

## شبیه سازی تابع مصرف و پیش بینی میزان مصرف ایران تا افق ۱۴۰۴ با استفاده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات (PSO)

سیدعبدالمجید جلایی<sup>۱</sup>

امین قاسمی<sup>۲</sup>

امید ستاری<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱

### چکیده

مصرف یا مخارج مصرفی، یکی از عناصر کلیدی تحلیل‌های کلان اقتصادی است که بخش مهمی از تقاضای کل در اقتصاد ایران را به خود اختصاص می‌دهد. لذا تلاش در جهت پیش‌بینی روند آتی این متغیر از اهمیت ویژه‌ای برای سیاستگذاران برخوردار است.

در این مقاله با تکیه بر مبانی نظری مربوط به تابع مصرف، به تصریح مدل مصرف مناسب برای اقتصاد ایران با هدف دستیابی به پیش‌بینی مطلوب پرداخته می‌شود. لذا با هدف پیش‌بینی روند آتی مصرف بخش خصوصی در اقتصاد ایران تا سال ۱۴۰۴، با استفاده از مبانی نظری در زمینه توابع مصرف و به کارگیری آنها با دو ابزار الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات، به شبیه سازی تابع مصرف خصوصی ایران طی سالهای ۱۳۸۸-۱۳۵۲ با تکیه بر نظریه مصرف فریدمن و نظریه مصرف دوزنبیری پرداخته و سپس با استفاده از معیارهای انتخاب مدل رقیب، الگوریتم و مدل برتر انتخاب و اقدام به پیش‌بینی میزان مصرف تا سال ۱۴۰۴ شده است. کارایی و دقت بیشتر الگوریتم (PSO) و سازگاری رفتار مصرفی در ایران با فروض مصرف دوزنبیری 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 مقاله اند.

**واژگان کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات، شبیه سازی، مدل مصرف، درآمد دائمی، درآمد نسبی

**طبقه بندی JEL:** E21, C61, C15, C53

Jalae44@gmail.com

۱. استاد دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان

amin.ghasemieco@gmail.com

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان

omid.sattari@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس تهران (نویسنده مسؤول)

## ۱. مقدمه

در چند سال اخیر در مباحث اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی، اصطلاح جدیدی تحت عنوان چشم انداز<sup>۱</sup> بیست ساله رایج شده است. در حال حاضر نیز اغلب برنامه ها با معیار چشم انداز مورد بررسی قرار می گیرند.

چشم انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران تلفیقی از دو ویژگی است: آرمانی بودن و واقع‌نگری. به بیان دیگر در این چشم انداز، از یک سو تلاش شده است تا اهدافی که امکان دستیابی به آنها وجود دارد، مشخص گردد. از سوی دیگر، این چشم انداز بر مبنای توانایی‌های بالفعل کنونی قرار ندارد؛ بلکه خواستار تحولات و استفاده از پتانسیل‌های موجود است.

هدف از تدوین سند چشم انداز بیست ساله علاوه بر ایجاد انگیزه، هماهنگ ساختن عملکرد دولت‌های مختلف است. در این سند، ایران سال ۱۴۰۴ کشوری است توسعه یافته با جایگاه اول اقتصادی، علمی، فناوری در سطح منطقه با هویتی اسلامی و انقلابی، الهام بخش در جهان اسلام و با تعامل سازنده و مؤثر در روابط بین الملل. اهداف اقتصادی و فرهنگی و سیاسی ایران در چشم‌انداز تعریف شده است. از نظر اهداف اقتصادی در این چشم انداز ایران ۱۴۰۴ به گونه‌ای ترسیم شده است، که حداقل در میان کشورهای آسیای غربی دارای رتبه اول باشد.

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

متغیر مصرف<sup>۲</sup>، عمده‌ترین و باثبات‌ترین متغیر در بین سایر اجزای تشکیل‌دهنده طرف تقاضای اقتصاد است. این ویژگی‌ها موجب آن شده است که تحقیقات اقتصادی درباره تابع مصرف، یکی از غنی‌ترین زمینه‌های بحث در گستره دانش اقتصاد باشد.

مبانی اقتصاد خرد نظریه‌های رفتار مصرف‌کننده جمعی، از اصول اساسی رفتار مصرف‌کننده فردی و ترجیحات او بین درآمد و فراغت، و بین کالاها یا سبدهای کالایی، و تابع مطلوبیت آغاز می‌شود و از طریق جمعی‌سازی به سطح کلان، و نظریه مصرف پیش‌نگر و کاربرد نگرش انتظارات عقلایی در آن گسترش می‌یابد.

با توجه به موارد برشمرده، بررسی تأثیر متغیرهای مختلف بر مصرف از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین از این جهت که آن بخش از درآمد ملی که مصرف نمی‌شود، سرانجام پس‌انداز و سرمایه‌گذاری خواهد شد؛ در نتیجه، مطالعه الگوی مصرف کلان به صورت غیرمستقیم، مطالعه

- 
1. Vision
  2. Consumption

سرمایه‌گذاری کل و رشد اقتصادی نیز هست و از این جهت، بررسی وضعیت مصرف و مخارج مصرفی در اقتصاد ایران تا افق چشم انداز دلالت‌های سیاستی بسیار مهمی در بر خواهد داشت.

استفاده از روش‌های غیرکلاسیک در شناسایی مدل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده، مدتی است در محافل علمی حتی حرفه‌ای متداول و معمول شده است. در بسیاری از سیستم‌های پیچیده و خصوصاً غیرخطی که مدل‌سازی و به دنبال آن پیش‌بینی و کنترل آنها از طریق روش‌های کلاسیک و تحلیلی امری بسیار دشوار و حتی بعضاً غیرممکن می‌نماید، از روش‌های غیرکلاسیک که از ویژگی‌هایی همچون هوشمندی مبتنی بر معرفت و خبرگی برخوردار هستند، استفاده می‌شود.

الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup> و الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات<sup>۲</sup> (PSO) جزء کارآمدترین روش‌های پیش‌بینی در این حوزه می‌باشند. الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هالند<sup>۳</sup> در سال ۱۹۷۵ مطرح شد و در سال‌های بعد توسط محققان دیگر توسعه یافت. الگوریتم ژنتیک بخشی از نظریه محاسبه تکاملی است که در حال حاضر به عنوان بخشی از هوش مصنوعی به سرعت در حال رشد است. ایده اصلی این الگوریتم در نظریه تکاملی داروین نهفته است.

الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات هم نخستین بار توسط کندی و ابرهات در سال ۱۹۹۵ با الهام از رفتار پرندگان و ماهی‌ها معرفی شد که بر پایه فیزیولوژیکی تأثیرات و یادگیری اجتماعی می‌باشد. در این الگوریتم، اعضا رفتار ساده‌ای را دنبال می‌کنند اما نتیجه‌ای که حاصل می‌شود، کشف مناطق بهینه در فضای جستجو است.

از نظر کاربردی، این دو الگوریتم از بهترین روش‌های بهینه‌سازی مسائل است و به همین جهت می‌توان از این الگوریتم در شبیه‌سازی مدل‌های مختلف توابع و پیش‌بینی روند آتی متغیر مورد نظر استفاده کرد.

در این زمینه، به کارگیری متغیرهای همخوان با مبانی نظری شکل‌گیری این مدل‌ها نه تنها حاوی دلالت‌ها و توصیه‌های سیاستی قابل توجه است، بلکه زمینه را برای پیش‌بینی روند آتی متغیر مورد نظر فراهم می‌سازد.

لذا این پژوهش با هدف پیش‌بینی روند آتی مصرف بخش خصوصی در اقتصاد ایران تا سال ۱۴۰۴، با استفاده از مبانی نظری در زمینه توابع مصرف و به کارگیری آنها با الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO به شبیه‌سازی تابع مصرف خصوصی ایران طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۵۲ با تکیه بر نظریه مصرف فریدمن و نظریه مصرف دوزنبری پرداخته و سه فرم خطی و درجه دوم و نمایی را برای هر کدام از این نظریات شبیه‌سازی می‌کند. سپس با استفاده از معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های رقیب،

- 
1. Genetic Algorithm
  2. Particle swarm optimization Algorithm
  3. Holland

بهترین الگوریتم و شکل تبعی مدل گزینش و از آن برای پیش‌بینی روند مصرف ایران تا سال ۱۴۰۴ استفاده خواهد شد.

بر این اساس، ابتدا به مروری اجمالی بر ادبیات موضوع با دو جهت‌گیری بررسی مطالعات صورت گرفته در حوزه مصرف در داخل و خارج و همچنین ذکر برخی مطالعات اقتصادی استفاده‌کننده از این دو الگوریتم، پرداخته شده، سپس مبانی نظری در هر دو حوزه فوق‌الذکر ارائه گردیده، پس از آن به شرح مراحل تخمین و نتایج و انتخاب مدل برتر پرداخته شده و در نهایت، با ارائه نتایج پیش‌بینی برون نمونه‌ای، اقدام به نتیجه‌گیری شده است.

## ۲. ادبیات موضوع

### ۲-۱. ادبیات تابع مصرف

ابتدا به مرور شواهد تجربی مصرف در سطح بین‌المللی پرداخته می‌شود. در کشور دانمارک دم و هانسن و اولسن (Dam & Hansen & Olsen. 2004) تابع مصرفی خصوصی را شناسایی و متغیرهای درآمد قابل تصرف، ثروت، نرخ بیکاری، نرخ تورم و روند را در مدل وارد و تأثیر تورم بر مصرف را منفی بیان می‌کنند.

هیمان و سنگوئینتی (Heymann & Sanguinetti P. 1998) رفتار مصرفی افراد را انعکاسی از ثروت آنها می‌دانند و در مطالعه آنها نقش ثروت بر مصرف مورد تأکید قرار می‌گیرد. در این باره کمپس و اریکسون (Campos & Ericsson. 2000) اثر ثروت بر مصرف را با استفاده از حجم نقدینگی به عنوان متغیر نماینده ثروت در کشور ونزوئلا، مورد آزمون قرار داده و تأثیر مثبت ثروت بر مصرف را تأیید می‌کنند.

همچنین نتایج پژوهش اهومادا و گارگنانی (Ahumada & Garegnani. 2004) نشان می‌دهد که در کشور آرژانتین متغیر درآمد و نرخ تورم از عوامل تأثیرگذار بر مصرف خصوصی هستند. با توجه به تفاوت ماهیت مخارج مصرفی بر روی نیازهای اساسی و سایر مخارج، باکستر و موسی (Baxter & Moosa . 1996) در برآورد تابع مصرف، مخارج مصرفی بر روی اقلام بی‌دوام را دو بخش نموده‌اند و با کاربرد داده‌های تعدیل شده و تعدیل نشده فصلی، این تفاوت‌ها را توضیح داده و نتیجه گرفته‌اند که این تمایز نه تنها در کارهای تجربی، بلکه در مبانی نظری نیز می‌باید مورد توجه قرار گیرد.

اثر بدهی خانوارها در ژاپن در دوره مربوط به حباب مالی<sup>۱</sup> ژاپن و دوره بعد از آن را آگاو و وان (Ogawa & Wan. 2007) به صورت تجربی مورد بررسی قرار داده‌اند و با به کار بردن داده‌های خرد

خانوارها و کنترل اثر ثروت به این نتیجه رسیده‌اند که نسبت بدهی مربوط به خرید زمین و خانه به ارزش بازاری سرمایه‌های قابل لمس<sup>۱</sup>، اثر منفی قابل توجهی بر مصرف، بعد از ترکیدن حساب داشته است.

پادولا (Padula, 2010) یک روش تقریبی برای دستیابی به تابع مصرف ارائه می‌کند که بر اساس مدل موجودی واسطه پایه گذاری شده که در چنین مدلی، تابع مصرف فزاینده و مقعر، و عملکرد چنین مدلی در زمینه تقریب زدن مصرف، مطلوب ارزیابی شده است.

هروارتز (Herwartz, 1997) نیز عملکرد پیش‌بینی مدل‌های تصحیح خطای دوره‌ای<sup>۲</sup> پیرامون رابطه درآمد و مصرف را بررسی نموده که برای کشورهای انگلستان، سوئد، آلمان و ژاپن صورت گرفته، و نشان دهنده عملکرد مطلوب این مدل در پیش‌بینی است.

پی و همکاران (Pei & et al. 2012) نشان می‌دهند که توابع مصرف غیرخطی منجر به توزیع نامی ثروت می‌شوند و بر این اساس، توصیه‌هایی برای بهینه‌سازی برابری توزیع ثروت ارائه می‌کنند.

برای تبیین رفتار مصرف بخش خصوصی ایران نیز مطالعات متعددی انجام شده است. منجذب (۱۳۷۶) توابع مصرف را بر اساس نظریه‌های کینز و دوزنبری و مودیگلیانی و فریدمن با داده‌های ۱۳۳۸-۱۳۷۳ تخمین زده و در نهایت، تابع مصرف دوزنبری به عنوان مدل مناسب ایران انتخاب شده است.

ولد خانی (۱۳۷۶) مصرف بخش خصوصی را تابعی از درآمد قابل تصرف دانسته و درآمد قابل تصرف را از کسر ارزش افزوده بخش نفت و گاز و مالیات‌ها و اضافه کردن پرداخت‌های انتقالی به تولید ناخالص داخلی به دست آمده است.

در مطالعه دیگری، خشادوریان و خیابانی (۱۳۷۹) تابع مصرف خصوصی سرانه را تخمین زده‌اند که ضرائب درآمد قابل تصرف و نقدینگی حقوقی، به ترتیب برابر ۰/۴۸ و ۰/۱۵ به دست آمده است. همچنین در برنامه سوم توسعه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (۱۳۷۸) مصرف خصوصی سرانه را تابعی از درآمد قابل تصرف سرانه و کل نقدینگی حقیقی در نظر گرفته که به ترتیب، کشش ۰/۰۸۶ و ۰/۰۴۹ برای این دو متغیر برآورده شده است.

بررسی تأثیر شاخص‌های عدم اطمینان بر روی رفتار مصرفی خانوار در اقتصاد ایران، موضوع مطالعه جعفری صمیمی و خاکی (۱۳۸۶) قرار گرفته و برای این منظور از شاخص‌های عدم اطمینان، نرخ بیکاری، رشد انتظاری درآمد، قدر مطلق انحراف درآمد از میانگین و نسبت دارایی‌های نقدی و غیر نقدی دوره قبل به درآمد قابل تصرف دوره فعلی استفاده نموده و نشان داده‌اند که مطابق انتظار،

- 
1. Tangible
  2. Periodic error-correction model

شاخص‌های عدم اطمینان، تأثیر منفی بر رفتار مصرفی خانوارها در اقتصاد ایران دارد و دولت می‌تواند از طریق بهبود عملکرد سیاست‌های مالی و در نتیجه، متغیرهای اقتصاد کلان، اثرات ناشی از عدم اطمینان را کاهش دهد.

در تحقیقات متعددی که در خصوص اثر توسعه بازار سرمایه بر مصرف بخش خصوصی کشورهای توسعه یافته انجام شده، اثر معنی‌داری به دست آمده است.

عزیزی (۱۳۸۸) به بررسی اثر گسترش بازار سهام بر مصرف بخش خصوصی در ایران پرداخته است. و گرچه درباره اثر این متغیر در کشورهای در حال توسعه، اجماعی وجود ندارد اما نظر به اینکه در چند سال اخیر بازار سهام ایران با نوسانات بسیار زیادی روبه‌رو بوده، بررسی اثر ثروت بازار سهام بر مصرف بخش خصوصی از منظر سیاست‌گذاری برای مقامات اقتصادی حائز اهمیت زیادی می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان از یک رابطه مثبت معنی‌دار میان ثروت بازار سهام و مصرف بخش خصوصی در ایران داشته، همچنین جوان بودن نسبی و شکل خاص هرم جمعیتی ایران در شکل‌دهی میزان مصرف بخش خصوصی اثرگذار بوده است.

نوفرستی و مدنی (۱۳۸۵) با بهره‌گیری از فرضیه دوران زندگی آندو-مودیگلیانی، اثر تغییر ساختار سنی جمعیت بر هزینه‌های مصرفی بخش خصوصی را با استفاده از روش همجمعی مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاکی از آن است که هزینه‌های مصرفی بخش خصوصی به گونه‌ی بارزی از تغییرات در توزیع سنی جمعیت تأثیر می‌پذیرد. همچنین این ادعا در نظریه دوران زندگی آندو-مودیگلیانی که گروه سنی میانسال تأمین‌کننده پس‌انداز مؤثر جامعه است، در مورد ایران تأیید می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده، بیشترین پس‌انداز توسط افرادی که در محدوده سنی ۳۰ تا ۴۵ سال هستند، صورت می‌گیرد.

## ۲-۲. ادبیات الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO

توجه به کاربرد تکنیک‌های هوش مصنوعی و ابزارهای مدل‌سازی در حوزه علوم اجتماعی به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. در چند دهه گذشته عناوین شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم PSO و منطق فازی از موضوعاتی بوده‌اند که توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است.

الگوریتم ژنتیک، الگوریتمی مبتنی بر تکرار و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس شده است. این الگوریتم در مسائل متنوعی نظیر بهینه‌سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسائل ترکیبی، تعیین توپولوژی و آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های مبتنی بر تصمیم و قاعده به کار می‌رود. در حوزه مطالعات داخلی الگوریتم ژنتیک به صورت معدود در زمینه موضوعات

مرتبط با اقتصاد مورد استفاده قرار گرفته است.

عصاره و همکاران (Assareh, E. et al. 2010) با به کارگیری الگوریتم های PSO و ژنتیک، اقدام به برآورد تقاضای نفت خام در ایران نموده اند. در این پژوهش، از دو فرم نمایی و خطی برای برازش و پیش بینی تقاضای نفت ایران تا سال ۲۰۳۰ استفاده شده و پس از بررسی فرمهای مختلف در هر دو الگوریتم، الگوریتم PSO در فرم خطی با خطای کمتری در آزمون های درون نمونه ای همراه بودند و از این جهت این الگوریتم، مبنای پیش بینی قرار گرفته است.

صادقی و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای بنزین با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک، به تخمین تابع تقاضای بنزین در بخش حمل و نقل برای دوره ۸۵-۱۳۵۳ در قالب معادلات خطی، درجه دو و نمایی پرداخته و با انتخاب بهترین مدل تخمین براساس معیارهای مرسوم، تقاضای بنزین در بخش حمل و نقل را تحت سناریوهای مختلف تا سال ۱۴۰۴ پیش بینی نموده اند.

قنبری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از روند متغیرهای تأثیرگذار بر تقاضای انرژی بخش حمل و نقل زمینی ایران با استفاده از الگوریتم ژنتیک، دو فرم از معادلات تقاضای انرژی غیر خطی بنزین و نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی ایران شبیه سازی و بر اساس آن اقدام به پیش بینی نموده اند. نتایج این تحقیق نشان داد که فرم درجه دوم تابع تقاضای بنزین بخش حمل و نقل زمینی و فرم نمایی تابع تقاضای نفت گاز بخش حمل و نقل زمینی، با معیارهای کارآیی شبیه سازی بهتر، نتایج بهتری را در پیش بینی تقاضای انرژی بخش حمل و نقل زمینی ایران فراهم می کند و می تواند در پروژه های بخش انرژی ایران به کار برده شوند.

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 (نمایی و خطی) پرداخته اند و تقاضای گاز طبیعی برای ایران تا سال ۲۰۳۰ پیش بینی شده است.

همچنین بخشی دستجردی و خاکی نجف آبادی (۱۳۹۰) تأثیر جمعیت بر رشد اقتصادی ایران در چارچوب الگوی رشد بهینه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار داده اند.

الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات، یکی از الگوریتم های قدرتمند بهینه سازی است که بیشتر به دلیل سرعت همگرایی نسبتاً بالایی که دارد، مورد استفاده قرار می گیرد. این الگوریتم با وجود عمر کمی که دارد، توانسته است در حوزه های کاربردی بسیاری، از الگوریتم های قدیمی تر، مانند الگوریتم ژنتیک، پیشی بگیرد و به عنوان انتخاب اول محسوب شود.

در حوزه مطالعات داخلی الگوریتم بهینه سازی ذرات به صورت محدود در زمینه موضوعات مرتبط با اقتصاد مورد استفاده قرار گرفته است که در این زمینه تنها می توان به مطالعه امامی میبیدی و همکاران (۱۳۸۸) اشاره نمود که با استفاده از خط سیر شاخص های کلان اقتصادی، دو فرم از معادلات

تقاضای انرژی غیر خطی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ذرات شبیه سازی و بر اساس آن اقدام به پیش بینی نموده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که فرم درجه دوم نتایج بهتری را در مشاهده داده‌ها فراهم می‌کند و با یک ضریب همبستگی بالاتر، می‌تواند در پروژه‌های بخش انرژی ایران به کار برده شود.

### ۳. مبانی نظری

توسعه مبانی تابع مصرف در اقتصاد کلان را می‌توان از نمونه‌های عالی گسترش دانش در علم اقتصاد به شمار آورد. ابتدا کینز در سال ۱۹۳۶ در کتاب نظریه عمومی اشتغال بهره و پول به قانون روان-شناسانه‌ای اشاره می‌کند که بر اساس آن، مردم به عنوان یک قاعده و در مجموع تمایل دارند وقتی درآمدشان افزایش می‌یابد، مصرفشان را افزایش دهند اما نه به اندازه افزایش درآمدشان. براساس این قاعده، وی تابع خطی مصرف را به صورت زیر معرفی نموده است:

$$C = \alpha + \beta y$$

که در آن،  $C$  مصرف،  $\alpha$  مصرف مستقل و  $\beta$  میل نهایی به مصرف و شیب تابع مصرف است. بررسی‌های آماری بلند مدت در زمینه مصرف در سطح کلان با ساختار تابع مصرف ارائه شده توسط کینز و عدم تحقق تز رکودی کینز و افزایش تقاضای خصوصی و پدیدار شدن تورم به جای رکود در دوران بعد از جنگ جهانی دوم، زمینه را برای ظهور نظریات جدید مصرف با هدف توضیح همه شواهد تجربی و حقایق آشکار شده آماری مربوط به رفتار مصرفی مردم و ارتباط آن با تغییرات درآمد فراهم کرد.

نظریات جدید برای توضیح حقایق آماری، از منطق خرد اقتصادی رفتار مصرف کننده استفاده نمودند و بهینه‌یابی بین دوره‌ای در مورد مصرف با احتساب جریان درآمدی طول عمر، وجه مشترک همه نظریات جدید بود. بدین ترتیب، افق زمانی بلند مدت و اثر آشکار ثروت بر مصرف مورد توجه قرار گرفت و نظریه‌های درآمد نسبی دوزنبیری در سال ۱۹۴۹ و نظریه سیکل زندگی آندو-مودیگلیانی در سال ۱۹۵۰ و درآمد دائمی فریدمن در سال ۱۹۶۷ در زمینه رفتار مصرفی وارد ادبیات اقتصادی شد.

تئوری‌هایی که پس از نظریه مصرف کینز، توسط دوزنبیری و فریدمن و مودیگلیانی ارائه شده، هر سه بر اصل تخصیص بهینه جریان درآمدی دوره زندگی<sup>۱</sup> به یک الگوی مصرف در طول زندگی در جهت حداکثر کردن تابع مطلوبیت بین دوره‌ای<sup>۲</sup> مبتنی‌اند. بنابراین پیش از طرح جداگانه این

- 
1. Lifetime Income
  2. Intertemporal Utility Function



نظریات، به بحث بهینه‌یابی مصرف بین دوره‌ای اشاره می‌شود. نظریه‌پردازان مصرف در نیمه دوم قرن بیستم، با الهام از کار ایروینگ فیشر<sup>۱</sup>، برای هر فرد تابع مطلوبیت بین دوره‌ای به صورت زیر در نظر گرفتند:

$$U = U(C_0, C_1, \dots, C_t, \dots, C_n)$$

که در آن،  $C_t$  مصرف حقیقی فرد در سال  $t$  ام است و مطلوبیت دوران زندگی تابعی از مصرف حقیقی فرد در تمام طول عمر وی (از زمان ۰ تا زمان  $n$ ) است. مصرف کننده مقید است که ارزش فعلی مصرف طول عمر از ارزش فعلی درآمدهای ناشی از کار و ثروت وی بیشتر نباشد:

$$\sum_{t=0}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

که در آن،  $Y_t$  درآمد مصرف کننده در سال  $t$  و  $r$  نرخ تنزیل می باشد. با فرض اینکه شکل صریح تابع مطلوبیت بین دوره‌ای به طور جمع‌پذیر جدایی پذیر<sup>۲</sup> و به صورت زیر باشد:

$$U = \ln C_0^{\alpha_0} + \frac{\ln C_1^{\alpha_1}}{1+\delta} + \frac{\ln C_2^{\alpha_2}}{(1+\delta)^2} + \dots + \frac{\ln C_n^{\alpha_n}}{(1+\delta)^n}$$

که در آن،  $\alpha_t$  وزن مصرف پولی دوره  $t$  در بودجه طول عمر فرد و  $\delta$  نرخ رجحان زمانی مصرف کننده بوده و بدیهی است که با تشکیل تابع لاگرانژ زیر و مشتق‌گیری نسبت به  $n+2$  متغیر ( $C_0$  تا  $C_n$  و  $\lambda$ ) خواهیم داشت:

$$L = \ln C_0^{\alpha_0} + \frac{\ln C_1^{\alpha_1}}{1+\delta} + \frac{\ln C_2^{\alpha_2}}{(1+\delta)^2} + \dots + \frac{\ln C_n^{\alpha_n}}{(1+\delta)^n} + \lambda \left( \sum_{t=0}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \right)$$

$$\frac{\partial L}{\partial C_0} = \frac{\alpha_0 C_0^{\alpha_0-1}}{C_0^{\alpha_0}} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial C_t} = \frac{\alpha_t C_t^{\alpha_t-1}}{C_t^{\alpha_t} (1+\delta)^t} - \lambda \frac{1}{(1+r)^t} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial C_{t+1}} = \frac{\alpha_{t+1} C_{t+1}^{\alpha_{t+1}-1}}{C_{t+1}^{\alpha_{t+1}} (1+\delta)^{t+1}} - \lambda \frac{1}{(1+r)^{t+1}} = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{t=0}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0$$

با بررسی شرایط بهینه‌یابی لاگرانژ، دو نکته حائز اهمیت است. نخست آنکه رابطه زیر همواره در نقاط بهینه مصرف برقرار است:

$$C_{t+1} = \frac{\alpha_{t+1} (1+r)}{\alpha_t (1+\delta)} C_t$$

1. Irving Fisher
2. Additively Separable

این رابطه بیان می‌کند که: اولاً، شیب مسیر زمانی مصرف به موقعیت نرخ بهره نسبت به نرخ رجحان زمانی مصرف کننده بستگی دارد؛ ثانیاً، اینکه اگر  $C_{t-1}$  مشخص باشد، آنگاه می‌توان از معادله بالا به پیش بینی  $C_t$  پرداخت. در واقع اگر مصرف کننده روی مسیر بهینه مصرف قرار داشته باشد و از تمام اطلاعاتی که در مورد دورنما و چشم انداز درآمد آینده دارد، استفاده نماید، آنگاه می‌توان با داشتن  $C_t, C_{t-1}$  را پیش‌بینی کرد و برای انجام این پیش‌بینی، به هیچ متغیر دیگری نیاز نیست؛ زیرا تمام اطلاعات مربوط به متغیرهای دیگر، قبلاً در تصمیم  $C_{t-1}$  لحاظ گردیده است. به همین دلیل ضروری است مدل‌های پیش‌بینی کننده مصرف در مسیر دست یافتن به پیش‌بینی‌های دقیق‌تر از مسیر آینده مصرف، وقفه‌های این متغیر را در مدل پیش‌بینی کننده وارد نمایند. نکته دوم آنکه با انجام بهینه یابی، در نهایت، مصرف در دوره  $t$  برای فرد  $i$  ام به صورت تابع زیر قابل دستیابی خواهد بود:

$$C_t^i = \frac{PV_t^i}{\left( \sum_{s=t+1}^n \frac{\alpha_s}{\alpha_0(1+\delta)^{s-t}} \right)}$$

که در آن،  $PV_t^i$  ارزش فعلی درآمدهای فرد  $i$  ام در زمان است. از آنجا که بهینه‌یابی انجام گرفته مربوط به یک وضعیت معین در مورد درآمدها و ترجیحات است، این رابطه بیان می‌کند که اطلاعات جدید درباره درآمد آینده و یا تغییر میزان آن، تحت تأثیر عواملی چون ارث یا ثروت کل، مسیر مصرف را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در نظریه مصرف دوزنبری، مصرف هر مصرف کننده به مصرف سایر افراد وابسته است. در واقع، فرد آن اندازه که نسبت به مصرف خود در مقایسه با مصرف سایر افراد نگرانی دارد، نسبت به سطح مطلق مصرف خود حساس نیست و میل متوسط به مصرف فرد به موقعیت وی در توزیع درآمد جامعه بستگی دارد. همچنین فرضیه دیگر دوزنبری آن است که مصرف فعلی نه تنها توسط سطوح فعلی درآمد مطلق و درآمد نسبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بلکه از سطوح مصرف انجام شده و تحقق یافته دوره‌های قبل نیز متأثر می‌شود که این فرض بیانگر آن است که نسبت درآمد جاری به بالاترین درآمد دوره قبل نیز بر مصرف اثرگذار است.

رابطه زیر را می‌توان برای داده‌های سری زمانی در نظر گرفت:

$$C_t = \alpha + \beta y_t + \gamma y_{\max}$$

با توجه به این فرض که معمولاً در طول زمان درآمد افزایش می‌یابد، می‌توان گفت که  $y_{\max} = y_{t-1}$  خواهد بود و لذا یکی از تفسیرهای اثرگذار بر مصرف را بایستی درآمد تحقق یافته در دوره‌های قبل (وقفه‌های درآمد) در نظر گرفت.

در نظریه مصرف آندو-مودیگیلیانی، فرضیه سیکل زندگی مصرف به عنوان یک اصل موضوعی مدنظر قرار می‌گیرد و شکل قابل برآورد نظریه مصرف آندو-مودیگیلیانی از نظر آماری به صورت زیر

ارائه می‌شود:

$$C_0 = k [1 + \beta(t-1)]y_0^L + kA_0$$

در این رابطه،  $A_0$  خالص ثروت حقیقی خانوار در شروع دوره،  $y_0^L$  درآمد ناشی از کار در شروع دوره،  $t-1$  متوسط عمر باقیمانده انتظاری و  $\beta$  ضریب ثابت است.  $k$  معرف میل نهایی به مصرف دارائی‌ها و  $[1 + \beta(T-1)]$  معرف میل نهایی به مصرف از درآمد ناشی از کار است. فریدمن نیز در نظریه مصرف خود همانند مودیکلیانی، فرض می‌کند که مصرف‌کننده با بهینه‌یابی بین دوره‌ای، رابطه زیر را به عنوان قاعده مصرفی خود انتخاب می‌کند:

$$C^i = F^i(PV^i)$$

فریدمن  $PV$  را به نحو متفاوتی از سایر نظریه پردازان تفسیر نموده و از مفهوم درآمد دائمی<sup>۱</sup> استفاده می‌کند و درآمد دائمی را برابر با درآمدی می‌داند که از ثروت انسانی و غیر انسانی یک فرد ایجاد می‌شود. وی مصرف تحقق یافته را متشکل از دو جزء مصرف دائمی و مصرف زودگذر<sup>۲</sup> و درآمد اندازه‌گیری شده را نیز متشکل از دو جز دائمی و زودگذر می‌داند و فرض می‌کند هیچگونه وابستگی بین اجزای زودگذر و دائمی وجود ندارد. در زمینه محاسبه درآمد دائمی، فریدمن از تقریب گسسته استفاده نموده است و درآمد را به صورت میانگین موزون در نظر می‌گیرد:

$$y_{P(t)} = (1-\gamma) \sum_{j=0}^{\infty} \gamma_j \cdot y_{t-j}$$

و الگوی آماري قابل تخمین فریدمن به صورت زیر معرفی می‌گردد:

$$C_P = \alpha_0 + \beta_0 y_t + \gamma C_{t-1}$$

مهمترین وجه تمایز نظریات آندو-مودیکلیانی و فریدمن در این است که در نظریه مصرف سیکل زندگی آندو-مودیکلیانی، ثروت در تابع کوتاه مدت به عنوان پارامتر انتقال عمل می‌کند؛ حال آنکه در نظریه مصرف فریدمن، مصرف آخرین سال پارامتر انتقال منظور می‌گردد. سه نظریه مصرف ذکر شده، بر نقش ثروت در رفتار مصرفی کل جامعه تأکید دارند و بیان می‌کنند که با افزایش دارائی‌های حقیقی، مصرف نیز قابلیت افزایش دارد و ارزش پولی به صورت زیر قابل تعریف است:

$$A=K+R+B$$

که در آن،  $K$  ارزش موجودی سرمایه است که با ارزش کل سهام سهامداران به اضافه ارزش موجودی ساختمانی زمین و کالاهای مصرفی بادوام سنجش می‌شود.  $R$  ارزش ذخائر مردم نزد بانک مرکزی است و  $B$  ارزش پولی اوراق قرضه دولتی نزد مردم است. با توجه به مبانی نظری ذکر شده و هدف اصلی پژوهش که پیش بینی مقادیر آتی مصرف است، دو مدل اساسی که برگرفته از نظریه دائمی

1. Permanent income
2. Transitory

فریدمن و نظریه درآمد نسبی دوزنبری است، در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مدل بر گرفته شده از نظریه درآمد دائمی فریدمن، مصرف به صورت تابع زیر در نظر گرفته شده است:

$$C_t = F(GDP_t, C_{t-1}, M_t)$$

که در آن،  $C_t$  مخارج مصرفی در اقتصاد ایران و  $GDP_t$  تولید ناخالص داخلی در دوره  $t$ ،  $M_t$  حجم نقدینگی و  $C_{t-1}$  مخارج مصرفی دوره قبل خواهد بود. استفاده از یک وقفه متغیر مصرف بر شروط مرتب اول بهینه‌یابی مطلوبیت بین دوره‌های فرد مبتنی است. پیش از این اشاره شد که با فرض حرکت مصرف‌کنندگان بر روی مسیر زمانی بهینه مصرف، وقفه متغیر مصرف، پیش‌بینی‌کننده خوبی برای مقادیر آینده مصرف است. همچنین در مبانی نظری ذکر گردید که با تغییر چشم انداز درآمدهای آتی فرد، تصمیمات مصرفی وی تحت الشعاع قرار خواهد گرفت. این دیدگاه در کنار نظریات متعددی که قائل به نقش ثروت در تابع مصرف هستند، مسبب حضور این متغیر در تابع شبیه‌سازی شده و ورود حجم نقدینگی به مدل با هدف لحاظ کردن اثر ثروت بر مصرف صورت گرفته است.

این متغیر به دو دلیل به عنوان نماینده ثروت انتخاب شده، نخست آنکه مشخص ترین جزء در سبد دارایی<sup>۱</sup> اشخاص به حساب می‌آید که در سطح کلان قابل محاسبه است و دوم اینکه با در نظر گرفتن ویژگی‌های فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی جامعه ایران، می‌توان نقش تسهیلات اعطایی بانکها را در حفظ استانداردهای مصرفی شخصی پررنگ قلمداد کرد.

در مدل بر گرفته شده از نظریه درآمد نسبی دوزنبری تابع مصرف به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$C_t = F(GDP_t, C_{t-1}, M_t, GDP_{t-1}, GDP_{t-2}, GDP_{t-3})$$

در این تابع با توجه به مبانی نظری مطرح شده پیرامون نظریه مصرف درآمد نسبی دوزنبری، وقفه‌های تولید ناخالص داخلی نیز به مدل افزوده شده است. بر اساس محاسبات تحقیق، سه وقفه تولید ناخالص داخلی در تابع مصرف، عملکرد مدل را در پیش‌بینی به حالت بهینه، با کمترین میزان خطا نزدیک می‌کند.

### ۳-۱. مبانی نظری الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک برای اولین بار توسط هالند در سال ۱۹۷۵ مطرح شد و مفاهیم الگوریتم در سال ۱۹۸۹ توسط گلبیگ بسط داده شد. این الگوریتم یکی از بهترین روشهای بهینه‌سازی در حل مسائل است که عملکرد آن بر اساس علم ژنتیک موجودات زنده است. این الگوریتم به گونه‌ای نظریه تکاملی داروین را دنبال می‌کند. داروین در تئوری تکاملی خود بیان می‌کند که در جهان با منابع محدود و

جمعیت پایدار، افراد برای بقا با یکدیگر رقابت می‌کنند و افراد با ویژگی و قابلیت‌های بهتر، شانس بیشتری برای بقا و تکثیر دارند و این افراد نیز ویژگی‌های خود را در طی نسل‌ها به فرزندان خود منتقل می‌کنند.

امروزه، الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش مؤثر و کارا برای حل مسائل بهینه‌سازی در زمینه‌های مختلف تجاری، علوم پایه، علوم مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف این الگوریتم، بهینه کردن تابع شایستگی (تابع برازندگی) است.

در این الگوریتم، هر کدام از اعضای جمعیت، بر اساس شایستگی و مطلوبیتی که از خودشان نشان می‌دهند، در محیط یا فضای مساله باقی می‌مانند و افراد با شایستگی بالاتر، شانس بیشتری برای ازدواج و تولید مثل خواهند داشت.

در ابتدا، الگوریتم دو عضو از جمعیت را به طور تصادفی به عنوان والدین انتخاب می‌کند و فرزندان آنها را به عنوان نسل بعدی در نظر می‌گیرد و این نسل و نسل‌های آینده در گام‌های بعدی بر اساس شایستگی افراد انتخاب می‌شوند و تکامل می‌یابند. بنابراین بعد از چند نسل، فرزندان با شایستگی و قابلیت بهتر به وجود می‌آیند.

در الگوریتم ژنتیک، هر فرد به عنوان یک کروموزوم ارزیابی می‌شود و سپس بر اساس شایستگی که از خود نشان می‌دهد، در محیط باقی و تکثیر می‌شود و برای تولید نسل بعد کروموزوم‌هایی که تابع شایستگی آنها مقدار بهتری داشته باشند در اولویت هستند، ولی به هر حال به افراد با تابع برازندگی ضعیف‌تر نیز شانس کوچکی داده می‌شود.

پس از انتخاب والدین، فرزندان با عملگرهای همبری و جهش تولید می‌شوند که برای هر یک از عملگرهای ژنتیک، یک پارامتر احتمال تعریف می‌شود، عمل همبری با یک احتمال نزدیک به یک روی هر جفت کروموزوم اجرا می‌شود که اشکال مختلفی مثل همبری تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت دارد. در همبری تک نقطه‌ای، عددی صحیح بین ۱ تا  $L$  (که  $L$  طول کروموزوم بر حسب بیت است) به طور تصادفی انتخاب شده، سپس از نقطه به دست آمده اطلاعات بین ۲ کروموزوم جابه‌جا شده و فرزندان جدید تولید می‌شوند. عملگر جهش پس از همبری والدین، تغییراتی را به طور تصادفی در فرزندان ایجاد می‌کند که اگر احتمال وقوع جهش زیاد باشد، امکان همگرا نشدن الگوریتم وجود دارد و در صورت کم بودن احتمال آن نیز ممکن است کروموزوم‌های مناسب برای رسیدن به جواب بهینه تولید نشوند. برای جهش عددی صحیح به صورت تصادفی بین ۱ تا  $L$  انتخاب و در نقطه به دست آمده آن بیت از کروموزوم تغییر می‌یابد.

بعد از آنکه نسل بعد تولید شد، یک مرحله از اجرای الگوریتم به پایان رسیده است. در پایان هر مرحله از اجرای الگوریتم، شرط توقف بررسی می‌شود. شرط توقف می‌تواند بر اساس گذشت زمان

و تعداد مراحل تکرار الگوریتم صورت گیرد یا با توجه به پاسخ الگوریتم انجام شود. در صورت اجرا نشدن شرط توقف، الگوریتم بارها و بارها تکرار می شود تا شرط توقف تأمین شود و اجرای الگوریتم پایان یابد. در پایان، بهترین جواب به دست آمده در خروجی ظاهر خواهد شد.

### ۳-۳. مبانی نظری الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات

بهینه سازی انبوه ذرات (PSO) یک تکنیک بهینه‌سازی است که بر پایه جمعیتی از پاسخ‌های اولیه عمل می کند. الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات (PSO) یکی از مهمترین و بهترین الگوریتم‌هایی است که در حوزه هوش مصنوعی معرفی شده است. این تکنیک اولین بار توسط ابره‌ه‌ارت و کندی در سال ۱۹۹۵ بر اساس رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان و ماهی‌ها طراحی و مدل شد. این روش در بسیاری موارد شبیه به تکنیک‌های محاسباتی تکاملی مانند الگوریتم‌های ژنتیک عمل می کند. در این روش هم، سیستم با جمعیتی از پاسخ‌های اولیه شروع به کار می کند و با حرکت دادن این پاسخ‌ها در طی تکرارهای متوالی، سعی در یافتن پاسخ بهینه دارد. در این الگوریتم، هر ذره نماینده یک جواب مساله است که به طور تصادفی در فضای مساله در حرکت می باشد. تغییر مکان هر ذره در فضای جستجو تحت تأثیر خود و همسایگان است، بنابراین موقعیت ذرات دیگر روی چگونگی حرکت و جستجوی ذره اثر می گذارد. هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی اش وجود دارد، تنظیم می کند. موقعیت اولیه هر ذره به صورت تصادفی در فضای جستجو با یک توزیع یکنواخت در محدوده تعریف مساله تعیین می شود.

هر ذره به صورت چند بعدی (بسته به طبیعت مساله) با دو مقدار  $x_i^d(t)$  و  $v_i^d(t)$  که به ترتیب، معرف وضعیت مکانی و سرعتی مربوط به بعد  $d$  ام از  $i$  امین ذره هستند، تعریف می شوند. در زمان  $t$  بعد، موقعیت هر ذره بر مبنای تجربه خود و نیز همسایگان تعیین می شود. اگر  $x_i^d(t)$  موقعیت بعد  $d$  ام ذره  $i$  در زمان  $t$  باشد، موقعیت بعدی ذره از جمع موقعیت بعد  $d$  ام ذره  $i$  در زمان  $t$  با سرعت ذره  $i$  به دست می آید. ذرات از طریق بردار سرعت هدایت می شوند. در بردار سرعت، هم نتیجه تجربه اجتماعی ذره‌های همسایه و هم، تجربه فردی هر ذره دخیل است. هر ذره، سرعت خود را با ترکیب خطی از جزء فردی که نشان دهنده استفاده از دانش و تجربه شخصی است و جزء اجتماعی که بیانگر تجربیات همسایه‌هاست، به روز رسانی می کند. در جزء فردی، بهترین موقعیت ذره  $P_{best}$  که تا آن لحظه به آن دست یافته و در جزء اجتماعی، بهترین موقعیتی که کل ذرات  $g_{best}$  به آن دست یافته‌اند، لحاظ می شود.

هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب سعی می کند 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  $Pbest$ ، فاصله موقعیت کنونی و  $gbest$ . بدین صورت سرعت هر ذره طبق رابطه زیر تغییر می کند:

$$v_{ij(t+1)} = w \cdot v_{ij(t)} + c_1 \cdot r_1 (pbest_{ij(t)} - x_{ij(t)}) + c_2 \cdot r_2 (gbest_{ij(t)} - x_{ij(t)})$$

که در آن،  $v_{ij}(t)$ ، بعد از  $t$  ام هر ذره در تکرار  $t$  ام است.  $C_1$  و  $C_2$  ثوابت مثبتی هستند که برای وزن دهی به اجزای خودی و جمعی استفاده می شود و ضرایب شتاب نامیده می شوند.  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی با توزیع بین صفر و یک بوده  $(r_{1i}(t), r_{2i}(t) \approx u(0,1))$  که خاصیت تصادفی بودن الگوریتم را حفظ می کنند.  $w$  پارامتر وزن اینرسی می باشد.

موقعیت جدید هر ذره از مجموع موقعیت گذشته و سرعت جدید به دست می آید که طبق رابطه زیر تعیین می شود:

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

#### ۴. شبیه سازی تابع مصرف

در این بخش، ابتدا به معرفی متغیرهای دو مدل مصرف دوزنبیری و فریدمن و بیان شکل‌های تبعی مختلف به کار گرفته شده، پرداخته و سپس با بیان نتایج تخمین حاصل از کاربرد دو الگوریتم و استفاده از معیارهای ارزیابی مدل‌های رقیب، مدل بهینه برای پیش بینی به کار گرفته می‌شود.

در این پژوهش از داده‌های سالانه مصرف بخش خصوصی و ارزش بازاری تولید ناخالص داخلی ایران به قیمت ثابت و حجم نقدینگی در دوره ۱۳۸۷-۱۳۵۲ و یک وقفه متغیر مصرف و سه وقفه تولید ناخالص داخلی (در مدل مصرف دوزنبیری) استفاده شده است و با استفاده از نرم افزار MATLAB اقدام به بهینه سازی ارزش پارامترهای مدل شده است. برای شبیه سازی تابع مصرف بر اساس نظریه فریدمن سه فرم خطی، درجه دوم و نمایی به ترتیب زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

$$C_t = a_0 + a_1 GDP_t + a_2 C_{t-1} + a_3 M_t$$

$$C_t = a_0 + a_1 GDP_t + a_2 C_{t-1} + a_3 M_t + a_4 GDP_t^2 + a_5 C_{t-1}^2 + a_6 M_t^2 + a_7 GDP_t \cdot C_{t-1} + a_8 GDP_t \cdot M_t + a_9 C_{t-1} \cdot M_t$$

$$C_t = a_0 + a_1 GDP_t^{a_4} + a_2 C_{t-1}^{a_5} + a_3 M_t^{a_6}$$

در شبیه سازی تابع مصرف با استفاده از تئوری مصرف دوزنبیری با بررسی و انتخاب نهایی ورود سه وقفه تولید ناخالص داخلی به مدل با توجه به مبانی نظری پژوهش، معادلات زیر به ترتیب در سه شکل خطی، درجه دوم و نمایی مورد ملاحظه قرار گرفتند:

$$C_t = a_0 + a_1 GDP_t + a_2 C_{t-1} + a_3 M_t + a_4 GDP_{t-1} + a_5 GDP_{t-2} + a_6 GDP_{t-3}$$

$$C_t = a_0 + a_1 GDP_t + a_2 C_{t-1} + a_3 M_t + a_4 GDP_{t-1} + a_5 GDP_{t-2} + a_6 GDP_{t-3} + a_7 GDP_t^2 + a_8 C_{t-1}^2 + a_9 M_t^2 + a_{10} GDP_{t-1}^2 + a_{11} GDP_{t-2}^2 + a_{12} GDP_{t-3}^2 + a_{13} GDP_t \cdot C_{t-1} + a_{14} GDP_t \cdot M_t + a_{15} GDP_t \cdot GDP_{t-1} + a_{16} GDP_t \cdot GDP_{t-2} + a_{17} GDP_t \cdot GDP_{t-3} +$$

$$a_{18}C_{t-1}M_t + a_{19}C_{t-1}GDP_{t-1} + a_{20}C_{t-1}GDP_{t-2} + a_{21}C_{t-1}GDP_{t-3} + a_{22}M_tGDP_{t-1} + a_{23}M_tGDP_{t-2} + a_{24}M_tGDP_{t-3} + a_{25}GDP_{t-1}GDP_{t-2} + a_{26}GDP_{t-1}GDP_{t-3} + a_{27}GDP_{t-2}GDP_{t-3}$$

$$C_t = a_0 + a_1GDP_t^{a_7} + a_2C_{t-1}^{a_8} + a_3M_t^{a_9} + a_4GDP_{t-1}^{a_{10}} + a_5GDP_{t-2}^{a_{11}} + a_6GDP_{t-3}^{a_{12}}$$

برای کار با الگوریتم‌ها می‌باید مقادیر ثابتی را تعریف نمود. پارامترهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO برای تخمین ضرایب، در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول ۱. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم‌ها

الگوریتم PSO		الگوریتم ژنتیک	
اندازه	پارامتر	اندازه	پارامتر
۵۰	اندازه ذرات (n)	۵۰	جمعیت اولیه
۰,۹۹۵	وزن اینرسی (w)	۱۰۰	تعداد نسل
۱۰۰	ماکزیمم تعداد تکرار (t)	۰,۹	احتمال عملگر همبری (Pc)
		۰,۰۰۶	احتمال عملگر جهشی (Pm)

با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش پیش‌بینی مقادیر آتی مصرف تا سال ۱۴۰۴ بوده است، ارزیابی عملکرد توابع شبیه‌سازی شده در پیش‌بینی مصرف با استفاده از چهار معیار میانگین انحراف معیار (MSE)، جذر میانگین انحراف معیار (RMSE)، میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) و میانگین خطای مطلق (MAE) انجام گردیده است. این معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |E_i^{observed} - E_i^{simulated}|}{n}$$

در روابط فوق، n نشانگر تعداد مشاهدات است. با بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی توابع فوق توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO نتایج زیر به دست آمد:



جدول ۲. مقایسه عملکرد پیش بینی مدل‌های شبیه سازی شده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم PSO

مدل	معیار	الگوریتم PSO				الگوریتم ژنتیک			
		MSE	RMSE	MAE	MAPE	MSE	RMSE	MAE	MAPE
تابع مصرف دوزنبری	مدل خطی	۷۱/۳۸۹۲	۸/۴۴۹۲	۵/۹۳۸۳	۰/۰۳۵۵	۲۹۴/۸۱	۱۷/۱۷	۱۳/۹۲	۰/۹۰۶
	مدل درجه دوم	۴/۱ E۱۰	۲/۰۳ E۵	۱۱۸۵/۵	۱۷۶/۵۶	۱/۰۶ E۱۳	۳/۲ E۷	۱/۹ E۸	۷۳۴۳۵
	مدل نمایی	۵۱/۴۱۶	۷/۱۷۰۵	۵/۴۹۱۹	۰/۰۳۴۵	۸۲/۴۳	۹/۰۷	۷/۰۱۹	۰/۰۴۳
تابع مصرف فرید من	مدل خطی	۴۰۹/۸	۲۰/۳۴	۱۵/۰۹	۰/۱۲	۴۶۰/۹	۲۱/۴۷	۱۵/۳۸	۰/۱۳۶
	مدل درجه دوم	۱/۲ E۱۵	۳/۵۱ E۷	۱/۸۵ E۷	۶/۴۵ E۴	۲/۴۴ E۱۷	۴/۹۷ E۸	۲/۷۸ E۸	۱/۰۲ E۶
	مدل نمایی	۷۶/۰۳۸	۸۷۲	۷/۰۶۴	۰/۰۴۱۵	۱۳۷/۳۹	۱۱/۷۲	۸/۸۳۱۵	۰/۰۶۸۱

مأخذ: محاسبات تحقیق

با توجه به جدول ۲ اولاً، خطای پیش‌بینی همواره در الگوریتم PSO کمتر از الگوریتم ژنتیک بوده، ثانیاً، مدل دوزنبری به‌طور کلی دقیق‌تر از مدل فریدمن در پیش‌بینی عمل کرده و خطای پیش‌بینی کمتری داشته و در میان فرم‌های تبعی مختلف شبیه‌سازی شده نیز فرم نمایی عملکرد دقیق‌تری در پیش‌بینی نشان داده است. و لذا تابع مصرف دوزنبری شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم PSO با فرم نمایی، با ساختار مصرف ایران سازگاری بیشتری داشته و برای پیش‌بینی خارج از نمونه تا سال ۱۴۰۴ انتخاب می‌شود. برای انجام پیش‌بینی خارج از نمونه می‌باید راجع به مقادیر تولید ناخالص داخلی و حجم نقدینگی اقدام به سناریوسازی گردد.

با توجه به رشد متوسط ۲۲/۲ درصدی نقدینگی در دوره مورد بررسی، نرخ رشد نقدینگی ۲۰ درصد و نرخ رشد تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت ۵ درصد در نظر گرفته شد. بر این اساس، نتایج

پیش‌بینی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. پیش‌بینی خارج نمونه مصرف بخش خصوصی ایران (ارقام به میلیون ریال)

سال	مصرف بخش خصوصی ایران
۱۳۸۸	۳۹۳۴۵۴
۱۳۸۹	۴۱۸۲۵۰
۱۳۹۰	۴۴۱۲۴۹
۱۳۹۱	۴۶۴۵۸۸
۱۳۹۲	۴۸۹۰۶۹
۱۳۹۳	۵۱۴۶۶۸
۱۳۹۴	۵۴۱۵۳۹
۱۳۹۵	۵۶۹۷۸۸
۱۳۹۶	۵۹۹۴۹۶
۱۳۹۷	۶۳۰۷۴۶
۱۳۹۸	۶۶۳۶۲۲
۱۳۹۹	۶۹۸۲۱۲
۱۴۰۰	۷۳۴۶۰۵
۱۴۰۱	۷۷۳۹۲۸
۱۴۰۲	۸۱۵۷۶۳
۱۴۰۳	۸۶۰۰۲۲
۱۴۰۴	۹۰۷۰۵۷

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله، از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات برای شبیه سازی تابع مصرف با دو شکل نظری فریدمن و دوزنبری و سه شکل تبعی نمایی و خطی و درجه دوم استفاده شد. نتیجه این شبیه سازی نشان داد که اولاً، الگوریتم PSO با دقت بیشتری توابع مصرف را شبیه سازی می کند و همچنین از بین فرمهای مختلف تبعی شکل نمایی تابع مصرف با کارایی بیشتری قادر به پیش بینی مقادیر مصرف خواهد بود و از بین اشکال نظری به کار گرفته شده، نظریه درآمد نسبی دوزنبری، رفتار مصرفی در اقتصاد ایران را با دقت بیشتری توضیح می دهد.

طبیعتاً مدل مصرف برآوردشده، شکلی از ساختار الگوی مصرف جامعه ایران را نشان می دهد که با توجه به ویژگی مدل مصرف دوزنبری و نقش درآمدهای نفتی در اقتصاد ایران و همچنین عملکرد مطلوب این الگو، کاملاً قابل دفاع می باشد. بر این اساس، با تأیید الگوریتم PSO می توان ساختار مصرف در افق ۱۴۰۴ را تبیین نمود. در این صورت، افزایش میل متوسط به مصرف در طی دوره ۱۳۸۸-۱۴۰۴ می تواند بر انتظار افزایش رفاه مصرفی جامعه تا افق سند چشم انداز جمهوری اسلامی ایران را نمایان کند. هرچند این روند با خود تبعات منفی احتمالی کاهش سهم پس انداز بخش خصوصی از تولید ناخالص داخلی را به همراه خواهد داشت. این موضوع در سیاستگذاری های اقتصادی برای آینده از اهمیت خاصی برخوردار است.

## منابع و مأخذ

- امامی میبیدی، علی؛ خضری، محسن و اعظمی، آرش (۱۳۸۸) شبیه سازی تابع تقاضای انرژی در ایران با استفاده از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات (PSO)؛ مطالعات اقتصاد انرژی، بهار ۶(۲۰): ۱۴۱-۱۵۹.
- بخشی دستجردی، رسول و خاکی نجف‌آبادی، ناهید (۱۳۹۰) بررسی تأثیر جمعیت بر رشد اقتصادی در چارچوب الگوی رشد بهینه در اقتصاد ایران (۱۳۸۶-۱۳۵۰): کاربردی از الگوریتم ژنتیک؛ تحقیقات اقتصادی، بهار ۴۶(۹۴): ۱-۲۲.
- جعفری صمیمی، احمد و امین خاکی، علیرضا (۱۳۸۶) برآورد تابع مصرف در شرایط عدم اطمینان در ایران (۱۳۳۸-۱۳۸۴)؛ نامه مفید، تیر ۱۳ (۶۰): ۱۴۶-۱۳۳.
- خشادوریان، ادموند و خیابانی، ناصر (۱۳۷۹) یک مدل کلان سنجی هسته - قمر برای ارزیابی سیاستهای اقتصادی در ایران؛ پژوهش و سیاست‌های اقتصادی، شماره ۱۴ ص ۵ تا ۱۰۰.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (۱۳۷۸) الگوی اقتصادسنجی برنامه سوم توسعه؛ مستندات جلد پنجم.
- صادقی، حسین؛ ذوالفقاری، مهدی و حیدری‌زاده، محمد (۱۳۸۸) تخمین تابع تقاضای بنزین در بخش حمل‌ونقل با استفاده از الگوریتم ژنتیک؛ مطالعات اقتصاد انرژی، تابستان ۶ (۲۱): ۱-۲۷.
- عزیزی، فیروزه (۱۳۸۸) اثر تغییر ثروت در بازار سهام بر هزینه‌های مصرفی بخش خصوصی (مطالعه موردی: ایران ۱۳۸۶-۱۳۷۰)؛ پژوهشنامه علوم اقتصادی، نیمه دوم ۱۳۸۸، ۲۹ (پیاپی ۳۵): ۸۲-۶۱.
- عصاری، محمدرضا؛ عصاره، احسان اله؛ بهرنگ، محمدعلی و قنبرزاده، افشین (۱۳۸۹) کاربردی از ترکیب الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای برآورد مصرف گاز طبیعی در ایران؛ تبدیل انرژی، تابستان، ۱(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 (فصلنامه بررسیهای اقتصادی)، زمستان، ۵۴ (پیاپی ۱۹): ۱۷۷-۱۵۷.
- میرمعزی، سیدحسین (۱۳۸۴) الگوی مصرف کلان در جامعه اسلامی؛ اقتصاد اسلامی، تابستان، ۵(۱۸).  
منجذب، محمدرضا (۱۳۷۶) انتخاب مدل بهینه مصرف در ایران با اتکا به روشهای اقتصاد سنجی؛ مجله برنامه و بودجه، ۸: ۲۳-۷.
- نوفروستی، محمد و مدنی تنکابنی، سیدصهیب (۱۳۸۵) اثر تغییر ساختار سنی جمعیت بر هزینه‌های مصرفی بخش خصوصی: (تحلیلی به روش همجمعی)؛ پیک نور- علوم انسانی، تابستان، ۴(۲) ویژه اقتصاد ۲): ۱۱۶-۱۰۶.

- ولدخانی، عباس (۱۳۷۶) برآورد و تحلیل تابع مصرف بخش خصوصی در اقتصاد ایران (۱۳۷۴-۱۳۳۸) با استفاده از روش همگرایی؛ مجله برنامه و بودجه، ۱۶ و ۱۷: ۱۴-۳.
- Ahumada, H. & Garegnani M. L. (2004) An estimation of deep parameters describing Argentine consumer behaviour; *Applied Economics Letters*, 11(11): 719-723.
- Assareh, E.; Behrang, M. A.; Assari, M. R. and A. Ghanbarzade (2010) Application of PSO (particle swarm optimization) and GA (genetic algorithm) techniques on demand estimation of oil in Iran; *Energy*, Vol. 35, Issue 12, December: 5223-29.
- Baxter, J. L. & Moosa, I. A. (1996) The consumption function: A basic needs hypothesis; *Journal of Economic Behavior & Organization*, Vol. 31, Issue 1, October: 85-100
- Campos, J. & Ericsson, R. (2000) Consumer data mining: Modeling of consumers' expenditure in Venezuela. Board of governors of Federal Reserve System; *International Finance Discussion Papers*, 663.
- Dam, N.; Hansen, H. & Olsen, T. (2004) Models of private consumption in Denmark; *National konomisk Tidsskrift*, 142: 153-178
- Engle, R. F.; Granger, C. W. J.; Hylleberg, S. & Lee, H. S. (1993) The Japanese consumption function; *Journal of Econometrics*, Vol. 55, Issues 1-2, January-February: 275-298.
- Herwartz, H. (1997) Performance of periodic error correction models in forecasting consumption data; *International Journal of Forecasting*, Vol. 13, Issue 3, September: 421-431.
- Heymann, D. & Sanguinetti, P. (1998) Business cycles from misperceived trends; *Journal of Economic Notes*, 26(2): 297-329.
- Ogawa, K. & Wan, J. (2007) Household debt and consumption: A quantitative analysis based on household micro data for Japan; *Journal of Housing Economics*, Vol. 16, Issue 2, June: 127-142.
- Padula, M. (2010) An approximate consumption function; *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 34, Issue 3, March: 404-416.
- Pei, S.; Tang S.; Zhang, X.; Liu, Z. & Zheng, Z. (2012) Effects of consumption strategy on wealth distribution on scale-free networks; *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 391, Issue 5, 1 March: 2023-31.