

شبیه‌سازی تابع تقاضای بنزین و نفت گاز در حمل و نقل زمینی ایران، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک

دکتر علی قنبری، محسن خضری و آرش اعظمی*

تاریخ وصول: 1387/8/25 تاریخ پذیرش: 1387/11/16

چکیده:

در این مطالعه، با استفاده از روند متغیرهای تأثیرگذار بر تقاضای انرژی بخش حمل و نقل زمینی ایران، وضعیت آتی تقاضای انرژی (بنزین و نفت گاز) بخش حمل و نقل زمینی ایران پیش‌بینی شده است؛ به طوری که با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA)، دو فرم از معادلات تقاضای انرژی غیرخطی بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران شبیه‌سازی شده است. مدل شبیه‌سازی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GATEDS)، با استفاده از داده‌های سالیانه‌ی سال‌های 1375 تا 1386 و متغیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی (GDP)، مسافت طی شده توسط خودروها و ارزش تجمعی تعداد خودروهای تولیدی و وارداتی بسط داده شده است. نتایج شبیه‌سازی شده در این مقاله نمایی و دومی درجه‌ی دوم می‌باشند؛ نتایج تحقیق نشان می‌دهد که فرم درجه‌ی دوم تابع تقاضای بنزین بخش حمل و نقل زمینی و فرم نمایی تابع تقاضای نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی، با معیارهای کارایی شبیه‌سازی بهتر، نتایج بهتری را در پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل زمینی ایران فراهم می‌کند و می‌تواند در پروژه‌های بخش انرژی ایران به کار برده شوند.

طبقه بندی JEL: Q_{41} , C_{15} , C_{53} , C_{61}

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، حمل و نقل، تقاضای انرژی، الگوریتم ژنتیک

* به ترتیب، استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس و کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی
(dr_alighanbari@yahoo.com)

1- مقدمه

از نظر اقتصادی حمل و نقل مجموعه‌ای از خدمات است که انتقال و جابه‌جایی کالا و انسان از یک نقطه به نقطه دیگر را امکان‌پذیر می‌سازد و از این طریق ارزش افزوده‌ای در اقتصاد ایجاد می‌کند (هوشمند و الاهی، 1384). مشخصه‌های بارز همه‌ی شیوه‌های حمل و نقل مصرف سوخت در حد گسترده و به عنوان یکی از اصلی‌ترین کالاهای واسطه در فرآیند تولیدی آنها می‌باشد. به طوری که بخش حمل و نقل، با متوسط مصرف سالانه‌ی 25 درصد از انرژی مصرفی در کشور (ترازنامه‌ی انرژی سال 1386) از مصرف‌کنندگان عمده‌ی انرژی کشور به حساب می‌آید؛ یکی از مهمترین شیوه‌های حمل و نقل در دنیا و به‌خصوص در شرایط جغرافیایی کشور ایران حمل و نقل زمینی می‌باشد؛ بنابراین، به منظور اعمال چشم‌اندازی در برابر تصمیمات سیاست‌گذاران این بخش از اقتصاد کشور، در مدیریت بهره‌وری و تأمین تقاضای انرژی بخش حمل و نقل، پیش‌بینی تقاضای انرژی آتی بخش حمل و نقل زمینی ایران سودمند خواهد بود.

در مطالعات متعددی رابطه‌ی GDP و ساختار تشکیل دهنده‌ی آن به عنوان شاخص فعالیت‌های اقتصادی یک کشور، بر مصرف انرژی به اثبات رسیده است و خط سیر تقاضای انرژی، می‌تواند به وسیله‌ی تغییرات زیر بخش‌های اقتصادی، رشد جمعیت و شهرسازی، و صادرات و واردات یک کشور توصیف شود. در این مقاله به منظور پیش‌بینی تقاضای آتی بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران، با استفاده از خط سیر مهمترین متغیرهای کلان اقتصادی تأثیرگذار بر تقاضای انرژی، مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و ارزش تجمعی تعداد خودروهای تولیدی و وارداتی، با استفاده از داده‌های سالیانه‌ی سال‌های 1375 تا سال 1386 و روش الگوریتم ژنتیک (GA^1)، اقدام به شبیه‌سازی² توابع تقاضای نمایی و درجه‌ی دوم بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران شده است. سؤال مورد بررسی در این مقاله این است که کدام‌یک از توابع تقاضای درجه‌ی دوم یا نمایی شبیه‌سازی شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک، دارای معیارهای کارایی شبیه‌سازی بهتری در شبیه‌سازی تقاضای انرژی (بنزین و نفت گاز) بخش حمل و نقل زمینی ایران

¹ Genetic Algorithm

² Simulation

هستند. مقاله‌ی مذکور در 7 بخش تنظیم شده است؛ در بخش دوم، پیشینه‌ی مطالعات انجام شده ارائه شده است. بخش سوم مقاله به مروری کوتاه بر مبانی فکری الگوریتم ژنتیک می‌پردازد. در بخش چهارم، معیارهای بررسی کارایی شبیه سازی توابع شبیه سازی شده ارائه شده است. در بخش پنجم، ارزش پارامترهای توابع درجه‌ی دوم و نمایی تقاضای بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران، استخراج شده است و در نهایت در بخش ششم، با استفاده از این توابع شبیه‌سازی شده، روند آتی تقاضای بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران پیش‌بینی شده است.

2- پیشینه‌ی تحقیق

مطالعات انجام شده به وسیله‌ی کرافت و کرافت³ (1978) بر روی مصرف انرژی و شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی در آمریکا نقطه‌ی شروعی برای مطالعات متمرکز روی این مباحث بوده است. آنها برای بررسی رابطه‌ی علی بین مصرف انرژی و GDP این کشورها طی سال‌های 1974-1947 از روش‌های سمیز⁴ (1972) استفاده کردند و به یک رابطه‌ی علی دو طرفه بین GDP و مصرف انرژی رسیدند. در دیگر کشورها نیز نتایج قابل قبولی استخراج شده است. هوانگ و گام⁵ (1992) در تایوان، به یک رابطه‌ی علی دو طرفه‌ی مثبت بین GDP و مصرف انرژی رسیدند. یو و چوی⁶ (1985) به یک رابطه‌ی علی و معلولی دو طرفه‌ی مثبت برای کره جنوبی و فیلیپین رسیدند.

جانیورت و اوزترک⁷ (2006) به منظور برآورد تقاضای نفت با استفاده از روش بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک، با هدف تخمین ارزش آتی تقاضا برای نفت، به ارایه‌ی سه مدل غیر خطی تقاضا برای نفت در ترکیه پرداخته‌اند. از میان این سه مدل، مدلی که متغیرهای مستقل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، واردات نفت و واردات و

³ Keraft and Keraft

⁴ Smis

⁵ Hwang and Gum

⁶ Yu and Choi

⁷ Canyurt and Ozturk

فروش کامیون را به عنوان شاخص پارامترهای طرح به کار می‌برد، با مجموع مجذور خطای (SSE)⁸ پایین‌تر راه حل بهتری را در مشاهده داده‌ها فراهم می‌کند. تکساری⁹ (2007) به منظور برآورد تقاضای انرژی با استفاده از روش بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها (ACO)¹⁰، با هدف تخمین ارزش آتی تقاضای انرژی در ترکیه تا سال 2025، به ارزیابی توابع خطی و درجه‌ی دوم تقاضای انرژی در ترکیه، با استفاده از متغیرهای تولید ناخالص داخلی، جمعیت، صادرات و واردات پرداخته است. نتایج مقاله نشان داد که تابع درجه‌ی دوم با SSE پایین‌تر، راه حل بهتری را در مشاهده داده‌ها فراهم می‌کند.

آنلر¹¹ (2008)، به منظور پیش بینی تقاضای انرژی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO)¹² با هدف تخمین ارزش آتی تقاضای انرژی در ترکیه تا سال 2025، به ارزیابی توابع خطی و درجه‌ی دوم تقاضای انرژی در ترکیه، با استفاده از متغیرهای تولید ناخالص داخلی، جمعیت، صادرات و واردات پرداخته است. نتایج مقاله نشان داد که تابع درجه‌ی دوم با SSE پایین‌تر، راه حل بهتری را در مشاهده داده‌ها فراهم می‌کند.

ابونوری و شیوه (1382) به برآورد تابع تقاضای تقاضای بنزین در ایران به صورت تابعی از قیمت واقعی بنزین، جمعیت، درآمد ملی، عمر متوسط خودروهای موجود و انبارهای وسایل نقلیه‌ی بنزین سوز، با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) پرداخته‌اند. آن‌ها به کشش‌ناپذیری تقاضای بنزین در ایران نسبت به تغییرات حقیقی قیمت بنزین رسیده‌اند و آن را ناشی از دستوری بودن تعیین قیمت بنزین در ایران دانسته‌اند.

چیت‌نیس (1384) تابع تقاضای بنزین را با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری و مفهوم روند ضمنی برآورد کرده‌اند؛ نتایج مقاله نشان داد که تقاضای بنزین در کوتاه مدت و بلند مدت نسبت به قیمت بی‌کشش و نسبت به درآمد، در کوتاه مدت بی‌کشش و در بلند مدت باکشش است.

⁸ Sum Squared Error

⁹ Toksari

¹⁰ Ant Colony Optimization

¹¹ Unler

¹² Particle Swarm Optimizatoion

3- مبانی نظری الگوریتم ژنتیک (GA)

3-1- معرفی مدل

الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هلند¹³ در سال 1975 مطرح شد و در سال‌های بعد توسط محققان دیگر توسعه یافت. الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه‌ی محاسبه‌ی تکاملی¹⁴ است که در حال حاضر به عنوان بخشی از هوش مصنوعی¹⁵ به سرعت در حال رشد است. ایده‌ی اصلی این الگوریتم در نظریه‌ی تکاملی داروین¹⁶ نهفته است. از نظر کاربردی، الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی مسائل است که اساس آن بر انتخاب طبیعی¹⁷ (عامل اصلی تکامل زیستی) و برخی از مفاهیم مهم از علم ژنتیک، استوار است. در این روش برای بهینه‌سازی تابع هدف (تابع شایستگی¹⁸) مسأله، از یک جمعیت¹⁹ اولیه کروموزوم‌ها²⁰ (افراد²¹) که در حقیقت پاسخ‌های اولیه مسأله هستند، به یک جمعیت جدید از کروموزوم‌ها یا یک نسل²² جدید که در حقیقت پاسخ‌های ثانویه مسأله مفروض است، می‌رسد. با تکرار این عملیات و تولید جمعیت جدید از جمعیت قبلی در هر مرحله و در نتیجه رسیدن به نسل‌های موفق، جمعیت به سمت یک پاسخ بهینه رشد خواهد کرد.

فرض کنید در آغاز اندازه‌ی جمعیت p_z باشد. ارزش p_z به وسیله‌ی کروموزوم‌هایش تعیین می‌شود که می‌تواند تصادفی یا غیر تصادفی باشد. الگوریتم ژنتیک در هر مرحله برای رسیدن از یک جمعیت به نسل بعد از سه عمل اصلی استفاده می‌کند. این سه عملگر²³ اصلی شامل تکثیر²⁴، هم‌گذری²⁵ و جهش²⁶ است.

¹³ Holland¹⁴ Evolutionary Computing¹⁵ Swarm Intelligence¹⁶ Darwin¹⁷ Natural Selection¹⁸ Fitness Function¹⁹ Population²⁰ Chromosomes²¹ Individuals²² Generation²³ Operator²⁴ Reproduction²⁵ Crossover²⁶ Mutation

تکثیر فرآیندی است که با استفاده از بعضی از عملگرهای انتخابی، از قبیل تورنمنت²⁷ (گولدرگ و دب،²⁸ 1991)، بهترین رشته‌ی منفردها را، همراه با (یا بدون) به کار بردن سنجش شایستگی، انتخاب می‌کند. در فرآیند تکثیر اعضایی که اجازه‌ی تکثیر در طول نسل جاری را داشته باشند، انتخاب می‌شوند. این اعضا براساس ارزش‌های شایستگی آنها (F) انتخاب می‌شوند و بهترین منفردها به نسل‌های آینده فرستاده می‌شوند.

همگذری مکانیسمی را برای مبادله‌ی کروموزوم‌ها در طی جفت‌گیری والدین فراهم می‌کند. پس از جفت‌گیری والدین، فرزندی با یک مجموعه کروموزوم، که آمیخته‌ای از کروموزوم جفت‌ها است، به وجود می‌آید. برای مثال، جفت 1 دارای کروموزوم‌های $abcde$ است و جفت 2 دارای کروموزوم‌های $ABCDE$ است. یک مجموعه کروموزوم احتمالی برای فرزند $abcDE$ است که موقعیت بین کروموزوم‌های D و c نقطه‌ی همگذری است.

جهش عملگری است که تغییرات تصادفی خود به خودی را در کروموزوم‌های مختلف به وجود می‌آورد. یک روش ساده برای اجرای جهش، اصلاح یک یا چند ژن است. عملگر جهش به دو صورت نقش تعیین‌کننده‌ای در GA ‌ها ایفا می‌کند: (الف) جایگزینی ژن‌های از دست رفته از جمعیت در طول فرآیند انتخاب، به طوری که آنها می‌توانند در نسل جدید آزموده شوند؛ و (ب) فراهم کردن ژن‌هایی که در جمعیت اولیه حاضر نیستند.

پس از تولید جمعیت، الگوریتم ژنتیک بررسی می‌کند تا مشخص شود که آیا بهترین والدین تکرار شده‌اند یا نه. اگر جواب منفی باشد، یک فرد به صورت تصادفی انتخاب می‌شود و مجموعه‌ی کروموزوم‌های بهترین والدین، داخل آن فرد گذاشته می‌شود.

کروموزوم‌ها از رشته‌ای از علائم که بیت²⁹ نامیده می‌شوند (به صورت باینری،³⁰ دودویی)، تشکیل شده‌اند. نمایش ضرایب $GATEDS$ ³¹ در رشته‌های باینری، طول رشته‌های باینری مورد نیاز را تعیین کند. ارزش حد پایین، کلاً با

²⁷ Tournament

²⁸ Goldberg and Deb

²⁹ Bit

³⁰ Binary

³¹ Genetic Algorithm Transport Energy Demand Simulation

ارقام صفر و ارزش حد بالا، کلاً با ارقام 1 علامت‌گذاری می‌شود. ارزش‌های بین حد بالا و پایین نیز، به طور خطی مقیاس‌بندی شده و به رشته‌های باینری متناظر، مربوط می‌شوند. برای مثال، نمایش رشته‌های دوبیتی، می‌تواند به صورت زیر باشد:

ارزش واقعی: 1 0/67 0/33
نمایش باینری: 11 10 01 00

یک طرح با متغیرهای متعدد، می‌تواند به وسیله‌ی پیوسته‌سازی (از ابتدا تا انتها) رشته‌ها در هر دسته‌ی مفروض، نشان داده شود. اگر W_i را ضریب مدل *GATEDS* در نظر بگیریم، پیوسته‌سازی متغیرهای وزنی می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود:

متغیرهای وزنی: W_i W_1 W_2
عامل باینری: ۱۰،۰۱ ۱۰۰،۱۰۱۰ ۰۱،۰۱

هنگام نمایش رشته‌ی باینری، رشته‌ای ممکن است، برای نشان دادن متغیرها با دقت بیشتر، نیاز به استفاده از شمار بیشتری از بیت‌ها داشته باشد. شماری از ارقام باینری مورد نیاز برای یک نمایش مناسب، از معادله‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$2^m \geq \frac{w_i^u - w_i^l}{\Delta w} \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، w_i^u و w_i^l به ترتیب حد پایین و بالا هستند و Δw دقت نمایش متغیر طرح است و m تعداد مورد نیاز از ارقام باینری است. اگر چه میزان بالای دقت، می‌تواند به وسیله‌ی افزایش طول رشته حاصل شود، اما این کار همیشه مطلوب نیست، زیرا در صورت افزایش طول رشته‌های باینری، هزینه‌ی محاسباتی *GA*ها افزایش می‌یابد. نگاشت هر رشته‌ی باینری در مجموعه‌ی اعداد حقیقی، به روش زیر انجام می‌شود.

$$w_i = w_i^l + \Phi_i \frac{w_i^u - w_i^l}{\Delta w} + 1 \quad \text{و} \quad i=1, 2, 3, \dots, Z \quad (2)$$

در رابطه‌ی فوق، Φ_i عدد صحیح و Z تعداد کل فاکتورهای وزنی است. با عملگرهای قبلی، یک جامعه در شکل صفات تغییر می‌کند و یک نسل جدید را

نشان می‌دهد. جستجوهای تکراری، بعد از نسل‌های تکاملی، منجر به طراحی یک جمعیت بهینه می‌شود.

GAها با عملگرهای بیان شده، بر اساس ارزیابی شایستگی کار می‌کنند. ارزیابی شایستگی، خوبی طراحی را نشان می‌دهد و بنابراین، تابع هدف یک انتخاب منطقی برای سنجش شایستگی است. دو فرم از مدل GATEDS شایسته‌ترین اجزا را به وسیله‌ی مینیمم کردن مجذور خطا انتخاب می‌کند. نهایتاً الگوریتم ژنتیک به صورت تصادفی مجموعه‌ای از مدل‌ها را انتخاب می‌کند و آنها را برای دستیابی به بهترین مدل مورد بررسی قرار می‌دهد.

فرم درجه‌ی دوم GATEDS، به صورت معادله زیر در نظر گرفته شود:

$$\begin{aligned} \text{GATEDS}_{\text{quad}} = & W_1 + W_2 X_1 + W_3 X_2 + W_4 X_3 + W_5 X_4 + W_6 X_1 X_2 \\ & + W_7 X_1 X_3 + W_8 X_1 X_4 + W_9 X_2 X_3 + W_{10} X_2 X_4 + W_{11} X_3 X_4 \\ & + W_{12} X_1^2 + W_{13} X_2^2 + W_{14} X_3^2 + W_{15} X_4^2 \end{aligned} \quad (3)$$

فرم نمایی GATEDS به صورت معادله‌ی زیر در نظر گرفته شود:

$$\text{GATEDS}_{\text{exp}} = W_1 + W_2 X_1^{W_3} + W_4 X_2^{W_5} + W_6 X_3^{W_7} + W_8 X_4^{W_9} \quad (4)$$

در رابطه‌ی فوق، X_1 ، X_2 و X_3 به ترتیب نشانگر کل مسافت طی شده‌ی سالیانه‌ی وسایل نقلیه در حمل و نقل برون‌شهری (DT)، تولید ناخالص داخلی (GDP) و جمعیت (P) است. همچنین، X_4 برای تابع تقاضای بنزین، ارزش تجمعی تعداد خودروهای سواری و وانت تولیدی و وارداتی از سال 1375 در هر سال (CP)، و برای تابع تقاضای نفت‌گاز، ارزش تجمعی تعداد اتوبوس و مینی‌بوس و کامیون تولیدی و وارداتی از سال 1375 در هر سال (TC) است. W_i فاکتورهای وزنی هستند.

3-2- تابع شایستگی

برای بهینه‌یابی پارامترهای مدل‌ها، فرض کنید که E_i^{observed} نشانگر تقاضای بنزین و نفت گاز واقعی در دوره‌ی i است و $E_i^{\text{simulated}}$ تقاضای بنزین و نفت گاز شبیه‌سازی شده توسط مدل در دوره‌ی i باشد. در این صورت، با تفاضل مقدار

شبیه‌سازی شده از مقدار حقیقی‌اش، خطای شبیه‌سازی $(SE)^{32}$ به دست خواهد آمد که به صورت رابطه‌ی (5) است.

$$SE = E_i^{observed} - E_i^{simulated} \quad (5)$$

پارامترهای مدل‌ها باید به نحوی بهینه‌یابی شود که مجموع مجذور خطای (SSE) مدل‌های شبیه‌سازی شده مینیمم باشد. دلیل اینکه به جای مجموع ساده‌ی خطاهای شبیه‌سازی، مجموع مربعات آنها در نظر گرفته شده است، این است که نه تنها انحراف‌های مثبت و منفی یکدیگر را خنثی نکنند، بلکه انحراف‌های بزرگ نسبت به انحراف‌های کوچک از اهمیت بیشتری برخوردار شوند. SSE به صورت رابطه‌ی (5) محاسبه می‌شود.

$$Min f(v) = \sum_{i=1}^n (E_i^{observed} - E_i^{simulated})^2 \quad (6)$$

مدل $GATEDS$ با استفاده از GA و یافتن مینیمم مطلق تابع شایستگی گسترش یافته است. در این مقاله تابع شایستگی یعنی $f(v)$ ، برابر با مجموع مجذور مربع خطاها (SSE) است.

3-3- گسترش مدل $GATEDS$

X_i به صورت یک ماتریس [با ابعاد $p \times j$] با ابعاد، در فضای جستجوی تصادفی GA در نظر گرفته می‌شود، به طوری که $j = (1, 2, 3, \dots, p)$ و $x = (0, 1, 0, 1, 0, 1, \dots, 1)$ و t تعداد کل بیت‌های باینری در رشته است. t به عنوان شمار نسل در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس الگوریتم حل عمومی $GATEDS$ در شکل (1) نشان داده شده است:

الگوریتم GA بسط داده شده برای شبیه‌سازی تابع تقاضای انرژی

گام 0: تخصیص مقدار اولیه برای داده‌های حد پایین (w_i^l) و حد بالا (w_i^u) در مدل $GATEDS$ ؛ و تخصیص پارامترهای وزنی برای هر معادله، مانند رشته‌های باینری به شکل یک کروموزوم (X) .

گام 1: تولید کردن نخستین جمعیت تصادفی از پارامترهای مدل $(t = 1; selx)$

³² Simulation Error

فرمول‌های نظری مشخصی برای اختصاص دادن به اندازه‌ی جمعیت وجود ندارد، اما با توجه به پیشنهاد کارول برای این نوع مسأله‌ها آن را بین 50 تا 100 می‌گیریم.

گام 2: رمز گشایی همهی پارامترهای مدل با استفاده از رابطه‌ی (2) به منظور نگاشت کروموزوم‌ها، متناظر با اعداد حقیقی.

گام 3: محاسبه‌ی تابع شایستگی برای هر کروموزوم (x_j) با استفاده از رابطه‌ی (6).

گام 4: باز تولید جمعیت، با توجه به توزیع ارزش‌های تابع شایستگی.

گام 5: انجام عملگر همگذری، به وسیله‌ی یک انتخاب تصادفی با احتمال p_c .

احتمال همگذری بین 0/05 و 0/06 برای همگذری یکنواخت است (گولدبرگ، 1989).

گام 6: انجام عملگر جهشی به وسیله‌ی انتخاب تصادفی با احتمال p_m برای تولید یک جمعیت جدید. با توجه به اندازه‌ی جمعیت (PZ)، احتمال جهش (p_c)

می‌تواند از نسبت $\frac{1}{p_z}$ به دست آید (کارل، 1996).

گام 7: اگر تفاوت بین شایستگی میانگین جمعیت و شاخص بهترین شایستگی جمعیت، کمتر از 0/05 است باشد، فرایند مجدداً از گام اول شروع می‌شود. در این صورت $t = t + 1$ خواهد بود.

گام 8: اگر t برابر با ماکسیمم تعداد نسل $t =$ باشد، کروموزوم دارای بالاترین شایستگی، به عنوان راه حل بهینه‌ی مشکل پذیرفته می‌شود؛ در غیر این صورت $t = t + 1$ در نظر گرفته می‌شود و فرایند مجدداً از گام دوم آغاز می‌شود.

4- معیار ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی

در این مقاله به منظور ارزیابی دقیقتر عملکرد توابع شبیه‌سازی شده، غیر از معیار SSE ، از دو معیار شناخته شده ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی (پیش‌بینی) دیگر نیز استفاده شده است. اولی که از خانواده محاسبات میانگین خطای استاندارد می‌باشد، میانگین مجذور خطاهای (MSE)³³ بین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده

³³ Mean Square Error

تقاضای بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران تعریف شده است و به صورت رابطه‌ی (7) محاسبه می‌شود:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (E_i^{observed} - E_i^{simulated})^2}{n} \quad (7)$$

گاهی، محاسبه خطای پیش‌بینی بر حسب درصد، سودمندتر از محاسبه بر حسب مقادیر است. بنابراین دومین معیار، میانگین مطلق درصد خطا (MAPE)³⁴ بین مقادیر واقعی و شبه‌سازی شده تقاضای بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران، معیاری مهم برای یافتن درصد خطای پیش‌بینی است که به صورت رابطه‌ی (8) محاسبه می‌شود:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{E_i^{observed} - E_i^{simulated}}{E_i^{observed}} \right|}{n} \quad (8)$$

در روابط (7) و (8)، n نشانگر تعداد مشاهدات است.

5- بهینه‌سازی ارزش پارامترهای GATEDS برای داده‌های جاری

5-1- معرفی متغیرهای مدل

در این مقاله به منظور شبیه‌سازی توابع تقاضای بنزین و نفت گاز در حمل و نقل زمینی ایران، از داده‌های سالیانه‌ی سال‌های 1375 تا سال 1386 استفاده شده است. داده‌ها از منابع متفاوتی گردآوری شده است. GDP در هر سال (بر حسب میلیارد ریال) و جمعیت در هر سال (بر حسب صد نفر) از مرکز آمار ایران، مسافت پیموده شده توسط وسایل نقلیه‌ی در حمل و نقل برون شهری در هر سال (بر حسب ده هزار کیلومتر) از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، تعداد خودروهای سبک و سنگین تولیدی و وارداتی در هر سال (بر حسب دستگاه) از وزارت صنایع و معادن و مصرف بنزین و نفت گاز (بر حسب هزار لیتر) در حمل و نقل زمینی در هر سال نیز از ترازنامه‌ی انرژی معاونت امور انرژی وزارت نیرو در سال‌های مختلف، جمع‌آوری شده است.

به علت در دسترس نبودن آمار مجموع مسافت طی شده توسط خودروهای در ایران، تنها آمار مسافت طی شده توسط خودروهای باری و مسافرتی در بخش حمل

³⁴ Mean Absolute Percentage Error

و نقل برون شهری در الگو وارد شده است. به این منظور، تعداد سفرهای انجام شده توسط خودروها به تفکیک نوع خودرو در هر سال، در میانگین مسافت طی شده در هر سفر توسط آن خودروها در هر سال، ضرب شده است و از مجموع مسافت طی شده توسط انواع مختلف خودروها، کل مسافت طی شده خودروهای باری و مسافرتی در بخش حمل و نقل برون شهری در هر سال به دست آمده است. آمار تعداد کل خودروها در هر سال در ایران موجود نیست و تنها آمار تولید و واردات خودرو در هر سال موجود است. افزایش تعداد کل خودروها در هر سال نسبت به سال گذشته، عامل افزایش تقاضای بنزین در آن سال است. چون این افزایش به علت تولید و واردات خودروی جدید در آن سال روی داده است، از این رو، در این تحقیق ارزش تجمعی تعداد خودروهای تولیدی و وارداتی از سال 1375، برای هر سال محاسبه شده و به جای آمار تعداد کل خودروها در هر سال، در برآورد مدل مورد استفاده قرار گرفته شده است. ارزش تجمعی تعداد خودروهای سواری و وانت تولیدی و وارداتی از سال 1375 در هر سال (بر حسب دستگاه)، در شبیه‌سازی توابع تقاضای بنزین به کار رفته است. همچنین، ارزش تجمعی تعداد اتوبوس و مینی‌بوس و کامیون تولیدی و وارداتی از سال 1375 در هر سال (بر حسب دستگاه)، در شبیه‌سازی توابع تقاضای نفت‌گاز به کار رفته است.

5-2- بهینه‌سازی ارزش پارامترهای

از نرم‌افزار *MATLAB 7* به منظور برنامه‌نویسی *GAIDS* استفاده شده است. دو فرم مدل *GAIDS* با پارامترهای *GA* نشان داده شده در جدول (1) شبیه‌سازی شده‌اند.

جدول 1: پارامترهای *GA*

اندازه	پارامتر
100	اندازه جمعیت (p_z)
1000	شماره نسل (t)
7 برای معادله های (3) و 10 برای معادله (4)	شمار متغیرهای وزنی (z)
0/5	احتمال همگذری (p_c)
0/01	احتمال جهش (p_m)

تابع تقاضای نمایی شبیه‌سازی شده برای بنزین که از روش GA به دست آمده است، به صورت رابطه‌ی (9) است:

$$\begin{aligned}
 GATEDS_{exp} &= 12/30433 + 0/07012X_1^{1/28127} - 13/71332X_2^{0/33879} \\
 &\quad + 0/00033X_3^{1/80765} + 6/2858X_4^{0/9165} \\
 R^2 &= 0/9966 \quad SSE = 453236000000
 \end{aligned} \tag{9}$$

تابع تقاضای درجه‌ی دوم شبیه‌سازی شده برای بنزین که از روش GA به دست آمده است، به صورت رابطه‌ی (10) است:

$$\begin{aligned}
 GATEDS_{quad} &= 12/49589 + 3/8049X_1 - 0/580378X_2 - 4/25193X_3 \\
 &\quad - 1/49388X_4 - 0/00000264X_1X_2 - 0/00000162X_1X_3 \\
 &\quad - 0/000000077X_1X_4 + 0/000037X_2X_3 + 0/0000017X_2X_4 \\
 &\quad + 0/0000011X_3X_4 + 0/000000057X_1^2 + 0/00003036X_2^2 \\
 &\quad + 0/0000114X_3^2 + 0/0000000256X_4^2 \\
 R^2 &= 0/9972 \quad SSE = 367093000000
 \end{aligned} \tag{10}$$

تابع تقاضای نمایی شبیه‌سازی شده برای نفت‌گاز که از روش GA به دست آمده است، به صورت رابطه‌ی (11) است:

$$\begin{aligned}
 GATEDS_{exp} &= -18/16208 - 0/96918X_1^{1/01764} + 0/81124X_2^{1/22199} \\
 &\quad + 0/00024X_3^{1/82562} - 0/02484X_4^{1/38211} \\
 R^2 &= 0/967 \quad SSE = 661985000000
 \end{aligned} \tag{11}$$

تابع تقاضای درجه‌ی دوم شبیه‌سازی شده برای نفت‌گاز که از روش GA به دست آمده است، به صورت رابطه‌ی (12) است:

$$\begin{aligned}
 GATEDS_{quad} &= -15/996 - 0/081X_1 + 0/04789X_2 - 0/04272X_3 \\
 &\quad + 0/11575X_4 + 0/00000031X_1X_2 + 0/00000075X_1X_3 \\
 &\quad - 0/00000015X_1X_4 + 0/000017X_2X_3 - 0/0000035X_2X_4 \\
 &\quad - 0/0000085X_3X_4 + 0/000000066X_1^2 + 0/00000357X_2^2 \\
 &\quad + 0/000021X_3^2 + 0/00000086X_4^2 \\
 R^2 &= 0/961 \quad SSE = 728140000000
 \end{aligned} \tag{12}$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در توابع تقاضای بنزین، فرم درجه‌ی دوم (معادله‌ی 6) SSE کمتر و در توابع تقاضای نفت‌گاز، فرم نمایی (معادله‌ی 7) SSE کمتری دارد.

5-3- ارزیابی کارایی دو فرم مدل $GATEDS$ در شبیه‌سازی

به منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد توابع شبیه‌سازی شده، به منظور بررسی کارایی توابع شبیه‌سازی شده در شبیه‌سازی (پیش‌بینی) تقاضای بنزین و نفت‌گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران، غیر از معیار SSE ، دو معیار MSE و $MAPE$ بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی تقاضای بنزین و نفت‌گاز در بخش حمل و نقل زمینی ایران، مربوط به شبیه‌سازی دو فرم مدل $GATEDS$ ، به صورت جدول (2) به دست آمده است:

جدول 2: ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی

تابع تقاضای نفت‌گاز		تابع تقاضای بنزین		شرح
$MAPE$	MSE	$MAPE$	MSE	
0/0134	30591112337	0/0076	60678334840	فرم درجه‌ی دوم مدل $GATEDS$
0/0126	55165447826	0/0092	37769706164	فرم نمایی مدل $GATEDS$

مأخذ: محاسبات تحقیق

بر اساس هر دو معیار ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی، توابع تقاضای درجه‌ی دوم بنزین و نمایی نفت‌گاز، عملکرد بهتری را در شبیه‌سازی تقاضای بنزین و نفت‌گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران نشان می‌دهند و می‌توانند از آن‌ها با معیارهای کارایی پیش‌بینی بالاتر، به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای آتی بنزین و نفت‌گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران استفاده کرد.

6- پیش‌بینی تمایل آینده‌ی تقاضای انرژی حمل و نقل زمینی ایران

6-1- شبیه‌سازی متغیرهای مستقل مدل

به منظور پیش‌بینی تمایل آینده‌ی تقاضای انرژی در بخش حمل و نقل زمینی، ابتدا باید متغیرهای مستقل مدل در آینده پیش‌بینی شوند. برای این منظور

شبیه‌سازی متغیرهای مدل بر اساس متغیر زمان، براساس فرم‌های نمایی مدل‌سازی شده است که نتایج آن به صورت زیر است:

تولید ناخالص داخلی در هر سال:

$$GDP = 294434/527 + 3215/865 X^{1/768} \quad R^2=0/995 \quad (13)$$

مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه در حمل و نقل برون‌شهری در هر سال:

$$DT = 600539/109091 + 65305/0272727X \quad R^2=0/978 \quad (14)$$

جمعیت در هر سال:

$$P = 589980/018182 + 10419/527272X \quad R^2=0/9999 \quad (15)$$

ارزش تجمعی تعداد خودروهای سواری و وانت تولیدی و وارداتی از سال

1375 در هر سال:

$$CP = 31610/128 + 22265/64X^{2/291} \quad R^2=0/997 \quad (16)$$

ارزش تجمعی تعداد اتوبوس، مینی‌بوس و کامیون تولیدی و وارداتی از سال

1375 در هر سال:

$$TC = 3348/0207 + 790/97531X^{2/24652} \quad R^2=0/988 \quad (17)$$

X به عنوان متغیر توضیحی، نشان دهنده سری زمانی است و مقادیر X در هر

سال به شرح زیر است.

$$X = (1375 = 1, 1376 = 2, 1377 = 3, \dots)$$

6-2- آزمون مدل‌های شبیه‌سازی شده

برای استفاده از این مدل‌های شبیه‌سازی شده و برای تخمین مقادیر متغیرها

در آینده، باید ابتدا از غیر تصادفی بودن پسماندهای³⁵ مدل‌های شبیه‌سازی شده

³⁵ Residual

اطمینان حاصل کرد. بدین منظور، باید پایایی³⁶ جملات پسماند را بررسی کنیم. می‌توان نتیجه گرفت که در صورت پایایی جملات پسماند توابع شبیه‌سازی شده، به علت بالا بودن R^2 در توابع، مسیر تغییرات مقادیر تخمینی توسط مدل، تقریباً منطبق بر مسیر اصلی تغییرات مقادیر است و این نشان خوبی برآزش در تخمین پارامترهای مدل است.

6-2-1-آزمون ریشه‌ی واحد³⁷

در این تحقیق از آزمون ریشه واحد دیکی - فولر تعمیم یافته³⁸ (ADF) و فلیپس - پرون³⁹ (PP)، به منظور بررسی وضعیت پایایی جمله‌های پسماند استفاده شده است. تعداد وقفه‌های متغیر وابسته را که لازم است برای از بین بردن خودهمبستگی بین جملات اخلال در رگرسیون لحاظ کرد توسط ضابطه‌های آکائیک⁴⁰ (AIC)، شوارز - بیزین⁴¹ (SBC) و حنان - کوئین⁴² (HQC) تعیین می‌شود. با استفاده از نرم افزار *Eviews*، آزمون ADF ، PP برای همه‌ی پسماند مدل‌ها انجام شده و نتایج خلاصه‌شده در جدول (3) و (4) به دست آمده است.

جدول 3: نتایج آزمون ADF بر روی پسماندهای مدل‌ها (روی سطح)

متغیر	DT	GDP	P	PC	TC
آماره برای مدل دارای عرض از مبدا و روند	-2/421	-2/213	-2/864	-3/758	-5/514
ارزش بحرانی در سطح 5 درصد	-4/008	-4/008	-4/107	-4/107	-4/107
تعداد وقفه	0	0	1	1	1
آماره برای مدل دارای عرض از مبدا و بدون روند	-2/522	-2/147	-3/226	-5/125	-2/637
ارزش بحرانی در سطح 5 درصد	-3/212	-3/212	-3/259	-3/259	-3/259
تعداد وقفه	0	0	1	1	1
آماره برای مدل فاقد عرض از مبدا و روند	-2/582	-2/323	-3/549	-5/286	-2/902
ارزش بحرانی در سطح 5 درصد	-1/982	-1/982	-1/988	-1/988	-1/988
تعداد وقفه	0	0	1	1	1

مأخذ: محاسبات تحقیق

³⁶ Stationarity

³⁷ Unit Root Test

³⁸ Augmented Dickey-Fuller (ADF)

³⁹ Phillipps-Perron

⁴⁰ Akaike

⁴¹ Schwarz-bayesian

⁴² Hannan-Quinn

جدول 4: نتایج آزمون PP بر روی پسماندهای مدل‌ها (روی سطح)

متغیر	DT	GDP	P	PC	TC
آماره برای مدل دارای عرض از مبدا و روند	-3/961	-2/432	-2/126	-1/855	-2/103
ارزش بحرانی در سطح 5 درصد	-4/008	-4/008	-4/008	-4/008	-4/008
تعداد وقفه	0	0	2	2	2
آماره برای مدل دارای عرض از مبدا و بدون روند	-2/53	-2/634	-2/562	-2/223	-2/653
ارزش بحرانی در سطح 5 درصد	-3/212	-3/212	-3/212	-3/212	-3/212
تعداد وقفه	1	1	3	2	2
آماره برای مدل فاقد عرض از مبدا و روند	-2/582	-2/721	-2/891	-2/436	-2/902
ارزش بحرانی در سطح 5 درصد	-1/982	-1/982	-1/982	-1/982	-1/982
تعداد وقفه	0	1	3	2	2

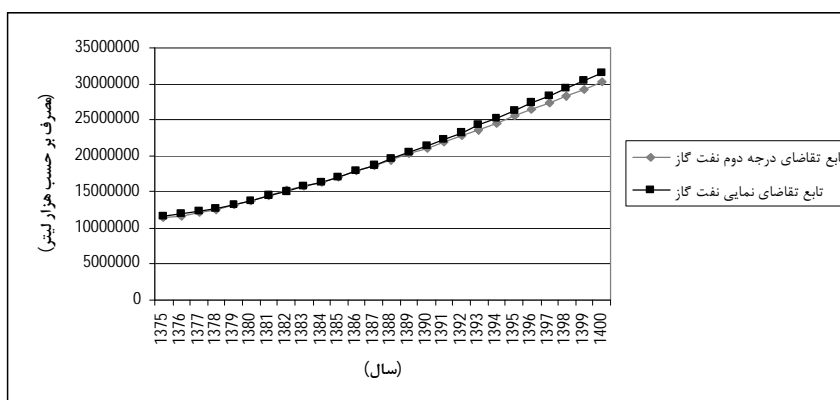
مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به هر دو آزمون ارائه شده در جدول‌های (3) و (4)، تمام پسماندها در سطح پایا هستند.

3-6- پیش‌بینی

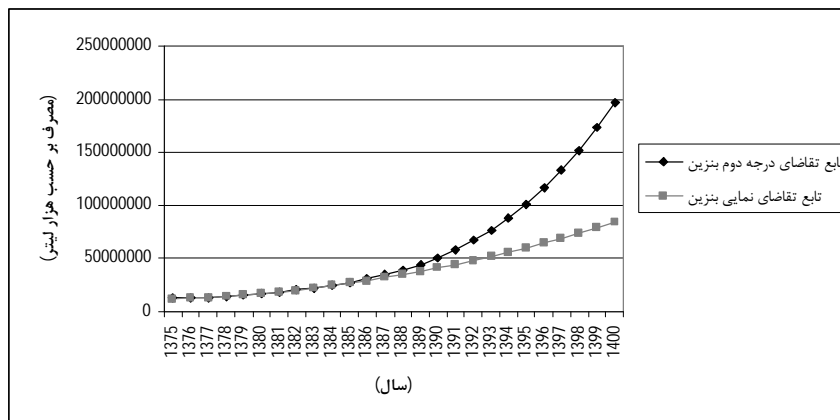
پس از اطمینان از غیر تصادفی بودن پسماندها، پیش‌بینی تقاضای آینده‌ی بنزین و نفت‌گاز در حمل‌ونقل زمینی تا سال 1400، با استفاده از دو فرم $GATEDS$ در نمودارهای (1) و (2) دیده می‌شود.

نمودار 1: تخمین تقاضای آینده‌ی نفت‌گاز در حمل‌ونقل زمینی تا سال 1400



مأخذ: محاسبات تحقیق

نمودار 2: تخمین تقاضای آینده‌ی بنزین در حمل‌ونقل زمینی تا سال 1400



مأخذ: محاسبات تحقیق

7- نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای آینده

تخمین تقاضای انرژی حمل و نقل با استفاده الگوریتم ژنتیک (GATEDS) انجام شده است. GATEDS به وسیله‌ی بهینه‌سازی ارزش پارامترها، داده‌های موجود را به منظور شبیه‌سازی توابع تقاضای انرژی بخش حمل و نقل به کار می‌برد و می‌تواند برای پیش‌بینی تقاضای آتی انرژی به کار برده شود. دو فرم GATEDS با استفاده از داده‌های سال‌های 1375 تا 1386 بسط داده شده است. در توابع تقاضای بنزین بخش حمل و نقل زمینی ایران، فرم درجه‌ی دوم GATEDS، معیارهای کارایی شبیه‌سازی بهتر و در توابع تقاضای نفت‌گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران، فرم نمایی GATEDS، معیارهای کارایی شبیه‌سازی بهتری دارد. فرم‌ها با معیارهای کارایی شبیه‌سازی بهتر، روند مصرف بنزین و نفت گاز حمل و نقل زمینی ایران را بهتر نشان می‌دهند، بنابراین بهتر است که از فرم درجه‌ی دوم GATEDS، برای پیش‌بینی تقاضای آینده‌ی بنزین در بخش حمل و نقل زمینی ایران و از فرم نمایی GATEDS، برای پیش‌بینی تقاضای آینده‌ی نفت گاز در بخش حمل و نقل زمینی استفاده شود. فرم‌های دیگر نیز می‌توانند به کار برده شوند اما تقاضا را با خطای بیشتری برآورد می‌کنند. استفاده از GATEDS به وسیله‌ی ارزیابی مناسب ذخایر انرژی حمل‌ونقل، به توسعه‌ی سیاست‌های مختلف

بخش حمل و نقل کمک می‌کند. همچنین مدل *GATEDS* به ارزیابی کارا و مؤثر مدیریت تقاضای انرژی بخش حمل و نقل کمک می‌کند.

فهرست منابع:

- ختایی، محمود و پروین اقامی. (1384). تحلیل کشش قیمتی تقاضای بنزین دربخش حمل‌ونقل زمینی ایران و پیش‌بینی آن تا سال (1394). پژوهش‌های اقتصادی ایران، 25(7): 23-46.
- ابونوری، عباسعلی و هیوا شیوه. (1385). برآورد تابع تقاضای بنزین در ایران طی دوره‌ی 1381-1347. پژوهشنامه اقتصادی، 6 (3): 205-225.
- چیت‌نیس، مونا. (1384). برآورد کشش قیمتی تقاضای بنزین با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری و مفهوم روند ضمنی. پژوهش‌های اقتصادی، 5(3): 1-15.
- ترازنامه انرژی، معاونت امور انرژی دفتر برنامه ریزی انرژی، وزارت نیرو.
- شرکت پخش و پالایش فرآورده‌های نفتی. گزارش عملکرد سالانه‌ی شرکت ملی پخش و پالایش فرآورده‌های نفت. دفتر آمار و اطلاعات، سال‌های مختلف.
- مرکز آمار ایران. سرشماری نفوس و مسکن کل کشور، سال‌های مختلف.
- مرکز آمار ایران. سالنامه‌های آماری سال‌های مختلف.
- هوشمند، محمود و سعید الهی. (1384). تأثیر زیر ساخت‌های حمل و نقل زمینی کشورهای عضو اکو بر تجارت درون منطقه‌ای. بررسی‌های اقتصادی (اقتصاد مقداری)، 2 (4): 168-137.

Canyurt, O.E., H.K. Ozturk. (2006). Three Different Applications of Genetic Algorithm (GA) Search Techniques on Oil Demand Estimation. Energy Conversion and Management, 47: 3138-3148.

Canyurt, O.G., H.K. Ozturk, A. Hepbasli & Z. Utlu. (2006). Genetic Algorithm (GA) Approaches for the Transport Energy Demand Estimation: Model Development and Application. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 28 (15): 1405-1413.

Carroll, D.L. (1996). Genetic Algorithms and Optimising Chemical Oxygen-Iodine Lasers. In: Wilson, H., et al. (Ed.), Developments in Theoretical and Applied Mechanics, 18: 411-424.

Cheng, P.S., T.W. Lai. (1997). An Investigation of Co-Integration and Causality Between Energy Consumption and Economic Activity in Taiwan. Energy Economics, 19 (4): 435-444.

Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine learning. Addison-Wesley, Harlow, England.

Goldberg, D.E., K. Deb. (1991). A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms. In: Rawlins, G.J.E. (Ed.), Foundations of Genetic Algorithms. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, 69-93.

- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Hwang, D., B. Gum. (1992). The Causal Relationship between Energy and GDP: the Case of Taiwan. *Journal of Energy and Development* Spring: 219-226.
- Kraft, J., A. Kraft. (1978). On The Relationship Between Energy and GDP. *Journal of Energy and Development*, 3: 401-403.
- Sims, C.A. (1972). Money, Income, and Causality. *American Economic Review*, 62: 540-552.
- Toksari, M.D. (2007). Ant Colony Optimization Approach to Estimate Energy Demand in Turkey. *Energy Policy*, 35: 3984-3990.
- Unler, A. (2008). Improvement of Energy Demand Forecasts Using Swarm Intelligence: The Case of Turkey with Projections to 2025. *Energy Policy*, 36: 1937-1944.
- Yu, E.S.H., K.H. Been. (1984). The Relationship Between Energy and GDP: Further Results. *Energy Economics*, 6 (3): 186-190.
- Yu, S.H., J.Y. Choi. (1985). The Causal Relationship Between Energy and GDP: an International Comparison. *Journal of Energy and Development*, 10 (2): 249-272.