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف ارائه می‌دهند که برای داده‌های با حجم کم است و حساسیت کمتری به نویز[2] دارد. به عنوان مثال الگوریتم ولف مستلزم وجود داده‌های زیاد و به اختلال حساس است.

اگر $\{x_1, x_2, ..., x_N\}$ یک سری زمانی مورد بررسی با حجم N باشد و x_i به صورت $x_i = [x_i, x_{i+j}, ..., x_{i+(m-1)j}]$ تعریف شود، آنگاه $x = [x_1, x_2, ..., x_M]^T$ یک ماتریس $M \times m$ است که در آن $M = N-(m-1)j$. اگر کوچک‌ترین فاصله بین نقطه X_J و نزدیک‌ترین همسایگی این نقطه یعنی برابر $d_j(0)$ باشد، در این صورت: $d_j(0) = \min_{x_{\hat{j}}} \left\| X_j - X_{\hat{j}} \right\|$ که در آن $\|...\|$ نرم اقلیدسی است. در این صورت بزرگ‌ترین نمای لیاپونوف به صورت زیر تعریف می‌شود (مشیری، ۱۳۸۱):

$$\lambda_{max}(i) = \frac{1}{i\Delta t} \frac{1}{(M-i)} \sum_{j=1}^{M-i} ln\left(\frac{d_j(i)}{d_j(0)}\right) \qquad (۷)$$

که در آن Δt فاصله زمانی نمونه مورد مطالعه و $d_j(i)$ بیانگر کوچک‌ترین فاصله بین X_j و نزدیک‌ترین همسایگی این نقطه بعد از i مرحله زمانی می‌باشد، یعنی $i\Delta t$.

λ، می‌تواند مقادیر مثبت، منفی و صفر را به شرح ذیل اختیار کند:

1. Rosenstein et al. (1993)
2. Noise

۱. اگر $\lambda<0$ آن‌گاه یک نقطه ثابت یا یک چرخه متناوب پایدار خواهیم داشت. به عبارت دیگر، تمام نقاط اولیه انتخابی، به سمت یک نقطهٔ ثابت یا چرخهٔ متناوب، همگرا خواهند شد. به این سیستم‌ها، پایدارمجانب[1] اطلاق می‌شود. با افزایش منفی $(\lambda\to-\infty)$، پایداری سیستم افزایش می‌یابد، به طوری‌که برای $\lambda=-\infty$، یک نقطهٔ ثابت یا یک چرخهٔ متناوب فوق پایدار[2] وجود دارد.

۲. اگر $\lambda=0$ باشد، سیستم فقط حول یک نقطهٔ ثابت نوسان می‌کند. در این حالت، هر نقطهٔ اولیهٔ انتخابی، حول یک چرخهٔ حدی پایدار نوسان می‌کند. این نوع سیستم موسوم به پایدار لیاپانوف[3] است.

۳. اگر $\lambda>0$ هیچ نقطهٔ ثابت و یا چرخهٔ متناوب پایداری وجود ندارد. در حقیقت، نقاط ناپایدار[4] ولی سیستم کران‌دار و آشوبناک است. در این حالت، به دلیل حساسیت بالا به شرایط اولیه، مسیرهای نزدیک به هم به سرعت واگرا می‌شوند.[5]

پس از محاسبه نمای لیاپانوف، با استفاده از مدل خود رگرسیون برداری VAR رابطه میان متغیرها در معادله (۱۰) مورد بررسی قرار می‌گیرد، به طوری که مدل VAR (P) را می‌توان به صورت زیر معرفی نمود:

$$X_t=\mu+\Gamma_1X_{t-1}+\Gamma_2X_{2-2}+\ldots+\Gamma_PX_{t-p}+\varepsilon_t \qquad (۸)$$

متغیرهای مدل در معادله (۱۰) عبارتند از:

E: نمای لیاپانوف (شاخص تاب‌آوری)

P: قیمت واقعی گاز طبیعی در بخش خانگی

L: طول خطوط لوله انتقال گاز طبیعی

S: سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی از کل تولید

T: تعداد مشترکین گاز طبیعی

1. Asymptotic Stability
2. Super Stable
3. Lyapunov Stability.
4. Unstable

۵. معینی و همکاران (۱۳۸۵)

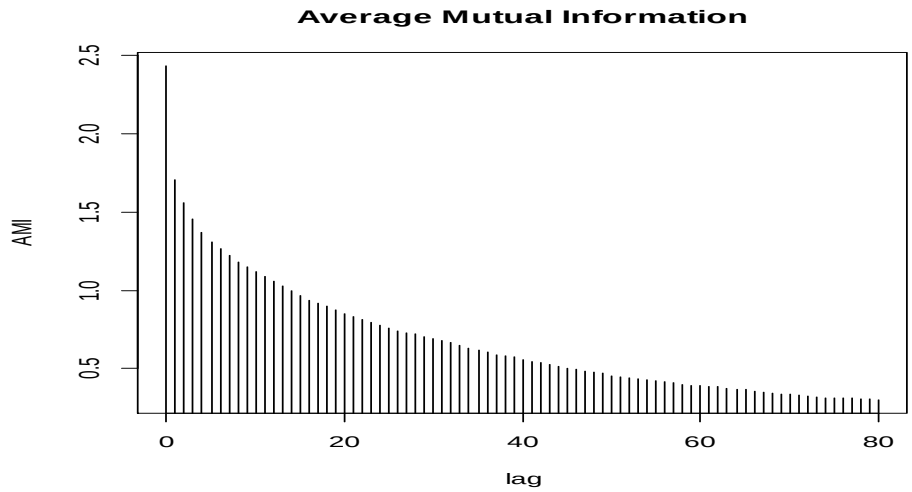
برای شناسایی رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل از روش هم‌انباشتگی یوهانسن- یوسلیوس و بعد از تعیین روابط بلندمدت بین متغیرها، به منظور بررسی رابطه کوتاه‌مدت بین متغیرها از الگوی تصحیح خطای برداری VECM استفاده شده است. هم‌انباشتگی به این معناست که بین دو متغیر که هریک به تنهایی ناماناست، یک رابطه تعادلی بلندمدت وجود دارد. به علاوه متغیرهای هم‌انباشته دارای یک الگوی تصحیح خطا نیز هستند که بیانگرروابط کوتاه‌مدت بین آنهاست. در عمل استفاده از تکنیک هم‌انباشتگی از روش‌های مختلفی همچون انگل - گرانجر[1]، انگل - یو[2] نیز امکان‌پذیر است، اما روش یوهانسن - یوسلیوس به عنوان روش برتر می‌تواند روابط بلندمدت را در صورت وجود دو یا چند متغیر شناسایی و تعیین کند. (اندرس[3]، ۱۹۹۵). این روش مبتنی بر یک مدل خودرگرسیون برداری (VAR) است که در آن تعیین تعداد بردارهای هم‌انباشتگی از طریق حداکثر درست‌نمایی صورت می‌گیرد. روش حداکثر درست‌نمایی یوهانسن - یوسلیوس با استفاده ازدو آماره آزمون اثر[4] و حداکثر مقادیر ویژه[5] رابطه یا روابط تعادلی بلندمدت بین متغیرهای الگو را تعیین می‌کند. پس می‌توان گفت نقطه آغاز این روش برای آزمون و تعیین روابط هم‌انباشتگی، برآورد مدل تصحیح خطای برداری است.[6]

۵. یافته‌های پژوهش

بر اساس آمار موجود از ۱۳۸۴/۱/۱ تا ۱۳۹۶/۱۲/۲۹ بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف، با استفاده از روش روزن‌اشتاین معادل ۰/۰۰۲۷۶۱ تعیین گردید، به طوری که در کل دوره مورد مطالعه، وقفه زمانی، با استفاده از روش میانگین اطلاعات متقابل ۶۹ و بعد محاط نیز با استفاده از روش کائو مقدار ۶ به دست آمد، که به ترتیب در نمودارهای (۵) و (۶) نمایش داده شده است.

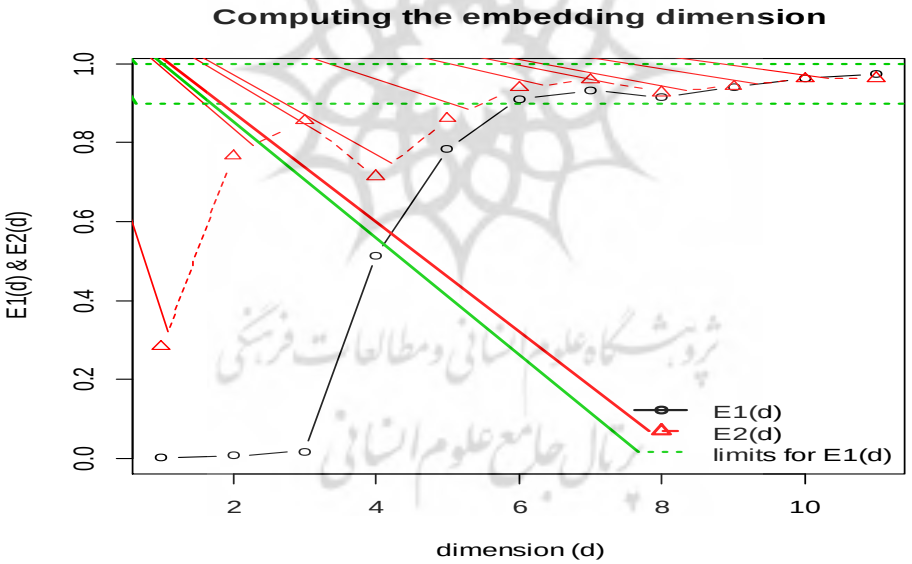
1. Engle and Granger
2. Engle and Yoo
3. Anders
4. Trace Test
5. Maximum Egien Value Test

۶. نوفرستی (۱۳۸۹)ص.۱۲۶



نمودار (۵): وقفه زمانی محاسبه‌شده با روش AMI

منبع: محاسبات محقق



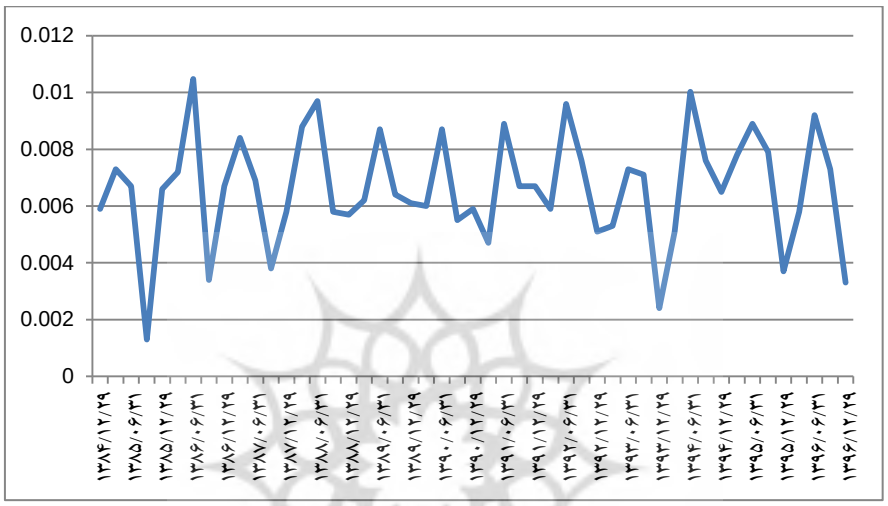
نمودار (٦): بعد محاط محاسبه شده با روش Cao

منبع: محاسبات محقق

جدول (۲): محاسبه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف با روش روزن اشتاین

کل دوره	وقفه زمانی m	بعد محاط بهینه τ	حداکثر نمای لیاپانوف λ_{max}
از اول سال۱۳۸۴ تا پایان سال ۱۳۹۶	۶۹	۶	۰/۰۰۲۷۶۱

منبع: محاسبات محقق



نمودار (۷): اطلاعات مربوط به نمای لیاپانوف برحسب فصول مختلف (۱۳۸٤-۱۳۹٦)

منبع: محاسبات محقق

همان‌طوری که در نمودار (۷) ملاحظه می‌گردد، نمای لیاپانوف در تمام فصول مورد مطالعه (۱۳۸۴-۱۳۹۶) مقادیر نمای لیاپانوف مثبت می‌باشد و این به معنای هم آشوبناکی مصرف گاز طبیعی و هم بیانگر عدم تاب‌آوری سیستم گازرسانی است، لیکن نوسانات نمای لیاپانوف نشان می‌دهد که تاب‌آوری سیستم گازرسانی در حال تغییر می‌باشد. در واقع عواملی منجر به این تغییرات در تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی می‌گردند که از جمله مهم‌ترین آنها می‌توان، به قیمت واقعی گاز طبیعی، طول خطوط لوله گاز طبیعی، سهم مصرف گاز طبیعی از کل تولید و تعداد مشترکین گاز طبیعی اشاره نمود.

جدول (۳): آمار تولید، توزیع و مصرف گاز طبیعی

(واحد: میلیارد مترمکعب)

سال	تولید[۱] گاز طبیعی	توزیع[۲] گاز طبیعی	مصرف خانگی	نسبت مصرف به تولید (درصد)
۱۳۸۴	۱۱۸	۱۱۰	۳۲	۰/۹۳
۱۳۸۵	۱۳۰	۱۲۲	۳۷	۰/۹۴
۱۳۸۶	۱۳۹	۱۳۲	۴۰	۰/۹۵
۱۳۸۷	۱۵۰	۱۴۱	۳۹	۰/۹۴
۱۳۸۸	۱۵۹	۱۴۵	۴۱	۰/۹۲
۱۳۸۹	۱۶۶	۱۴۷	۴۱	۰/۸۱
۱۳۹۰	۱۶۸	۱۵۱	۴۴	۰/۹۰
۱۳۹۱	۱۷۳	۱۵۲	۴۰	۰/۸۸
۱۳۹۲	۱۷۵	۱۵۵	۴۵	۰/۸۹
۱۳۹۳	۱۹۶	۱۷۳	۴۵	۰/۸۸
۱۳۹۴	۲۰۶	۱۸۱	۴۷	۰/۸۸
۱۳۹۵	۲۲۴	۱۹۳	۵۰	۰/۸۶
۱۳۹۶	۲۴۲	۲۰۲	۴۷	۰/۸۴

منبع: گزارش آماری مدیریت گازرسانی شرکت ملی گاز ایران

بر اساس اطلاعات موجود در جدول (۳) تولید گاز طبیعی از ۱۱۸ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۴ به ۲۴۲ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۶ افزایش یافته است، لیکن مصرف گاز طبیعی نیز از ۱۱۰ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۴ به ۲۰۲ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۹۶ رسیده است. به طوری که متوسط رشد سالانه تولید و مصرف گاز طبیعی، طی دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۸۴ به ترتیب ۶/۲ درصد و ۵/۲ درصد بوده است و همچنین متوسط سهم مصرف گاز طبیعی (گاز طبیعی توزیع شده) از تولید گاز طبیعی، طی دوره مورد نظر ۹۰درصد می‌باشد. بنابراین از یکسو، با افزایش توان تولید گاز طبیعی مصرف آن نیز

۱. منظور میزان گاز طبیعی استخراج شده است.

۲. منظور میزان گاز طبیعی پالایش شده‌ای است که صرف مصارف داخلی شده است.

افزایش یافته است و از سوی دیگر، غالب تولید صرف توزیع جهت مصارف داخلی از جمله بخش خانگی، بخش نیروگاهی، صنعتی و تجاری شده است.

برای شناسایی رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل از روش هم‌انباشتگی[1] (هم‌جمعی) یوهانسن - یوسلیوس[2] و بعد از تعیین روابط بلندمدت بین متغیرها، به منظور بررسی رابطه کوتاه مدت بین متغیرها از الگوی تصحیح خطای برداری[3] VECM استفاده شده است. هم‌انباشتگی به این معناست که بین دو متغیر که هریک به تنهایی ناماناست، یک رابطه تعادلی بلندمدت وجود دارد. به علاوه متغیرهای هم‌انباشته دارای یک الگوی تصحیح خطا نیز هستند که بیانگرروابط کوتاه‌مدت بین آنهاست. در عمل استفاده از تکنیک هم‌انباشتگی از روش‌های مختلفی همچون انگل - گرانجر[4]، انگل - یو[5] نیز امکان‌پذیر است، اما روش یوهانسن - یوسلیوس به عنوان روش برتر می‌تواند روابط بلندمدت را در صورت وجود دو یا چند متغیر شناسایی و تعیین کند.[6]

۱-۵. آزمون‌های ریشه واحد

در اغلب مطالعات سری‌های زمانی، وجود ریشه واحد در متغیرهای سری‌های زمانی ممکن است منجر به برآورد رگرسیون کاذب شود و ازاین‌رو نتایج به دست‌آمده قابل‌اتکا نباشد. آزمون مانایی برای جلوگیری از رگرسیون‌های کاذب انجام می‌شود، لذا متغیرها در مدل باید مانا باشند. در غیر این صورت، بایستی از تفاضل متغیرها که معمولاً مانا هستند، استفاده نمود. یک متغیر وقتی ماناست که میانگین، واریانس و ضریب خودهمبستگی آن در طول زمان ثابت بماند.

نتایج آزمون در جدول (۴) گزارش شده و حاکی از آن است که تمامی متغیرهای با یک مرتبه تفاضل‌گیری مرتبه اول مانا گردید. به عبارت دیگر متغیرهای مزبور، انباشته از مرتبه اول و یا $I(1)$ است.

1. Co integration
2. Johansen and Juselius
3. Vector Error Correction Model
4. Engle and Granger
5. Engle and Yoo
6. Enders (1995)

جدول (٤): آزمون‌های ریشه واحد دیکی – فولر تعمیم یافته ADF

نام متغیر	constant	constant and trend	نتیجه آزمون
LESA	-۲/۷۱۱ (۷)	-۳/۲۱۵ (۶)	نامانا
LPSA	-۱/۴۱۰ (۰)	-۱/۹۱۶ (۰)	نامانا
LLSA	-۱/۳۳۳ (۴)	-۲/۳۲۶ (۱)	نامانا
LSSA	-۰/۴۲۱ (۳)	-۲/۵۹۲ (۴)	نامانا
LTSA	-۲/۱۳۲ (۴)	-۲/۰۶۸۲ (۴)	نامانا
تفاضل مرتبه اول			
Δ (LESA)		-۱۲/۳۱۳ (۲)++	مانا
Δ (LPSA)		-۶/۷۵۰۸ (۰)++	مانا
Δ (LLSA)		-۱۰/۶۰۹ (۰) ++	مانا
Δ (LSSA)		-۶/۰۹۸۹ (۰) ++	مانا
Δ (LTSA)		-۶/۴۲۵۷ (۲) ++	مانا

منبع: محاسبات محقق

تذکر: علامت ++ نشان‌دهنده سطح معنی‌داری در سطح ۱ درصد را نشان می‌دهد. اعداد داخل پرانتز تعداد وقفه بهینه می‌باشد، که برای تعیین تعداد وقفه‌ها از ضابطه شوارتز استفاده شده است.

حرف L، نشان‌دهنده لگاریتم طبیعی و نماد SA، نشان‌دهنده تعدیل فصلی می‌باشد.

LESA : متغیر نمای لیاپانوف

LPSA: متغیر قیمت واقعی گاز طبیعی در بخش خانگی

LLSA: متغیر طول خطوط لوله نتقال گاز طبیعی

LSSA: متغیر سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی از کل تولید

LTSA: متغیرتعداد مشترکین گاز طبیعی

اغلب سری‌های زمانی اقتصادی دارای رفتار فصلی متغیر می‌باشد[1] و بیشتر از فرایند روند تصادفی و یا فرایند فصلی تصادفی نامانا پیروی[2] می‌کنند.[3] آزمون آماری را با بسط معادله تعمیم یافته دیکی و فولر پیشنهاد کردند که برای نخستین‌بار از آن برای داده‌های فصلی استفاده کردند. از آنجا که داده‌های مورد استفاده در این پژوهش فصلی هستند، لذا متغیرها باید از نظر وجود ریشه واحد با تناوب فصلی نیز آزمون شوند. در این راستا از آزمون

1. Brendstrup et al. (2004)
2. Hyllbereg et al. (1995)
3. Bolivar and Mirren (1993)

ریشه واحد HEGY استفاده شده است و نتایج همان‌گونه‌که در جدول (۵) نشان داده شده، بیانگر آنست که همه متغیرها در سطح معناداری ۰/۰۵ انباشته از مرتبه اول و یا $I(1)$ هستند.

جدول (۵): آزمون ریشه واحد HEGY

نام متغیر	آماره	P-Value	نتیجه آزمون
LESA	-۳/۰۳۲	۰/۱۱۲۵	نامانا
DLESA	-۴/۴۴۵	۰/۰۱۰۲	مانا
LPSA	-۱/۴۸۴	۰/۴۹۶۹	نامانا
DLPSA	-۲/۸۱	۰/۰۵۵	مانا
LLSA	-۱/۲۳۷	۰/۸۸۸	نامانا
DLLSA	-۳/۲۲۵	۰/۰۷۹	مانا
LTSA	-۰/۰۴۰۶	۰/۹۹۹	نامانا
DLTSA	-۲/۷۹۹	۰/۰۱۸	مانا
LSSA	-۲/۸۳۲	۰/۱۷۹	نامانا
DLSSA	-۲/۹۶	۰/۰۴۴	مانا

منبع: محاسبات محقق

۲-۵. تعیین وقفه بهینه متغیرها در روابط کوتاه مدت مدل‌های VECM

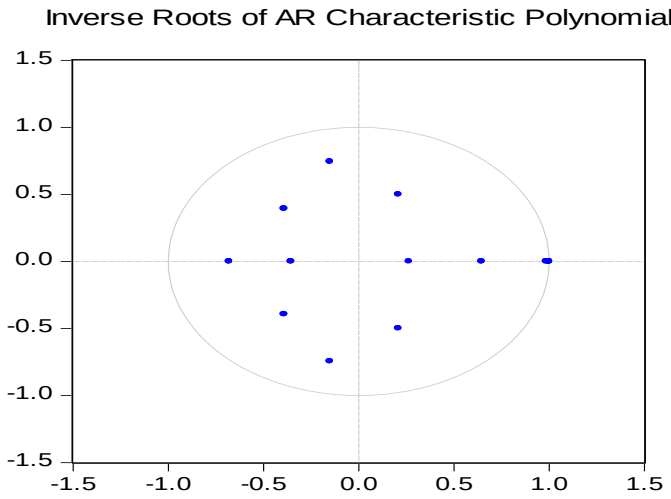
در این مرحله می‌بایست فاصله مناسب و به اندازه کافی طولانی را که وقفه بهینه خارج این فاصله قرار نگیرد، انتخاب نمود.

جدول (٦): آماره‌های آزمون و معیارهای انتخاب در درجه دستگاه طول وقفه

درجه یا طول وقفه / معیار	LR	FPE	AIC	SC	HQ
۰	-	۰/۰۰۰۰۰۳	-۰/۶۹۲	-۰/۴۹۱	- ۰/۶۱۷
۱	*۱۶۶/۳۱	*۰/۰۰۰۰۰۰۰۱	-*۳/۸۴۵	*-۲/۶۴۱	-*۳/۳۹۶
۲	۲۳/۶۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۲	-۳/۴۳۰	-۱/۱۲۲	- ۲/۶۰۷

منبع: یافته‌های تحقیق

براساس معیارهای مذکور در جدول ۶ طول وقفه بهینه ۱ انتخاب می‌گردد.



نمودار (۸): نتایج بر اساس وقفه ۱-۱ (آزمون پایداری)

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طوری که در نمودار ۸ ملاحظه می‌گردد، مدل VAR براساس وقفه ۱-۱ پایدار می‌باشد.

۳-۵. نتایج حاصل از آزمون‌های هم‌انباشتگی

از آنجا که متغیرهای الگو دارای درجه انباشتگی یکسان $I(1)$ هستند، برای تشخیص وجود رابطه تعادلی بلندمدت میان متغیرهای مدل از آزمون هم‌انباشتگی و برای انجام این آزمون از روش یوهانسون - یوسیلیوس استفاده شده است. جهت اجتناب از رگرسیون کاذب، در جداول (۷) و (۸) نتایج دو آزمون اثر[1] و آزمون حداکثر مقدار ویژه[2] جهت وجود روابط هم‌انباشتگی به ازای طول وقفه بهینه آورده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد، هر دو آزمون وجود روابط هم‌انباشتگی بین نمای لیاپانوف (E) و سایر متغیرهای تعیین‌کننده آن در سطح معنی‌داری ۵ درصد را تأیید می‌نماید. با توجه به هر دو آزمون، دقیقاً یک بردار همگرایی وجود دارد و می‌توان کلیه متغیرها را وارد مدل نمود و رابطه بلندمدت بین متغیرها را تخمین زد.

1. Trace test
2. Maximal eigenvalue

جدول (۷): آزمون هم‌انباشتگی بر اساس آزمون اثر

فرضیه صفر	فرضیه مخالف	آماره آزمون	مقدار بحرانی در سطح ۵٪	Prob
r = ۰	r = ۱	۱۰۲/۰۵	۷۹/۳۴	۰/۰۰۰۴
r <= ۱	r = ۲	۴۳/۹۷	۵۵/۲۴	۰/۳۳۱۲
r <= ۲	r = ۳	۱۷/۰۸	۳۵/۰۱	۰/۸۶۸۱
r <= ۳	r = ۴	۷/۱۷	۱۸/۳۹	۰/۷۶۵۲
r <= ۴	r = ۵	۲/۵۵	۳/۸۴	۰/۱۱۰۱

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۸): آزمون هم‌انباشتگی بر اساس آزمون حداکثر مقدار ویژه

فرضیه صفر	فرضیه مخالف	آماره آزمون	مقدار بحرانی در سطح ۵٪	Prob
r =۰	r> ۱	۵۸/۰۸	۳۷/۱۶	۰/۰۰۰۱
r <=۱	r >۲	۲۶/۸۹	۳۰/۸۱	۰/۱۴۰۱
r <=۲	r >۳	۹/۹۰	۲۴/۲۵	۰/۹۰۹۱
r <=۳	r >۴	۴/۶۲	۱۷/۱۴	۰/۹۲۸۴
r <=۴	r >۵	۲/۵۳	۳/۸۴	۰/۱۱۰۱

منبع: یافته‌های تحقیق

با استفاده از رویکرد تصحیح خطای برداری (VECM) مدل برآوردی در جدول (۹) نشان داده شده است. لازم به ذکر است از متغیر دامی برای نشان دادن اثر آزادسازی قیمت گاز طبیعی استفاده شده است به طوری که برای سال‌های قبل اجرای از قانون هدفمندی یارانه‌ها (۱۳۸۹) DU صفر و برای سال‌های بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها (۱۳۸۹)، یک فرض شده است.

جدول (۹): نتایج برآورد بردار هم‌انباشتگی برای متغیرهای مدل

C (عرض از مبداء)	DU*LPSA	LTSA	LSSA	LPSA	LLSA	LESA
-۱۱۰/۹	-۱۰/۲۳ (۲/۱۵)	-۵/۴ (۳/۳۵)	-۱۲/۴ (۲/۶۹)	۵/۳ (۲/۲۵)	۲۳/۲ (۱۳/۸۳)	۱
	-۴/۷۴	-۱/۶۲	-۴/۶۱	۲/۳۵	۱/۶۸	آماره t

منبع: یافته‌های تحقیق (انحراف معیار، داخل پرانتز نشان داده شده است)

بر اساس نتایج حاصل از مدل که در جدول شماره ۹ نشان داده شده است، می‌توان مدل را برای دو دوره قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها و بعد از اجرای آن، به صورت جدول (۱۰) نوشت.

جدول (۱۰): نتایج مدل قبل و بعد از هدفمندی یارانه‌ها

قبل از آزادسازی قیمت گاز طبیعی	LESA=110/9-23/2 LLSA-5/3 LPSA+12/4 LSSA+5/4 LTSA
بعد از آزادسازی قیمت گاز طبیعی	LESA=110/9-23/2 LLSA+4/9 LPSA+12/4 LSSA+5/4 LTSA LESA=110/9-23/2 LLSA-5/3 LPSA+12/4 LSSA+5/4 LTSA+10/2 DU*LPSA (-1))

منبع: یافته‌های تحقیق

قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، قیمت گاز طبیعی با نمای لیاپانوف رابطه منفی دارد به طوری که در صورتی که قیمت گاز طبیعی ۱درصد افزایش یابد، نمای لیاپانوف ۵/۳ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین قیمت گاز طبیعی قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها با تاب‌آوری عرضه گاز طبیعی برای مصرف خانگی ایران، رابطه مثبت (مستقیم) دارد.

بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ قیمت گاز طبیعی افزایش قابل توجهی یافت. در این دوره رابطه قیمت گاز طبیعی با نمای لیاپانوف مثبت و به تبع آن با تاب‌آوری عرضه گاز طبیعی برای مصرف خانگی ایران، منفی است. به طوری که با افزایش ۱ درصد در قیمت گاز طبیعی مقدار نمای لیاپانوف ۴/۹ درصد افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش قیمت گاز طبیعی تاب‌آوری عرضه گاز طبیعی برای مصرف خانگی ایران، کاهش می‌یابد.

بنابراین بر اساس مدل، قبل از آزادسازی قیمت گاز طبیعی در راستای اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی اثر مثبت دارد، لیکن بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها رابطه قیمت گاز طبیعی با تاب‌آوری سیستم گازرسانی منفی است. لذا قیمت گاز طبیعی، بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، منجر به کاهش تاب‌آوری سیستم گازرسانی شده است.

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هرچند در رابطه با اثر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر رشد اقتصادی، رفاه‌اجتماعی و مخارج خانوارها و نیز در زمینه ارتباط بین تاب‌آوری اقتصادی و متغیرهای کلان، مطالعات گسترده‌ای انجام شده است، لیکن بررسی اثر آزادسازی قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی از جمله مطالعات نخستین محسوب می‌گردد. در این پژوهش، از نمای لیاپانوف به عنوان شاخصی جهت محسبه میزان تاب‌آوری سیستم گازرسانی استفاده شد.

در مرحله نخست، نمای لیاپانوف، براساس مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی، در اثر نوسانات دما، طی دوره ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ به صورت فصلی محاسبه گردید. در مرحله دوم، مدل با روش هم‌انباشتگی و رویکرد تصحیح خطای برداری برآورد گردید.

نتایج حاصل از محاسبات انجام شده، به شرح ذیل می‌باشند:

۱. سیستم توزیع گاز طبیعی از تاب‌آوری لازم (به دلیل مثبت بودن نمای لیاپانوف) در تمام دوره‌های زمانی مورد مطالعه، برخوردار نیست. بنابراین در صورت وارد شدن هرگونه شوک به سیستم گازرسانی، نمی‌توان اطمینان داشت که سیستم توزیع گاز طبیعی ایران بتواند، تاب‌آوری لازم را داشته باشد. از جمله این شوک‌ها می‌توان به نوسانات و افت دما در روزهای سرد سال، بروز نقص و اشکالات فنی در سیستم گازرسانی، انجام عملیات خرابکارانه و وقوع حوادث طبیعی اشاره نمود.

۲. مثبت بودن نمای لیاپانوف، یعنی مصرف گاز طبیعی، دارای فرایند آشوبی است، لذا مصرف گاز طبیعی دارای روند تصادفی نبوده و براساس سیستم‌های غیر خطی قابل پیش‌بینی است.

۳. تفاوت مقادیر نمای لیاپانوف، در دوره‌های زمانی مختلف، حاکی از نوسان میزان تاب‌آوری سیستم گازرسانی است، به طوری که در برخی سال‌ها سیستم گازرسانی به سمت تاب‌آوری بیشتر (به دلیل کاهش مقدار نمای لیاپانوف) حرکت کرده است. لازم به توضیح است براساس نحوه محاسبه نمای لیاپانوف و تفسیر مربوط به مقادیر نمای لیاپانوف، رابطه بین نمای لیاپانوف و تاب‌آوری سیستم گازرسانی معکوس می‌باشد. هرچه نمای لیاپانوف کاهش یابد تاب‌آوری سیستم گازرسانی افزایش می‌یابد.

۴. قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، قیمت گاز طبیعی با نمای لیاپانوف رابطه منفی دارد به طوری که در صورتی که قیمت گاز طبیعی ۱ درصد افزایش یابد، نمای لیاپانوف ۵/۳ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین قیمت گاز طبیعی قبل از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها با تاب‌آوری سیستم گازرسانی رابطه مثبت (مستقیم) دارد.

۵. بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ قیمت گاز طبیعی افزایش قابل توجهی یافت. در این دوره رابطه قیمت گاز طبیعی با نمای لیاپانوف مثبت و به تبع آن با تاب‌آوری سیستم گازرسانی، منفی است. به طوری که با افزایش ۱درصد در قیمت گاز طبیعی مقدار نمای لیاپانوف ۴/۹ درصد افزایش می‌یابد. درواقع با افزایش ۱درصد قیمت گاز طبیعی تاب‌آوری سیستم توزیع گاز طبیعی، ۴/۹ درصد کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد، دلیل آن کاهش قیمت واقعی گاز طبیعی در اثر تورم شدید و افزایش چند برابری نرخ ارز در سال‌های بعد از آزادسازی قیمت گاز طبیعی باشد. درواقع کاهش قیمت واقعی گاز طبیعی منجر به کاهش سهم هزینه مصرف گاز طبیعی در هزینه‌های خانوار شده است و به تبع آن خانوارها میزان مصرف خود را در اثر افزایش اسمی قیمت گاز طبیعی کاهش نداده‌اند. لذا تاب‌آوری سیستم گازرسانی کاهش یافته است.

۶. سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی از کل تولید، ازجمله متغیرهای مدل می‌باشد که با نمای لیاپانوف رابطه مستقیم (مثبت) دارد، درواقع با افزایش ۱ درصد در سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی از کل تولید، میزان نمای لیاپانوف ۱۲/۴ درصد افزایش و به تبع آن تاب‌آوری سیستم گازرسانی ۱۲/۴ کاهش خواهد یافت.

بر اساس مدل برآوردی، آزادسازی قیمت گاز طبیعی در چارچوب اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، حاکی از عدم اثرگذاری مثبت افزایش قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران است. بنابراین براساس مدل، قبل از آزادسازی قیمت گاز طبیعی در راستای اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، قیمت گاز طبیعی بر تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران اثر مثبت دارد، لیکن بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها رابطه قیمت گاز طبیعی با تاب‌آوری سیستم گازرسانی منفی است. لذا قیمت گاز طبیعی، بعد از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها، منجر به کاهش تاب‌آوری سیستم گازرسانی شده است. به نظر می‌رسد،

دلیل آن کاهش قیمت واقعی گاز طبیعی در اثر تورم شدید و افزایش چند برابری نرخ ارز در سال‌های بعد از آزادسازی قیمت گاز طبیعی باشد.

همچنین رابطه طول خطوط لوله انتقال گاز طبیعی با تاب‌آوری سیستم گازرسانی ایران، مثبت می‌باشد. همچنین رابطه متغیرهای تعداد مشترکین گاز طبیعی و سهم مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی از کل تولید، با تاب‌آوری سیستم گازرسانی، منفی است.

به منظور ارتقای تاب‌آوری سیستم گازرسانی، هفت توصیه سیاستی به شرح ذیل، پیشنهاد می‌گردد:

اول، تعیین سهم بهینه گاز طبیعی در سبد انرژی ایران با افزایش سهم انرژی‌های نو، هسته‌ای و غیره. دوم، ارتقای توان تولیدی و پالایشی گاز طبیعی، تقویت طول خطوط لوله گاز سراسری و شبکه‌های انتقال، توزیع و افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی گاز طبیعی. سوم، ضرورت اعمال سیاست‌های مناسب جهت قیمت‌گذاری گاز طبیعی با رویکرد بهینه‌سازی مصرف آن در تمام بخش‌های مصرف‌کننده. چهارم، فرهنگ‌سازی به منظور رعایت الگوی مصرف در تمام بخش‌های مصرف گاز طبیعی و جلوگیری از مصارف غیر ضروری به ویژه در ماه‌های سرد سال. پنجم، پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی با استفاده از سیستم‌های غیر خطی به منظور مدیریت مصرف بهینه در راستای ارتقای تاب‌آوری سیستم گازرسانی. ششم، افزایش راندمان وسائل گازسوز در تمام بخش‌های مصرف. هفتم، جلوگیری از واردات وسائل گازسوز با راندمان پایین.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۷. منابع

الف) فارسی

آماده، حمید و احراری، مهدی و قدسی ماب، محمدعلی (۱۳۹۵)، «مطالعهٔ تاب‌آوری اکوسیستم شهر تهران در برابر آلاینده‌های هوا»، *اقتصاد و تجارت نوین*، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی سال ۱۱، شمارهٔ ۳، صفحات ۵۴-۲۳.

ابونوری، اسماعیل و لاجوردی، حسن (۱۳۹۶)، «واکنش تاب‌آوری اقتصادی در برابر تکانه‌های نفتی و بی‌ثباتی رشد اقتصادی در کشورهای عضو اوپک»، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، سال ۲۵، شماره ۸۱، صفحات ۳۱-۷.

اسکندری، مصطفی و نصیری‌اقدم، علی و محمدی، حمید و میرزایی، حمیدرضا (۱۳۹۵)، «اثرات تعدیل قیمت حامل‌های انرژی بر اقتصاد ایران»، *فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، سال ۷، شماره ۲۵، صفحات ۶۴-۵۱.

بزازان، فاطمه و میرحسین، موسوی و قشمی، فرناز (۱۳۹۴)، «تأثیر هدفمندی یارانه انرژی برق بر تقاضای خانوارها به تفکیک شهر و روستا در ایران»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال ۴، شماره ۱۴، صفحات ۳۲-۱.

بابازاده، محمد و معمارنژاد، عباس و علمی، سیامک (۱۳۸۹)، «بررسی ماکزیمم نمای لیاپانوف در نرخ ارز ایران با استفاده از تئوری آشوب»، *فصلنامه پول و اقتصاد*، شماره ۲، صفحات ۷۷-۵۴.

خلیل، حسن، «سیستم‌های غیر خطی»، ترجمه منتظر غلامعلی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۰.

شرکت ملی گاز ایران (۱۳۹۶). گزارش آماری مدیریت گازرسانی.

گل‌وردی، مهدی (۱۳۹۶)، «تاب‌آوری ملی: مروری بر ادبیات تحقیق»، *فصلنامهٔ مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی*، دوره ۷، شمارهٔ ۲۵، صفحات ۳۱۰-۲۹۳.

صادقی، حسین، سلمانی، یونس، سهرابی‌وفا، حسین (۱۳۹۱)، «بررسی اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر رفاه مصرف‌کنندگان بخش خانگی با استفاده از سیستم تقاضای تقریباً ایده‌آل (AIDS)»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال ۹، شماره ۳۵، صفحات ۴۶-۲۳.

غیاثوند، ابوالفضل و دیگران (۱۳۹۳)، «دربارهٔ سیاست‌های کلی اقتصاد مقاومتی - مروری بر ادبیات جهانی دربارهٔ تاب‌آوری ملی»، گزارش دفتر مطالعات اقتصادی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی [نسخهٔ الکترونیکی] قابل دسترس در: http://rc.majlis.ir/fa/report/show/881024 [15/10/1396]

مشیری، سعید، فروتن، فایزه (۱۳۸۳)، «آزمون آشوب و پیش‌بینی قیمت آتی نفت خام»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، صفحات ۹۰-۶۷.

محمدی، تیمور و پژویان، جمشید و عباس‌زاده، شیما (۱۳۹۰)، «تأثیر حذف یارانه انرژی بر تولید ناخالص ملی در ایران»، *فصلنامه اقتصاد کاربردی*، سال ۲، شماره ۴، صفحات ۲۴-۱.

میرجلیلی، سیدحسین و بزرگی، روشنک (۱۳۹۷)، «بررسی شاخص ترکیبی تاب‌آوری اقتصادی ایران طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۴»، *فصلنامه علمی پژوهشی جستارهای اقتصادی ایران*، سال ۱۵ شماره ۲۹، صفحات ۹۴-۶۹.

معینی، علی و ابریشمی، حمید و احراری، مهدی (۱۳۸۵)، «به‌کارگیری نمای لیاپانوف برای مدل‌سازی سری زمانی قیمت آتی نفت بر پایه توابع پویا»، *فصلنامه تحقیقات اقتصادی دانشکده اقتصاد تهران*، شماره ۷۶، صفحات ۱۰۰-۷۷.

مغاری، مریم و فریدزاد، علی و خورسندی، مرتضی (۱۳۹۵)، «اثر آسیب‌پذیری و تاب‌آوری اقتصادی بر تولید ناخالص داخلی کشورهای منتخب عضو اوپک»، *فصلنامه سیاست‌گذاری پیشرفت اقتصادی دانشگاه الزهراء (س)*، سال ۴، شماره ۱۱، صفحات ۱۰۴-۷۷.

نوراحمدی، محمدجواد و پادام، سیدسجاد (۱۳۹۵)، «بررسی مقاوم‌سازی بخش نفت و گاز سیستم انرژی ایران از منظر استمرار تولید»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، سال ۵، شماره ۲۰، صفحات ۷۸-۳۵.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ب) انگلیسی

Aboulein, E-Laithy and Kheir-E-Din, H. (2009), "The Impact of Phasing out of subsidies of Petroleum Energy Product in Egypt", *The Egyptian Center for Economic Studies*, No. 145, pp. 1-24.

Bask, M. (1997), "Deterministic chaos in exchange rates? " Department of Economics, Umea university studies.

Bielecki, J (2002), "Energy security: is the wolf at the door?" *The Quarterly Review of Economics and Finance*, vol. 42, issue 2, pp. 235-250.

Boorman, J. Faajgenbaum, J. and Ferhani, H. and Bhaskaran, M. Arnold, D. and Kohli A.H. (2013), "The Centennial Resilience Index: Measuring Counties Resilience to Shock", *Global Journal of Emerging Markey Economies*, vol. 5 (2), pp. 57-98.

Brendstrup, B., Shylleberg, m. and Nielsen. (2004), "Seasonality in economic models." *Macroeconomic Dynamics*, vol. 8, pp. 326-394.

Dayton Marchese and Erin Reynolds, Matthew E. and Bates, Heather Morgan, Susan Spierre Clark, Igor Linkov (2017), "Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications", *Science of the Total Environment*, Volumes 613–614, 1 February 2018, pp. 1275-1283.

Espinosa, C. and Gorigoitía, J. (2012). "Stability of sovereign risk in the Eurozone through the Lyapunov Exponent," Working Papers 36, Facultad de Economía y Empresa, Universidad Diego Portales.

Enders, W. (1995) Applied Econometric Time Series. John Wiley & Son, Inc. USA.

Hayles, N. K. (1990). "Chaos bound: Orderly disorder in contemporary" literature and science, Ithaca, New York: Cornell University Press.

Holling, C. S. (1992), "Cross Scale morphology, geometry, and dynamics of ecosystems", *Ecological monographs*, No. 62, pp. 447-502.

Kimhi, S. (2016), "Levels of resilience: Associations among individual, community, and national resilience", *Journal of health psychology*, Vol. 21, No. 2, pp. 164-170.

Levin, S.A. and Barrett, S and Aniyar, S. and Baumol, W. and Bliss, C. and Bolin, B. and Dasgupta, P. and Ehrlich, P. and Folke, Gren, Holling, Jansson and ler, Martin, C. Perrings, and E. Sheshinski. (1998). "Resilience inNatural and Socioeconomic Systems." *Environment and Development Economics*, no. 3, pp. 222-235.

Lin, B. and Jiang, Zh. (2010), "Estimates of Energy Subsidies in China and Impact of Energy Subsidy Reform", *Energy Economics*, vol. 32, Issue. 2, pp. 273-283.

Olsen, Ø, Roland, K (1988), "Modeling demand for natural gas: a review of various approaches Etterspørsel etter naturgass: en oversikt over ulike modellopplegg." Publication date1988. ISBN, 8253726651: kr40.00.

Perrings, C. (1994), "Ecological resilience in the sustainability of economic development. In Models of sustainable development: exclusive or complementary approaches of sustainability?" *International symposium*, pp. 27-41.

Perrings, C. (1998), "Resilience in the dynamics of economy-environment systems", *Environmental and Resource Economics*, No. 11, pp. 503-520.

Perrings, C. (2006), "Resilience and sustainable development", *Environment and Development Economics*, No. 11, pp. 417-427.

Peterson, G., C. R. Allen, and C.S. Holling. (1998). "Ecological Resilience, Biodiversity, and Scale." Ecosystems 1, 6-18.

Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. Nature, 307 (5949), 321.

Reggiani, A. and De Graaff, T. and Nijkamp, P. (2002), "Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems", *Networks and Spatial Economics*, No. 2, pp. 211-229.

Rosenstein, M. Collins, J. De Luca, C. (1993). "A Practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets. Boston University. Physica D. 65, 117-134.

Rose, A. and Liao, S. Y. (2002), "Modeling Regional Economic Resiliency to Earthquakes: A Computable General Equilibrium Analysis of Lifeline Disruptions", *NIST SPECIAL PUBLICATION SP*, pp.91-106.

Walker, B. and Holling, C. S. and Carpenter, S and Kinzig, A. (2004), "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems", *Ecology and society*, vol. 9 (2).

White, R. K. and Edwards, W. C. and Farrar, A. and Plodinec, M. J. (2015), "A practical approach to bulding resilience in America's communities", *American Behavioral Scientist*, Vol. 59, No. 2, pp. 200-219.

Wolf, A., Swith, j., Swinney, H. & Vastando, J. (1985). "Determining lyapunov exponent from a time series; Physica, 16 D: 285-317.

Yusuf, A. and Resosudarmo. B. (2007), "Searching for equitable energy price reform for Indonesia", *Department of Economics, Padjadjaran University*, Munich Personal Repec Archive (MPRA.), No. 19, pp. 1-44.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

The Effect of Gas Price on the Resilience of the Gas Distribution System in Iran

Teymour Mohammadi[1]
Hamid Amadeh[2]
Atefeh Taklif[3]
Khalil Ghadimidizaj[4]

Received 17 Mar 2019 Accepted 17 June 2019

Abstract

The upward trend of natural gas consumption as a result of gas supply development in recent years necessitates the need to study the resilience of the natural gas distribution system more than ever. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effect of natural gas price liberalization on the resumption of the gas supply system in Iran. In order to measure the fluctuation of the natural gas distribution system, in the first stage, Lyapunov's view was calculated by using the Rosen-Einstein method, based on the consumption of natural gas in the household sector during the period from 2005 to 2018. In the next step, by using the Johansen-Uuselus Coincidence Method and the Vector Error Correction Model (VECM), the relationship between the price of natural gas and the volatility of the Iranian gas distribution system has been investigated. According to the results of the model, the price of natural gas after the law enforcement of subsidies has led to a reduction in the resilience of the gas supply system; however, before implementing the targeted subsidy policy, the natural gas price has a positive resilience on gas distribution system fluctuations. This could be resulted from the real fall in natural gas prices due to inflation and a sharp increase in the exchange rate in the years after the targeted subsidy law came into force.

Key Words: Gas Price, Lyapunov Power, Resilience of Gas Distribution, VECM, Gas Consumption

JEL classification: *Q41, Q48*

1. Associate Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran: (atmahmadi@gmail.com)
2. Assistant Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran (amadeh@gmail.com)
3. Assistant Professor of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran (a_taklif@yahoo.com)
4. Ph.D. in Oil and Gas Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran (khghadimi7@gmail.com)