آینده‌پژوهی دفاعی، سال اول، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۸/۲۲

از صفحه ۱۱۳ تا صفحه ۱۳۷

پیش‌بینی میزان مخارج دفاعی ایران تا افق ۱۴۰۴؛ با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و PSO

ابوالقاسم گل‌خندان*[۱]

مجید بابائی‌آغ اسمعیلی [۲]

چکیده

بخش دفاعی، یکی از بخش‌های کلیدی کشور ایران است که قسمت مهمی از کل مخارج عمومی را به‌خود اختصاص داده است. لذا تلاش در جهت پیش‌بینی روند آتی این متغیر از اهمیت ویژه‌ای برای سیاست‌گذاران بخش دفاعی برخوردار است. در این مقاله با تکیه بر مبانی نظری مربوط به تابع مخارج دفاعی، به تصریح مدل مخارج دفاعی مناسب برای ایران با هدف دست‌یابی به پیش‌بینی مطلوب پرداخته شده است. لذا با هدف پیش‌بینی روند آتی مخارج دفاعی در ایران تا سال ۱۴۰۴، با استفاده از مبانی نظری در زمینه تابع مخارج دفاعی و به‌کارگیری آن با دو ابزار الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO)، به شبیه‌سازی تابع مخارج دفاعی ایران طی سال‌های ۱۳۹۱- ۱۳۳۸ در قالب سه معادله خطی، نمایی و درجه دوم پرداخته و سپس با استفاده از معیارهای انتخاب مدل رقیب، الگوریتم و مدل برتر انتخاب و اقدام به پیش‌بینی میزان مخارج دفاعی تا سال ۱۴۰۴ شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت که تابع مخارج دفاعی شبیه‌سازی‌شده توسط الگوریتم PSO با فرم نمایی، با ساختار ایران سازگاری بیش‌تری دارد و بنابراین، برای پیش‌بینی مخارج، از نمونه تا سال ۱۴۰۴ انتخاب و برگزیده شده است. نتایج پیش‌بینی نیز نشان‌دهنده آن است که مخارج دفاعی در ایران با شیب نسبتاً ملایمی تا سال ۱۴۰۴ افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی

مخارج دفاعی، شبیه‌سازی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم PSO.

[۱]- دانشجوی دوره دکتری اقتصاد دانشگاه لرستان

[۲]- دانشجوی دوره دکتری اقتصاد دانشگاه ارومیه

* نویسنده مسئول

Email: golkhandana@gmail.com

مقدمه

در چند سال اخیر در مباحث اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی، اصطلاح جدیدی تحت عنوان «چشم‌انداز بیست‌ساله» رایج شده است. در حال حاضر نیز اغلب برنامه‌ها با معیار چشم‌انداز مورد بررسی قرار می‌گیرند. چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران تلفیقی از دو ویژگی است: آرمانی‌بودن و واقع‌نگری. به بیان دیگر در این چشم‌انداز، از یک‌سو تلاش شده است تا اهدافی که امکان دست‌یابی به آن‌ها وجود دارد، مشخص شود. از سوی دیگر، این چشم‌انداز بر مبنای توانایی‌های بالفعل کنونی قرار ندارد؛ بلکه خواستار تحولات و استفاده از پتانسیل‌های موجود است.

هدف از تدوین این سند علاوه بر ایجاد انگیزه، هماهنگ‌ساختن عمل‌کرد دولت‌های مختلف است. در این سند، ایران سال ۱۴۰۴، کشوری است توسعه‌یافته، با جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه، با هویتی اسلامی و انقلابی، الهام‌بخش در جهان اسلام و با تعامل سازنده و مؤثر در روابط بین‌الملل. اهداف اقتصادی، فرهنگی و سیاسی ایران در چشم‌انداز تعریف شده است. از نظر اهداف اقتصادی، در این چشم‌انداز، ایران ۱۴۰۴ به‌گونه‌ای ترسیم شده است، که حداقل در میان کشورهای آسیای غربی دارای رتبه اول باشد (جلائی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۸).

سؤال اساسی این است که آیا چشم انداز بیست‌ساله قادر است با صرف ذکرنمودن اهداف، تمامی موارد فوق را محقق سازد؟ پاسخ به این سؤال، استفاده از ابزارهای کارآمد را برای پیش‌بینی وضعیت متغیرهای اقتصادی تأثیرگذار در دست‌یابی به اهداف اقتصادی این سند، می‌طلبد.

این پژوهش با هدف پیش‌بینی روند آتی مخارج بخش دفاعی در اقتصاد ایران تا سال ۱۴۰۴ انجام گرفته است. اهمیت و ضرورت بررسی این موضوع حداقل از دو جنبه قابل طرح می‌باشد:

اول این‌که، قرارگرفتن ایران در منطقه حساس، راهبردی و بی‌ثبات خاورمیانه و رویارویی با تهدیدات امنیتی بعضی از کشورهای بیگانه نظیر ایالات متحده آمریکا و اسرائیل، سبب شده است تا میزان قابل‌توجهی از بودجه عمومی کشور نسبت به سایر بخش‌های دیگر، به بخش دفاعی اختصاص یابد؛ به‌گونه‌ای که متوسط سهم این بخش از کل مخارج

عمومی طی دوره‌ی زمانی ۱۳۹۱-۱۳۳۸، با مقداری بیش از ۲۴ درصد، بیش‌ترین میزان بوده است (گل‌خندان، ۱۳۹۴). لذا آگاهی از روند آتی بودجه دفاعی می‌تواند کمک قابل توجهی به سیاست‌گزاران بخش دفاع به‌منظور اتخاذ تدابیر لازم برای تأمین مالی آن در جهت حفظ امنیت کشور کند.

دوم آن‌که، آگاهی از میزان و روند مخارج دفاعی می‌تواند نقش مهمی در تخصیص بهینه‌تر منابع مالی به سایر بخش‌های کشور داشته باشد. چراکه، افزایش و تخصیص بیش از حد منابع مالی به بخش دفاعی (با توجه به محدودیت بودجه)، از طریق کاهش مخارج محرک رشد اقتصادی مانند مخارج آموزشی و بهداشتی موجب کاهش مخارج مربوط به تشکیل سرمایه انسانی می‌شود.

بر این اساس بررسی وضعیت روند میزان مخارج دفاعی در اقتصاد ایران، تا افق چشم‌انداز، دلالت‌های سیاستی بسیار مهمی را در بر خواهد داشت. لذا این پژوهش، با استفاده از مبانی نظری در زمینه تابع مخارج دفاعی و به‌کارگیری آن با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی، به شبیه‌سازی تابع مخارج دفاعی ایران طی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۳۸ پرداخته و سه فرم خطی، درجه دوم و نمایی را برای این تابع شبیه‌سازی می‌کند. سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی عمل‌کرد مدل‌های رقیب، بهترین الگوریتم و شکل تبعی مدل، گزینش و از آن برای پیش‌بینی روند مخارج دفاعی ایران تا سال ۱۴۰۴ استفاده خواهد شد. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک[1] (GA) و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات[2] (PSO) جهت پیش‌بینی استفاده شده است. از نظر کاربردی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO از بهترین روش‌های بهینه‌سازی مسائل می‌باشند و به‌همین جهت می‌توان از این الگوریتم‌ها در شبیه‌سازی مدل‌های مختلف توابع و پیش‌بینی روند آتی متغیرهای موردنظر استفاده و بهره‌گیری نمود.

پیش از برآورد مدل و پیش‌بینی روند مخارج دفاعی در ایران تا سال ۱۴۰۴، انتظار برآنست که با توجه به حساسیت و مناقشات همیشگی در منطقه خاورمیانه، شکل‌گیری رقابت تسلیحاتی در این منطقه، تهدیدات کشورهای بیگانه و نیاز به صنایع دفاعی

---

1. Genetic Algorithm
2. Particle Swarm Optimization Algorithm

پیشرفته‌تر و ...، مخارج دفاعی تا این سال روند افزایشی داشته باشد. بر این اساس فرضیه این تحقیق به‌صورت زیر تدوین شده است:
«روند مخارج دفاعی در ایران طی سال‌های ۱۴۰۴-۱۳۹۲ افزایشی (صعودی) خواهد بود».

مبانی نظری الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هالند (Holland, 1975) در سال ۱۹۷۵ مطرح شد و در سال‌های بعد توسط محققان دیگر توسعه پیدا کرد. الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه محاسبه تکاملی است که در حال حاضر به‌عنوان بخشی از هوش مصنوعی به‌سرعت در حال رشد است. ایده اصلی این الگوریتم در نظریه تکاملی داروین نهفته است. از نظر کاربردی، الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های بهینه‌سازی مسائل است که اساس آن بر انتخاب طبیعی (عامل اصلی تکامل زیستی) و برخی از مفاهیم مهم از علم ژنتیک استوار است. در این روش برای بهینه‌سازی تابع هدف (تابع شایستگی) مسأله، از یک جمعیت اولیه کروموزوم‌ها (افراد) که در حقیقیت پاسخ‌های اولیه مسأله می‌باشند، به یک جمعیت جدید از کروموزوم‌ها یا یک نسل جدید که در حقیقت پاسخ‌های ثانویه مسأله مفروض است، می‌رسد. با تکرار این عملیات و تولید جمعیت از جمعیت قبلی در هر مرحله و در نتیجه رسیدن به نسل‌های موفق، جمعیت به‌سمت یک پاسخ بهینه رشد خواهد کرد (قنبری و همکاران، ۱۳۸۷).

جزئیات اجرایی الگوریتم ژنتیک

نمایش رشته‌ها

نمایش رشته‌ها به ویژگی‌های فضای جست‌وجو بستگی دارد؛ ولی معمولاً به‌صورت رشته‌های دودویی[1] نشان داده می‌شوند. در مطالعات متعددی متغیرها به‌صورت دودویی و با طول رشته ثابت کدگذاری شده‌اند. رشته‌های مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک را می‌توان به‌صورت گسسته یا پیوسته کد کرد (Chakraborty & Chakraborty, 1997). اگر

[1]. Binary Strings

متغیرهای مورد استفاده گسسته باشند، هر بیت از کروموزوم‌های مربوط به هر نسل، معرف یکی از متغیرهای استفاده شده است؛ به این ترتیب که در هر کروموزوم، صفربودن بیت به‌معنای حضور نداشتن متغیر متناظر با آن و یک به‌معنای حضور متناظر با آن، در ترکیب انتخاب‌شده نهایی است.

تابع برازندگی

تابع برازندگی از اعمال تبدیل مناسب روی تابع هدف که قرار است بهینه شود، به‌دست می‌آید. این تابع هر رشته را با یک مقدار عددی ارزیابی می‌کند که کیفیت آن را مشخص نماید. هر چه کیفیت رشته جواب بالاتر باشد، مقدار برازندگی جواب بیش‌تر است و احتمال مشارکت برای تولید نسل بعدی افزایش پیدا می‌کند. در بسیاری از پژوهش‌ها، مقدار تابع برازندگی با معکوس خطاهای حاصل از آموزش شبکه عصبی در مورد هر رشته، برابر قرار داده شده است؛ به این معنا که هر رشته که نماینده ترکیبی از متغیرهاست، به شبکه عصبی متناظر با آن وارد شده، شبکه با داده‌های مربوط به آن آموزش می‌بیند و در نهایت، خطای آموزش شبکه محاسبه می‌گردد. معکوس این خطای محاسبه‌شده با تابع برازندگی الگوریتم ژنتیک برابر قرار داده شده است (Goldberg, 1989).

اندازه جمعیت

گلدبرگ برای محاسبه بهترین اندازه جمعیت برای کدهای دودویی متغیرهای پیوسته، طول حداکثر شصت رشته را پیشنهاد می‌کند (Ibid).

عمل‌گرهای الگوریتم ژنتیک

انتخاب

پس از این‌که برازندگی تمام افراد یک نسل مشخص شد، طبق اصول طبیعی، فرزندانی که از زوج‌های برازنده‌تر به‌وجود می‌آیند، برازندگی بیش‌تری دارند و همان‌طور که در طبیعت، افرادی که برتری‌هایی نسبت به دیگران دارند، به زوج‌های برتری دست پیدا می‌کنند، الگوریتم ژنتیک، این فرایند را شبیه‌سازی می‌کند و به افراد برازنده‌تر، شانس تولید مثل بیش‌تری می‌دهد. ساده‌ترین روش انتخاب، استفاده از «گردونه شانس»[1]

[1]. Roulette Wheel

اشت. در این روش، چرخی با قطاع‌های نامساوی، طوری در نظر گرفته می‌شود که هر فرد، قطاعی با زاویه مرکزی $\frac{2\pi f_i}{\sum f_i}$ داشته باشد. حال عددی تصادفی در بازه $[0,2\pi]$ در نظر گرفته، رشته‌ای انتخاب می‌شود که عدد تصادفی در قطاع مربوط به آن قرار گیرد، به‌طوری که قطاع‌ها بزرگ‌تر، شانس بیش‌تری برای انتخاب شدن دارند (Ibid).

پیوند (عمل‌گر همبری)

پیوند[1] مهم‌ترین عمل‌گر الگوریتم ژنتیک و کلید موفقیت آن است. عمل‌گر انتخاب برای کشف نواحی جدید، فضای جست‌وجو ابزاری ندارد و اگر تنها به نسخه‌برداری ساختارهای قدیمی بدون تغییر آن اکتفا شود، نمی‌توان به بررسی موارد جدید پرداخت. پیوند، عمل‌گری است که اطلاعات بین رشته‌ها را به‌طور اتفاقی مبادله می‌کند. ساده‌ترین حالت این عمل‌گر، پیوند تک نقطه‌ای است. در پیوند ساده، نخست عددی تصادفی در فاصله بین $[1, L_c-1]$ انتخاب می‌شود؛ سپس بیت‌های متناظر با آن در دو رشته‌ای که باید باهم ترکیب شوند، باهم عوض می‌شوند و به این ترتیب دو فرزند به‌وجود می‌آیند. عمل‌گر پیوند می‌تواند دو نقطه‌ای باشد؛ در این صورت دو نقطه به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند و عمل پیوند بین آن دو اتفاق می‌افتد. معمولاً احتمال وقوع پیوند بین دو زوج بین ۰/۶ تا ۱ انتخاب می‌شود (Coir & Smith, 1995).

جهش

سومین عمل‌گر مهم در الگوریتم ژنتیک، جهش[2] نام دارد. اگرچه عمل‌گرهای انتخاب و پیوند، جست‌وجوی مؤثری در فضای طراحی می‌کنند، اما گاهی باعث می‌شوند از بین خصوصیات مفید رشته‌ها بروند. عمل‌گر جهش، امکان دست‌یابی مجدد به این ویژگی‌های مثبتی را که در جمعیت نیست، فراهم می‌کند. رفتار عمل‌گر جهش به‌صورت ساده، به این نحو است که برای هر فرد در مجموعه (معمولاً بعد از پیوند) احتمال وقوع جهش که معمولاً کم‌تر از دو درصد است، بررسی شده، چنان‌چه باید جهش انجام شود، نقطه‌ای

---

1. Crossover
2. Mutation

در کروموزوم به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود و مقدار آن از صفر به یک و یا برعکس تبدیل می‌شود (Charbonneau, 2002).

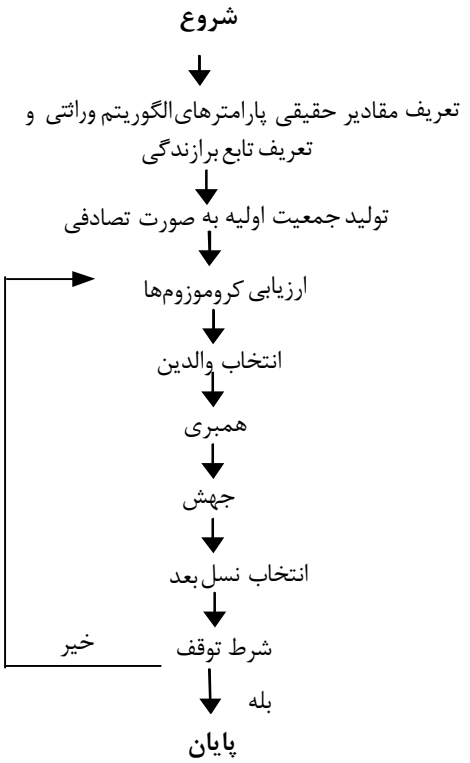
هم‌گرایی[1]

مسأله بهینه‌سازی کلی در حالت عمومی خود حل‌نشدنی است، بنابراین در زمان محدود نمی‌توان انتظار داشت به بهینه کلی تابع دست پیدا کرد؛ با این حال معمولاً علاقه داریم که به‌عنوان عاملی اطمینان‌بخش، الگوریتم بهینه‌سازی ما با احتمال یک به بهینه کلی تابع هم‌گرا شود. ردلف (Rudolph, 1994) در مقاله خود به بررسی رفتار الگوریتم ژنتیک ساده از لحاظ هم‌گرایی پرداخته است. تحلیل ردلف نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک ساده در زمان بی‌نهایت به بهینه کلی خود هم‌گرا نمی‌شود. این نتیجه چندان نگران‌کننده نیست، زیرا اولاً الگوریتم همیشه در زمان محدود اجرا می‌شود و در نتیجه معمولاً ناچاریم به تقریب بهینه کلی اکتفا کنیم. دوماً، این نتیجه به آن معنا نیست که الگوریتم هرگز به بهینه کلی خود نمی‌رسد بلکه به این معنی است که الگوریتم به بهینه کلی می‌رسد و از آن خارج می‌شود. در واقع به‌طور متوسط این پیشامد در زمان محدود رخ می‌دهد. در زمان بی‌نهایت، الگوریتم بی‌نهایت بار به بهینه کلی می‌رسد و از آن خارج می‌شود. مسأله‌ای که از هم‌گرایی الگوریتم در بی‌نهایت مهم‌تر است، زمانی است که باید صرف شود تا الگوریتم برای اولین بار، به بهینه کلی برسد. با توجه به نکته‌ای که در مورد محدود بودن زمان متوسط عبور الگوریتم از بهینه کلی بیان شد، ردلف نشان داد که اگر بهترین فرد جمعیت در طول اجرای الگوریتم در حافظه‌ای جدا از جمعیت ذخیره شود، الگوریتم در زمان بی‌نهایت به بهینه کلی هم‌گرا می‌شود. بهترین فرد را می‌توان در یکی از دو مرحله قبل و یا بعد از انتخاب در جمعیت یافت و ذخیره کرد (Reeves et al., 2003). قبل از مطالعه ردلف، چند بررسی دیگر در این زمینه انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه کارابین و همکارانش (Karabin et al. 1984) اشاره کرد. در این بررسی، نویسندگان به حالت‌های کلی‌تری از الگوریتم‌های بهینه‌سازی با عنوان الگوریتم «ژنتیک انتزاعی»[2] توجه کرده و نشان داده‌اند که با استفاده از «انتخاب نخبه گر»[1] می‌توان در

---

1. Convergence
2. Abstract Genetic Algorithm

زمان بی‌نهایت به بهینه کلی تابع رسید (Ibid). در شکل (۱)، فلوچارت الگـوریتم ژنتیـک که خلاصه‌ای از آن را نشان می‌دهد، نشان داده شده است.



شکل (۱): فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات
مأخذ: جلائی اسفندآبادی و همکاران (۱۳۹۲: ۶۶)

مبانی نظری الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط کندی و ابرهارت (Kennedy & Eberhart, 1995) بر اساس رفتار اجتمـاعی دسـته‌هـای پرنـدگان و مـاهی‌هـا طراحی و مدل شد. این الگوریتم، یک تکنیک بهینه‌سازی است که بر پایه‌ی جمعیتی از پاسخ‌های اولیه عمل می‌کند. الگوریتم PSO یکی از مهم‌تـرین و بهتـرین الگـوریتم‌هـایی است که در حوزه‌ی هوش مصنوعی معرفی شده است. این روش در بسیاری موارد شبیه

[1]. Elitist Selection

به تکنیک‌های محاسباتی تکاملی مانند الگوریتم‌های ژنتیک عمل می‌کند. در این الگوریتم، هر ذره نماینده‌ی یک جواب مسأله است که به‌طور تصادفی در فضای مسأله در حرکت می‌باشد. تغییر مکان هر ذره در فضای جست‌وجو تحت تأثیر خود و همسایگانش است. بنابراین موقعیت ذرات دیگر روی چگونگی حرکت و جست‌وجوی ذره اثر می‌گذارد. اساس کار الگوریتم بر این اصل استوار است که هر ذره مکان خود را در فضای جست‌وجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند. موقعیت اولیه‌ی هر ذره به‌صورت تصادفی در فضای جست‌وجو با یک توزیع یکنواخت در محدوده تعریف مسأله تعیین می‌شود (بهمنی و همکاران، ۱۳۹۳: ۵).

هر ذره به‌صورت چند بعدی (بسته به طبیعت مسأله) با دو مقدار $x_i^d(t)$ و $v_i^d(t)$ که به‌ترتیب معرف وضعیت مکانی و سرعتی مربوط به بعد dام از iامین ذره می‌باشند، تعریف می‌شوند. در زمان‌های بعد، موقعیت هر ذره بر مبنای تجربه خودش و نیز همسایگانش تعیین می‌شود. اگر $x_i^d(t)$ موقعیت بعد dام ذره‌ی i در زمان t باشد، موقعیت بعدی ذره از جمع موقعیت بعد dام ذره‌ی i در زمان t با سرعت ذره‌ی i به‌دست می‌آید. ذرات از طریق بردار سرعت هدایت می‌شوند. در بردار سرعت هم، نتیجه‌ی تجربه‌ی اجتماعی ذره‌های همسایه و هم تجربه‌ی فردی هر ذره دخیل است. هر ذره سرعت خود را ترکیب خطی از جزء فردی که نشان‌دهنده استفاده از دانش و تجربه‌ی شخصی است و جزء اجتماعی که بیان‌گر تجربیات همسایه‌ها می‌باشد، به‌روزرسانی می‌کند. در جزء فردی، بهترین موقعیت ذره‌ی pbest که ذره تا آن لحظه به آن دست یافته و در جزء اجتماعی، بهترین موقعیتی که کل ذرات gbest به آن دست یافته‌اند، لحاظ می‌شود (جلائی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۰). هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب سعی می‌کند تا موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات و روابط زیر تغییر دهد:

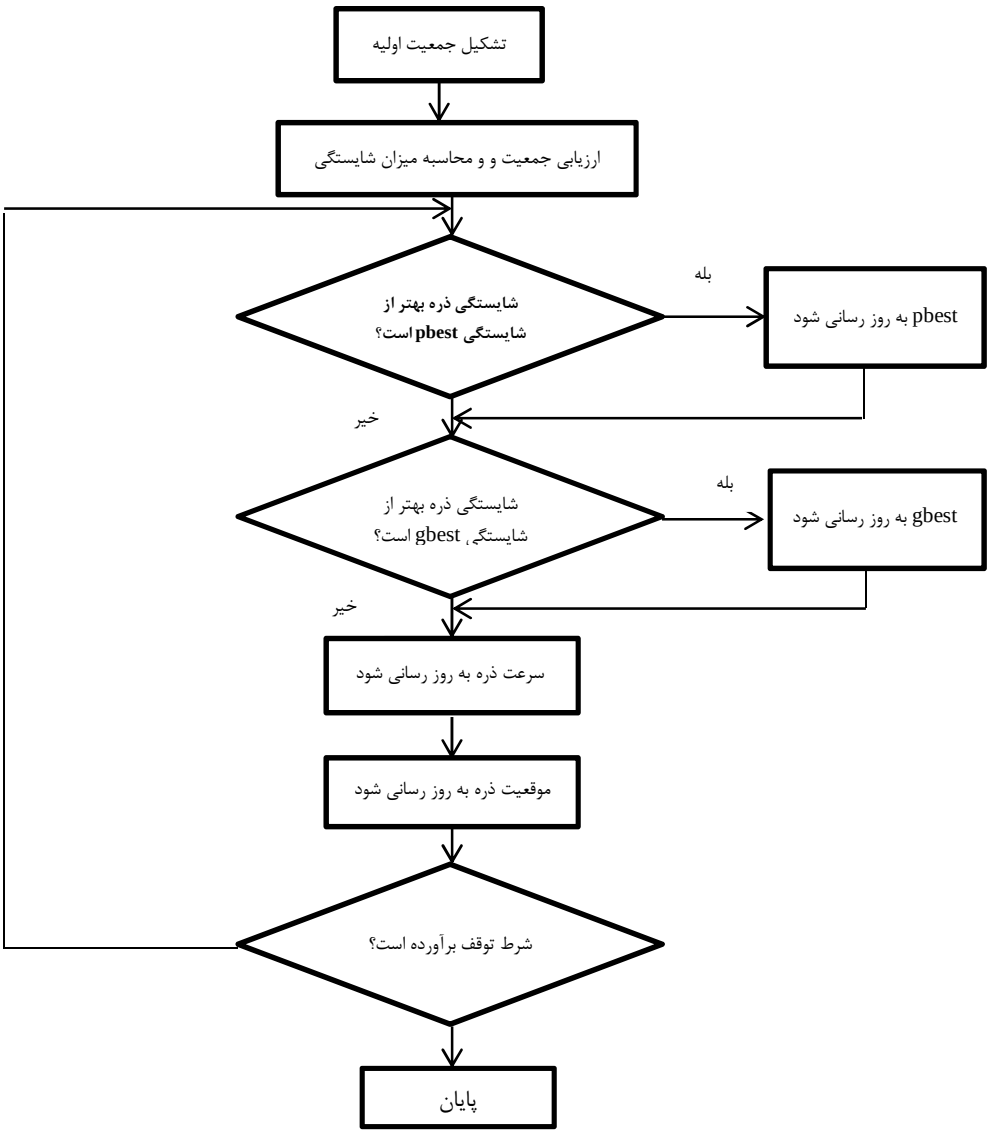
موقعیت کنونی $x_{ij}(t)$، سرعت کنونی $v_{ij}(t)$، فاصله بین موقعیت کنونی و pbest، فاصله‌ی موقعیت کنونی و gbest. به این ین صورت؛ سرعت هر ذره طبق رابطه‌ی زیر تغییر خواهد کرد:

$$v_{ij}(t+1) = w.v_{ij}(t) + c_1.r_1\left(pbest_{ij}(t) - x_{ij}(t)\right) + c_2.r_2\left(gbest_j(t) - x_{ij}(t)\right) \qquad (۱)$$

که در آن $v_{ij}(t)$، بعد jام هر ذره در تکرار tام است، c_2 و c_1 ثابت‌های مثبتی می‌باشند که برای وزن‌دهی به اجزا خودی و جمعی استفاده و ضرایب شتاب نامیده می‌شوند. r_2 و r_1 اعداد تصادفی با توزیع بین صفر و یک بوده $(r_{1i}(t), r_{2i}(t) \simeq u(0,1))$ که خاصیت تصادفی‌بودن الگوریتم را حفظ می‌کنند. W نیز پارامتر وزن اینرسی می‌باشد. موقعیت جدید هر ذره از مجموع موقعیت گذشته و سرعت جدید به‌دست می‌آید که بر طبق رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود (بهمنی و همکاران، ۱۳۹۳: ۶):

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \qquad (۲)$$

در شکل (۲)، فلوچارت الگوریتم PSO که خلاصه‌ای از آن را نشان می‌دهد، نشان داده شده است.



شکل (۲): فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات مأخذ: بهمنی و همکاران (۱۳۹۳: ۱۱)

پیشینه تحقیق

مطالعات مربوط به الگوریتم ژنتیک

لیو (Liu, 2009)؛ در مطالعه‌ای با استفاده از ترکیب عمل‌گرهای مختلف به‌کار رفته در الگوریتم ژنتیک نامطلوب (مرتب کردن جواب‌های غیرپست، مرتب‌کردن براساس فاصله

ازدحام و توجه به جواب‌های مناسب‌تر) و هم‌چنین یک عمل‌گر جهش در الگوریتم PSO، یک مدل بارش- رواناب را بهینه‌سازی نمود که تابع هدف مورد استفاده در این مدل، کمینه‌کردن مجموع مربعات اختلاف دبی پیک مشاهداتی و دبی‌های پیک شبیه‌سازی شده است.

کومار و ردی (Kumar & Reddy, 2007)؛ روش‌های GA، PSO و EMPSO[1] را برای تعیین سیاست‌های بهره‌برداری از مخزن چندمنظوره بهادار، واقع در هند به‌کار بردند؛ نتایج نشان داد که روش EMPSO نسبت به روش‌های GA و PSO نتایج بهتری در تعیین سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن دارد.

کانیرک و اوزترک (Canyurt & Ozturk, 2006)؛ در مقاله‌ای با عنوان سه مدل کاربردی تکنیک‌های جستجوی الگوریتم ژنتیک (GA) در تخمین تقاضای انرژی، به‌منظور برآورد تقاضای نفت با استفاده از روش بهینه‌یابی الگوریتم ژنتیک، با هدف تخمین ارزش آتی تقاضا برای نفت، به ارائه‌ی سه مدل غیرخطی تقاضا برای نفت در ترکیه، با استفاده از متغیرهای تولید ناخالص داخلی، جمعیت، صادرات، واردات، تولید نفت، واردات نفت و ماشین سواری، میزان فروش اتوبوس و کامیون پرداخته‌اند. از این میان، مدلی که متغیرهای مستقل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، واردات نفت و واردات و فروش کامیون را به‌عنوان شاخص‌های پارامترهای طرح به‌کار می‌برد، با میانگین مطلق درصد خطای (MAPE)[2] پایین‌تر برابر با ۰/۰۱۶۹ در دوره‌ی آزمایش مدل‌ها، راه‌حل بهتری را در مشاهده‌ی داده‌ها فراهم می‌کند.

هالدنبیلن و سیلان (Haldenbilen & Ceylan, 2005)؛ در مقاله‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک به تخمین تابع تقاضای انرژی ترکیه پرداخته و تحت سه سناریو به پیش‌بینی تقاضای انرژی آتی در بخش حمل و نقل تا سال ۲۰۲۰ پرداخته‌اند. پریرا (Pereire, 2000)؛ با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک برای تأمین مالی و سرمایه‌گذاری، بیان می‌کند که چرا الگوریتم ژنتیک در مقایسه با دیگر روش‌های تخمین و بهینه‌سازی، کاراتر می‌باشد، به‌طوری‌که می‌توان آن را برای بسیاری از مسائل پیچیده در بازارهای مالی از جمله

---

1. Enhanced mimetic particle swarm optimization
2. Mean Absolute percentage Error

پیش‌بینی بازده دارایی‌های مالی، آشکارسازی نقش اوراق و بهینه‌سازی نقش آنها مورد استفاده قرار داد.

جلائی اسفندآبادی و همکاران (۱۳۹۲)؛ در مقاله تحت عنوان «شبیه‌سازی و پیش‌بینی صادرات غیرنفتی تا افق ۱۴۰۴» با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک، مدل عرضه صادرات را در قالب سه معادله خطی، نمایی و درجه دو تجزیه و تحلیل کرده‌اند. در مدل نمایی که از دقت بالایی در تخمین تابع صادرات غیرنفتی برخوردار است، تولید ناخالص داخلی بدون نفت و نرخ ارز در بازار آزاد، ارتباط مستقیم و قیمت‌های جهانی کالای صادراتی و داخلی ارتباط معکوس با صادرات غیرنفتی دارند. در نهایت عرضه صادرات غیرنفتی تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی می‌شود.

میرفخرالدینی و همکاران (۱۳۹۱)؛ در تحقیقی با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک مصرف انرژی ایران پیش‌بینی کرده‌اند. در این مطالعه از داده‌های سالیانه مصرف انرژی کشور به عنوان متغیر خروجی مدل پیش‌بینی و از داده-های سالیانه جمعیت کل کشور، تولید ناخالص داخلی، صادرات و واردات به عنوان متغیرهای ورودی مدل‌های پیش‌بینی استفاده شده است. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد الگوی ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر مدل‌ها دارای بالاترین دقت در پیش‌بینی مصرف انرژی کشور است.

بخشی دستجردی و خاکی نجف آبادی (۱۳۸۹)؛ در بررسی تأثیر جمعیت در چارچوب الگوی رشد بهینه در اقتصاد ایران برای دوره زمانی ۱۳۸۶- ۱۳۵۰ و با استفاده از الگوریتم ژنتیک به این نتیجه رسیده‌اند که رشد جمعیت، سهم عمده‌ای از سرمایه سرانه و محصول سرانه را در اقتصاد ایران توضیح می‌دهد؛ به‌طوری‌که رشد جمعیت، سطح مصرف سرانه، سرمایه سرانه، درآمد سرانه و پس‌انداز سرانه نسبت به سال‌های گذشته افزایش محسوسی داشته‌اند.

عصاری و همکاران (۱۳۸۹)؛ به بررسی تقاضای گاز طبیعی در ایران با استفاده از ساختار صنعت و شرایط اقتصادی ایران با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دو شکل (شکل‌های نمایی و خطی) پرداخته‌اند و تقاضای گاز طبیعی را برای ایران تا سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است.

مطالعات مربوط به الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات

بهرامی و همکاران (Bahrami et al., 2014)؛ با استفاده از یک روش ترکیبی و با دو الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و شبکه عصبی، تقاضای کوتاه مدت میزان بار الکتریکی را در ایران و آمریکا پیش‌بینی کرده‌اند. متغیرهای اطلاعات آب و هوا از جمله میانگین درجه حرارت، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و اطلاعات مربوط به مصرف گذشته بار الکتریکی را به‌عنوان متغیرهای توضیحی مدل در نظر گرفتند و با توجه به نتایج دریافتند، مدل ترکیبی نشان از بهبود در پیش‌بینی میزان بار الکتریکی داشته است.

یو و همکاران (Yu et al., 2012)؛ با ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی انبوه ذرات، تقاضای انرژی اولیه چین را تخمین زده‌اند. در این تحقیق متغیرهای تولید ناخالص داخلی، جمعیت، سهم صنعت در نرخ رشد تولید ناخالص داخلی، نرخ رشد سهم زغال سنگ، نرخ شهرنشینی و مصرف انرژی ساختمان در نظر گرفته شده‌اند. هم‌چنین، از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ استفاده شده و تقاضای انرژی اولیه چین تا سال ۲۰۲۰ پیش‌بینی شده است. نتایج نشان‌دهنده برتری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، انبوه ذرات، کلونی مورچگان و رگرسیون خطی چندگانه بوده است.

کیرن و همکاران (Kiran et al., 2012)؛ در مطالعه‌ای با استفاده از یک روش ترکیبی و با دو الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و کلونی مورچه‌ها، تقاضای سالانه انرژی کشور ترکیه را پیش‌بینی کرده‌اند. در این تحقیق متغیرهای تولید ناخالص داخلی، جمعیت، صادرات و واردات، به‌عنوان ورودی مدل‌های خطی و درجه دوم در نظر گرفته شده‌اند و با توجه به نتایج فرم درجه دوم در سناریوهای مختلف، فرم مناسب‌تری بوده است.

پاکسوی و همکاران (Paksoy et al., 2011)؛ در مقاله‌ای به برآورد تابع تقاضای انرژی در ترکیه با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات پرداخته و تقاضای آتی انرژی ترکیه را تا سال ۲۰۲۴ پیش‌بینی کرده‌اند.

آنلر (Unler, 2008)؛ در مقاله‌ای با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات به تخمین ارزش آتی تقاضای انرژی ترکیه تا سال ۲۰۲۵ پرداخته است.

جلائی و همکاران (۱۳۹۴)؛ در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی تابع مصرف و پیش‌بینی میزان مصرف ایران تا افق ۱۴۰۴ با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) پرداخته‌اند. کارآیی و دقت بیش‌تر الگوریتم (PSO) و سازگاری رفتار مصرفی در ایران با فروض مصرف دوزنبری و فرم نمایی تابع مصرف شبیه‌سازی شده و نیز پیش‌بینی افزایش میل متوسط به مصرف تا سال ۱۴۰۴ و در نتیجه، کاهش میل متوسط به پس‌انداز در این دوره، از نتایج این مقاله‌اند.

بهمنی و همکاران (۱۳۹۳)؛ با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات به شبیه‌سازی تابع تقاضای برق در بخش کشاورزی برای دوره‌ی ۱۳۸۵-۱۳۵۷ در قالب معادلات خطی و نمایی پرداختند و سپس براساس معیارهای موجود، مدل برتر انتخاب شده است. در این مقاله، تابع تقاضای برق در بخش کشاورزی تابعی از قیمت واقعی برق در بخش، ارزش‌افزوده‌ی بخش، تعداد مشترکین برق در بخش و مصرف دوره‌ی قبل است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تقاضای برق در بخش کشاورزی با قیمت برق، رابطه‌ی غیرمستقیم و با ارزش‌افزوده بخش، تعداد مشترکین و مصرف دوره‌ی قبل رابطه‌ی مستقیم دارد.

کاظمی و همکاران (۱۳۹۲)؛ برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی- تجاری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات، دو فرم خطی و نمایی از معادلات تقاضای انرژی تحت ۵۴ سناریوی مختلف با ورودی‌های متفاوت را مورد بررسی قرار دادند و از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۹ برای توسعه الگوها و انتخاب سناریوی مناسب استفاده شده است. نتایج نشان داد الگوی نمایی با ورودی‌های ارزش‌افزوده کل منهای ارزش‌افزوده بخش نفت، ارزش ساختمان‌های ساخته شده، تعداد کل خانوار و شاخص قیمت مصرف انرژی مناسب‌ترین الگو است. در نهایت با استفاده از الگوی انتخابی تقاضای انرژی این بخش تا سال ۱۴۱۰ پیش‌بینی شده است.

صادقی و همکاران (۱۳۹۱)؛ برای برآورد و پیش‌بینی روند تقاضای انرژی کشور از الگوریتم‌های بهینه‌سازی انبوه ذرات و ژنتیک، در قالب دو الگوی خطی و نمایی استفاده کرده‌اند و کارایی آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داده‌اند و با استفاده از کاراترین الگو و روش و بر اساس سناریوهای مختلف، روند تقاضای انرژی کشور تا سال ۱۴۰۴ پیش‌بینی و

برآورد شده است. نتایج نشان‌دهنده دقت و کارایی بالای الگوی نمایی برآورده‌شده با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات در مقایسه با الگوریتم ژنتیک بوده است. هم‌چنین نتایج مطالعه نشان می‌دهد که کارایی الگوهای خطی برآورده‌شده با استفاده از هر دو الگوریتم تفاوت محسوسی ندارند.

امامی میبدی و همکاران (۱۳۸۸)؛ در مقاله خود تحت عنوان «شبیه‌سازی تابع تقاضای انرژی در ایران با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO)» مدل شبیه‌سازی تقاضای انرژی را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و با استفاده از متغیرهای جمعیت، تولید ناخالص داخلی و واردات کالاها و خدمات بسط داده‌اند. یکی از معادلات پیشنهادی نمایی و دومی، درجه‌ی دوم است. در تابع تقاضای انرژی، فرم درجه‌ی دوم، نتایج بهتری را در مشاهده‌ی داده‌ها فراهم می‌کند و با یک ضریب همبستگی بالاتر، برای پروژه‌های بخش انرژی ایران به‌کار برده می‌شود.

معرفی مدل و داده‌های تحقیق

تابع مخارج دفاعی

قبل از شبیه‌سازی تابع مخارج دفاعی به‌منظور پیش‌بینی مخارج دفاعی تا افق ۱۴۰۴، این تابع را معرفی می‌کنیم.

در الگوی استاندارد نئوکلاسیک مرتبط با تقاضای مخارج نظامی، فرض بر این است که در جامعه، دولت می‌کوشد تا رفاه جامعه (W) به بیش‌ترین مقدار خود برسد. این رفاه تابعی است از: امنیت (S)، متغیرهای اقتصادی نظیر: کل مصرف (C)، جمعیت (N) و سایر متغیرهای مربوط (ZW) که ZW تعیین‌کننده چگونگی انتقال تابع رفاه است (هارتلی و ساندلر، ۱۳۸۳):

$$W = W(S, C, N, ZW) \qquad (۳)$$

علت منظور شدن متغیر جمعیت در تابع رفاه این است که گرچه دفاع، کالایی است عمومی، اما مصرف، کالایی خصوصی تلقی می‌شود و از این‌رو مصرف سرانه در تابع رفاه، متغیری با اهمیت محسوب می‌شود. مسأله به حداکثر رساندن تابع رفاه منوط به در نظر

گرفتن محدودیت بودجه و تابع مشخصی برای امنیت است. ساده‌ترین شکل محـدودیت بودجه را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$Y = P_c C + P_m M \quad (۴)$$

در این رابطه، Y درآمد کل اسمی، P_m و P_c قیمت‌های مصارف واقعی نظامی (M) و مصرف واقعی خصوصی (C) است. امنیت را می‌توان به‌منزله وضعیتی برای کشور که در معـرض هیچ نوع خطر و تهدید به حمله نباشد، تعریف کرد. امنیت نیز ماننـد مطلوبیـت و رفـاه، متغیری مشاهده نشدنی است و سعی می‌شود در توابع اقتصادسنجی با برخی متغیرهای سنجش‌پذیر مانند: تعداد نیروهـای نظـامی کشـور و سـایر کشـورها و هم‌چنـین، سـایر متغیرهای راهبردی مربوط به ZS که تعیین‌کننده تغییر وضعیت در محیط امنیتی است، جانشین و اندازه‌گیری شود:

$$S = S(M, M_1, \dots, M_n, ZS) \quad (۵)$$

هدف بحث کنونی این است که با روش تعادل جزئی، میزان نیـروی نظـامی بهینـه یـک کشور، با فرض مشخص بودن نیروهای نظامی کشورهای دیگر، تعیین و مشـخص شـود. لذا از این طریق می‌توان میزان تقاضا برای مخارج نظامی را در حد مطلوب و از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$M = M(\frac{P_m}{P_c}, Y, N, M_1, \dots, M_n, ZW, ZS) \quad (۶)$$

بر اساس مدل رابطه (۶)، سطح مخارج نظامی به عواملی هم‌چون: قیمت کالاهای نظامی و درآمد (به‌عنوان متغیرهای اقتصادی)، جمعیت کل (به‌عنوان یـک متغیـر اجتمـاعی) و مخارج نظامی سایر کشورها و عوامل استراتژیک و سیاسی وابسته اسـت (Abdelfattah et al., 2013).

۴-۲. معرفی داده‌های تحقیق و شبیه‌سازی تابع مخارج دفاعی

برای انجام شبیه‌سازی تابع مخارج دفاعی در ایران، اقدام به بهینه‌سازی ارزش پارامترهـا با استفاده از سه معادله خطی، نمایی و درجه دو شده است.

الف. معادله خطی

$$y = \omega_0 + \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \omega_3 x_3 + \omega_4 x_4 + \omega_5 x_5 \quad (۷)$$

ب. معادله نمایی

$$y = \omega_0 + \omega_1 x_1^{\omega_6} + \omega_2 x_2^{\omega_7} + \omega_3 x_3^{\omega_8} + \omega_4 x_4^{\omega_9} + \omega_5 x_5^{\omega_{10}} \quad (۸)$$

ج. معادله درجه دوم

$$y = \omega_0 + \omega_1 x_1 + \omega_2 x_2 + \omega_3 x_3 + \omega_4 x_4 + \omega_5 x_5 + \omega_6 x_1^2 + \omega_7 x_2^2 + \omega_8 x_3^2 + \omega_9 x_4^2 + \omega_{10} x_5^2 + \omega_{11} x_1 x_2 + \omega_{12} x_1 x_3 + \omega_{13} x_1 x_4 + \omega_{14} x_1 x_5 + \omega_{15} x_2 x_3 + \omega_{16} x_2 x_4 + \omega_{17} x_2 x_5 + \omega_{18} x_3 x_4 + \omega_{19} x_3 x_5 + \omega_{20} x_4 x_5 \quad (۹)$$

در رابطه‌های فوق، متغیرها با توجه به تابع مخارج دفاعی رابطه (۶) و ساختار اقتصادی-سیاسی ایران به‌صورت زیر تعریف شده‌اند:

ω_i: ضرایب وزنی هر یک از متغیرها؛ y: مخارج دفاعی دولت؛ x_1: تولید ناخالص داخلی بدون نفت؛ x_2: درآمدهای نفتی؛ x_3: مخارج غیردفاعی دولت؛ x_4: جمعیت کشور (بر حسب نفر)؛ x_5: متوسط مخارج دفاعی کشورهای منطقه خاورمیانه. کلیه متغیرها (به‌جز جمعیت) به‌قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ و بر حسب میلیارد ریال می‌باشند.[1] اطلاعات مربوط به داده‌های آماری متغیرها از بانک مرکزی ج.ا.ا و مؤسسه بین‌المللی تحقیقات صلح استکهلم[2] (SIPRI) جمع‌آوری شده است. هم‌چنین از داده‌های سالیانه دوره‌ی زمانی ۱۳۹۱-۱۳۳۸ استفاده شده است.

روش تحقیق

تحقیق حاضر از نظر نوع تحقیق، کاربردی است. روش تحقیق هم توصیفی-تحلیلی است که در قسمت توصیف از روش اسنادی و کتابخانه‌ای استفاده شده است و بخش تحلیل متکی بر الگوریتم‌های پیش‌بینی است. به این منظور، در تحقیق حاضر از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO استفاده شده است. از نظر کاربردی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO از بهترین روش‌های بهینه‌سازی مسائل می‌باشند و به‌همین جهت می‌توان از این الگوریتم‌ها در شبیه‌سازی مدل‌های مختلف توابع و پیش‌بینی روند آتی متغیرهای

---

[1]. داده‌های مربوط به مخارج دفاعی کشورهای منطقه خاورمیانه به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۰۴ مورد استفاده قرار گرفته‌اند و به‌منظور همگن‌شدن با سایر متغیرها از نظر واحد اندازه‌گیری، به‌وسیله مقدار نرخ ارز سال‌های مختلف، به میلیارد ریال تبدیل شده‌اند.

[2]. Stockholm International Peace Research Institute

موردنظر استفاده و بهره‌گیری نمود. این دو الگوریتم به‌طور مبسوط در قسمت مبانی نظری مورد تشریح و تحلیل قرار گرفته‌اند. در ضمن، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB اقدام به بهینه‌سازی ارزش پارامترهای مدل شده است.

برای استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و PSO می‌بایست مقادیر ثابتی را تعریف کرد. پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO برای تخمین ضرایب، در جدول (۱) ارائه شده است:

جدول (۱): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم‌های ژنتیک و PSO

الگوریتم ژنتیک		الگوریتم PSO	
پارامتر	**اندازه**	**پارامتر**	**اندازه**
جمعیت اولیه	۵۰	اندازه ذرات (n)	۵۰
تعداد نسل	۱۰۰	وزن اینرسی (w)	۰/۹۹۵
احتمال عمل‌گر همبری (Pc)	۰/۹۰۰	ماکزیمم تعداد تکرار (t)	۱۰۰
احتمال عمل‌گر جهشی (Pc)	۰/۰۰۵		

تحلیل نتایج تجربی

با توجه به این‌که هدف اصلی این پژوهش پیش‌بینی مقادیر آتی مخارج دفاعی در ایران تا افق ۱۴۰۴ بوده است، به‌منظور مقایسه قدرت پیش‌بینی و انتخاب بهترین روش پیش‌بینی در بین توابع و مدل‌های شبیه‌سازی‌شده، از معیارهای مختلفی از جمله چهار معیار میانگین مربع خطای استاندارد (MSE)، مجذور میانگین مربع خطای استاندارد (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و میانگین درصد قدرمطلق خطا (MAPE) استفاده می‌شود. با توجه به این‌که هرکدام از این معیارها به اختلاف مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده (میزان خطای آماری) می‌پردازند و تأییدکننده یکدیگر نیز می‌باشند، لذا مدل و تابعی با استفاده از این معیارها انتخاب می‌شود که دارای کم‌ترین میزان خطای آماری و بالاترین قدرت پیش‌بینی باشد.

$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i^{o} - E_i^{si})^2}{n}$	(۱۰)
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(E_i^{o} - E_i^{si})^2}{n}}$	(۱۱)
$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lvert E_i^{o} - E_i^{si}\rvert}{n}$	(۱۲)
$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left\lvert\frac{E_i^{o} - E_i^{si}}{E_i^{o}}\right\rvert}{n}$	(۱۳)

در روابط فوق، n بیان‌گر تعداد مشاهدات است.

با بررسی و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی توابع فوق، توسط الگوریتم‌های ژنتیک و PSO، نتایج زیر به‌دست آمد:

جدول (۲): مقایسه معیارهای اندازه‌گیری برای سه معادله خطی، نمایی و درجه دوم در الگوریتم‌های ژنتیک و PSO

نوع الگوریتم	انواع مدل	معیارهای اندازه‌گیری			
		MSE	RMSE	MAE	MAPE
ژنتیک	خطی	۱۶/۱۸۸۵	۴/۰۲۳۴	۱/۶۵۲۱	۰/۰۶۹۸
	درجه دوم	۸۸۵۲۴۲/۱۲	۹۴۰/۸۷۳۱	۱۴۸/۵۷۹۱	۱۱/۴۴۹۱
	نمایی	۱۰/۴۲۱۴	۳/۲۲۸۲	۱/۴۹۰۹	۰/۰۶۵۴
PSO	خطی	۳/۵۵۴۸	۱/۸۸۵۴	۰/۸۹۵۱	۰/۰۴۸۵
	درجه دوم	۹۲۷۱/۲۶	۹۶/۲۸۷۳	۹/۹۲۸۶	۱/۶۰۰۸
	نمایی	۲/۹۰۱۲	۱/۷۰۳۲	۰/۴۸۸۵	۰/۰۴۶۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج جدول (۲)، مدل نمایی نسبت به دو مدل خطی و درجه دوم دارای کم‌ترین معیارهای اندازه‌گیری در هر دو الگوریتم ژنتیک و PSO می‌باشد. در نتیجه این مدل از نتایج بهتر و دقت پیش‌بینی بالاتری برخوردار می‌باشد و برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هم‌چنین، بر اساس نتایج جدول (۲)، مقدار عددی خطای پیش‌بینی همواره در الگوریتم PSO، کم‌تر از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که تابع مخارج دفاعی شبیه‌سازی‌شده توسط الگوریتم PSO با فرم نمایی،

با ساختار ایران سازگاری بیش‌تری دارد و بنابراین، برای پیش‌بینی خارج از نمونه تا سال ۱۴۰۴ انتخاب و برگزیده می‌شود.

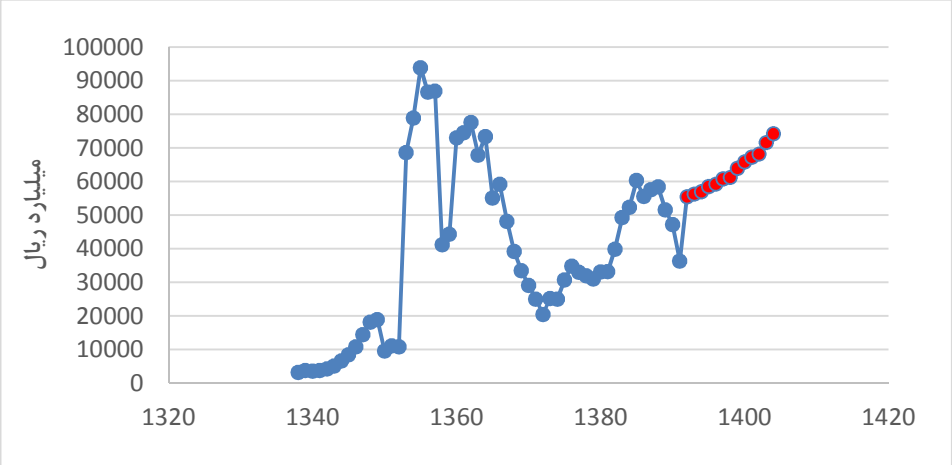
برای انجام پیش‌بینی خارج از نمونه می‌بایست راجع‌به مقادیر متغیرها اقدام به سناریوسازی شود. با توجه به مقدار متوسط رشد متغیرها در دوره‌ی مورد بررسی (۱۳۹۱-۱۳۳۸)، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی بدون نفت، معادل با ۵/۵ درصد، نرخ رشد درآمدهای نفتی، معادل با ۳/۵ درصد، نرخ رشد مخارج غیردفاعی، معادل با ۵/۷ درصد، نرخ رشد جمعیت، معادل با ۶/۶ درصد، نرخ رشد مخارج دفاعی کشورهای خاورمیانه، معادل با ۴ درصد، در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس این سناریوسازی، نتایج پیش‌بینی در جدول (۳) و شکل (۳) ارائه شده است. نتایج پیش‌بینی نشان‌دهنده آنست که مخارج دفاعی در ایران با شیب نسبتاً ملایمی تا سال ۱۴۰۴ افزایش خواهد یافت.

جدول (۳): پیش‌بینی خارج نمونه مخارج دفاعی ایران

سال	مخارج دفاعی (ارقام به میلیارد ریال)
۱۳۹۲	۵۵۴۴۶
۱۳۹۳	۵۶۲۶۹
۱۳۹۴	۵۶۹۷۰
۱۳۹۵	۵۸۴۸۲
۱۳۹۶	۵۹۱۹۳
۱۳۹۷	۶۰۸۰۵
۱۳۹۸	۶۱۲۱۳
۱۳۹۹	۶۳۹۴۸
۱۴۰۰	۶۵۸۴۰
۱۴۰۱	۶۷۲۵۱
۱۴۰۲	۶۸۱۶۳
۱۴۰۳	۷۱۵۷۵
۱۴۰۴	۷۴۱۸۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

شکل (۳): روند مخارج دفاعی در ایران (۱۳۹۱-۱۳۳۸) و روند پیش‌بینی‌شده آن (۱۴۰۴-۱۳۹۲)



مأخذ: یافته‌های تحقیق

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مخارج دفاعی در ایران به‌دلیل قرار گرفتن در محیط بی‌ثبات خاورمیانه و مواجه با تهدیدات امنیتی بعضی از کشورهای جهان، بخش قابل توجهی از کل مخارج عمومی را تشکیل می‌دهد. از این‌رو، شناسایی روند آتی مخارج دفاعی در ایران به‌لحاظ اتخاذ تدابیر لازم برای تأمین مالی آن و تخصیص بهینه‌تر منابع مالی به سایر بخش‌های کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا در این مقاله، با استفاده از داده‌های آماری سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۳۸ و بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات (PSO) به شبیه‌سازی تابع مخارج دفاعی و پیش‌بینی آن در ایران تا افق ۱۴۰۴، در سه شکل تبعی نمایی، خطی و درجه دوم پرداخته شده است. نتیجه این شبیه‌سازی نشان داد که الگوریتم PSO با دقت بیش‌تری تابع مخارج دفاعی را شبیه‌سازی می‌کند و هم‌چنین از بین فرم‌های مختلف تبعی، شکل تابع نمایی تابع مخارج دفاعی با کارآیی بیش‌تری قادر به پیش‌بینی مقادیر آتی مخارج دفاعی در ایران خواهد بود. بر این اساس، با استفاده از الگوریتم PSO، میزان مخارج دفاعی در افق ۱۴۰۴ پیش‌بینی و محاسبه شده است. نتایج پیش‌بینی نیز نشان‌دهنده آنست که مخارج دفاعی در ایران با شیب نسبتاً ملایمی تا سال ۱۴۰۴ افزایش خواهد یافت که تأییدکننده فرضیه این تحقیق

است. توجه به این موضوع و مقادیر پیش‌بینی‌شده در سیاست‌گذاری‌های اقتصادی و دفاعی برای آینده کشور، از اهمیت خاص و قابل توجه‌ای برخوردار است. بر این اساس و با توجه به مقادیر پیش‌بینی‌شده مخارج دفاعی تا افق ۱۴۰۴، سیاست‌گزاران بخش دفاع بایستی تدابیر لازم را برای تأمین مالی مخارج این بخش در جهت حفظ امنیت کشور اتخاذ کنند و با جلوگیری از تخصیص بیش از حد منابع مالی به بخش دفاعی (با توجه به محدودیت بودجه)، از طریق افزایش مخارج سایر بخش‌های محرک رشد اقتصادی، مانند مخارج آموزشی و بهداشتی موجبات افزایش مخارج مربوط به تشکیل سرمایه انسانی را فراهم کنند.

«نویسندگان این مقاله برخود لازم می‌دانند که از کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند و روشن‌گر مهندسین، آقایان: داود گل‌خندان و مجتبی خوانساری در زمینه برآوردهای نرم‌افزاری پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.»

منابع

- امامی میبدی، علی، خضری، محسن و اعظمی، آرش (۱۳۸۸). «***شبیه‌سازی تابع تقاضای انرژی در ایران با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات*** (PSO)»، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ششم، شماره ۲۰، ۱۵۹-۱۴۱.
- بخشی دستجردی، رسول و خاکی نجف آبادی، ناهید (۱۳۸۹). «***بررسی تاثیر جمعیت بر رشد اقتصادی در چارچوب الگوی رشد بهینه در اقتصاد ایران (۱۳۸۶-۱۳۵۰)، کاربردی از الگوریتم ژنتیک***»، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۹۴، ۲۲-۱.
- بهمنی، مجتبی، قاسمی‌نژاد، امین، کریمیان، علی اکبر و آرامش، حکیمه (۱۳۹۳). «***شبیه‌سازی تابع تقاضای برق بخش کشاورزی با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات*** (PSO)»، مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ششم، شماره ۲، ۱۱-۱.
- جلائی، سید عبدالمجید، قاسمی، امین و ستاری، امید (۱۳۹۴). «***شبیه‌سازی تابع مصرف و پیش‌بینی میزان مصرف ایران تا افق ۱۴۰۴ با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات (PSO)***»، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، دوره ۱۵، شماره ۲، ۴۷-۲۷.
- جلائی اسفندآبادی، عبدالمجید، طالقانی، فاطمه، منگالی، هدا و آرامش، حکیمه (۱۳۹۲). «***شبیه-سازی و پیش‌بینی صادرات تا افق ۱۴۰۴***»، فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال دوم، شماره ۴، ۱۶۶-۱۴۷.

- صادقی، حسین، ذوالفقاری، مهدی، سهرابی، حسین، سلمانی، یونس (۱۳۹۱). ***«کاربرد الگوریتم انبوه ذرات و الگوریتم ژنتیک در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تقاضای انرژی»***، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵، شماره ۲، ۶۰- ۴۵.
- عصاری، محمدرضا، عصاره، احسان، بهرنگ، محمدعلی و قنبرزاده، افشین (۱۳۸۹). ***«کاربردی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد مصرف گاز طبیعی در ایران»***، فصلنامه تبدیل انرژی، دوره ۱، شماره ۱، ۳۱- ۲۵.
- قنبری، علی، خضری، محسن و اعظمی، آرش (۱۳۸۷). ***«شبیه‌سازی تابع تقاضای بنزین و نفت گاز در حمل و نقل زمینی ایران، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک»***، فصلنامه اقتصاد مقداری، شماره ۴، ۱۵۷-۱۷۷.
- کاظمی، عالیه، مؤمنی، منصور و نظری، حسام (۱۳۹۲). ***«انتخاب سناریوی مناسب برای پیش‌بینی تقاضای انرژی بخش خانگی- تجاری با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات»***، فصلنامه اقتصاد مقداری، دوره ۱۰، شماره ۳، ۱۹-۱ .
- گل‌خندان، ابوالقاسم (۱۳۹۴). ***«تعیین سطح بهینه‌ی بخش دفاعی در ایران از منظر اقتصادی»***، فصلنامه مدیریت نظامی، دوره ۱۵، شماره ۶۰، ۲۱۲-۱۷۶.
- میرفخرالدینی، سیدحیدر، بابایی میبدی، حمید و مروتی شریف‌آبادی، حمید (۱۳۹۱). ***«پیش‌بینی مصرف انرژی ایران با استفاده از الگو ترکیبی الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با الگوهای سنتی»***، مجله پژوهش‌های مدیریت در ایران، دوره ۱۷، شماره ۲، ۲۲۲-۱۹۶.
- هارتلی، کیت و ساندلر، تاد (۱۳۸۳). ***منتخبی از موضوعات در کتاب اقتصاد دفاع***، ترجمه ابراهیم بیضایی، تهران، انتشارات سمت.
- Abdelfattah, Y.M., Abu-Qarn, A. & Dunne, P. (2013). The demand for military spending in Egypt. Defense and Peace Economics.
- Bahrami, S., Hooshmand, R.A., & Parastegari, M. (2014). Short term electric load forecasting by wavelet transform and grey model improved by PSO (particle swarm optimization) algorithm. Energy, 72, 434-442.
- Canyurt, O.E., & Öztürk, H.K. (2006). Three different applications of genetic algorithm (GA) search techniques on oil demand estimation. Energy conversion and management, 47(18), 3138-3148.
- Charbonneau, P. (2002). An introduction to genetic algorithms for numerical optimization. NCAR Technical Note, 74.
- Chakraborty, M. & Chakraborty, U.K. (1997, September). An analysis of linear ranking and binary tournament selection in genetic algorithms. In Information, Communications and Signal Processing, 1997. ICICS, Proceedings of 1997 International Conference on (Vol. 1, pp. 407-411). IEEE.
- Coir, D.W. & Smith, A.E. (1995). Using a neural network as a function evaluator during GA search for reliability optimization. In Proceedings of the Artificial Neural Networks in Engineering (ANNIE'95) (Vol. 5, pp. 369-374).

- Goldberg, D.E. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.
- Hassanzadeh, Y., Abdi, A., Talatahari, S. & Singh, V.P. (2011). Meta-heuristic algorithms for hydrologic frequency analysis. Water resources management, 25(7), 1855-1879.
- Haldenbilen, S., & Ceylan, H. (2005). Genetic algorithm approach to estimate transport energy demand in Turkey. Energy Policy, 33(1), 89-98.
- Holland, J.H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press. (Second edition: MIT Press, 1992.)
- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). "Particle swarm optimization," Proc. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ, 1942-1948.
- Kumar, D.N. & Reddy, M.J. (2007). Multi-objective particle swarm optimization for generating optimal trade-offs in reservoir operation. Hydrological Processes, 21(21), 2897-2909
- Kıran, M. S., Özceylan, E., Gündüz, M., & Paksoy, T. (2012). A novel hybrid approach based on particle swarm optimization and ant colony algorithm to forecast energy demand of Turkey. Energy conversion and management, 53(1), 75-83.
- Liu, Y. (2009). Automatic calibration of a rainfall–runoff model using a fast and elitist multi-objective particle swarm algorithm. Expert Systems with Applications, 36(5), 9533-9538.
- Nagesh Kumar, D. & Janga Reddy, M. (2007). Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. Journal of Water Resources Planning and Management, 133(3), 192-201.
- Paksoy T., Özceylan, E., Pehldvan N. & Weber G. (2011). Particle Swarm Optimization Approach for Estimation of Energy Demand of Turkey", Global Conference on Power Control and Optimization, Dubai, UAE.
- Pereira, R. (2000). Genetic Algorithm Optimizations for Finance and Investments.
- Reeves, C.R., Scott, D. & Harrison, A. (2003). Applying Genetic Algorithms to Container Transshipment, Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms, 234-238.
- Rudolph G. 1994. Convergence properties of canonical genetic algorithms. IEEE Transactions on Neural Networks, 1(5), 96–101.
- Ünler, A. (2008). Improvement of energy demand forecasts using swarm intelligence: The case of Turkey with projections to 2025. Energy Policy, 36(6), 1937-1944.
- Yu, S., Zhu, K., & Zhang, X. (2012). Energy demand projection of China using a path-coefficient analysis and PSO–GA approach. Energy Conversion and Management, 53(1), 142-153.