

تحقیقات اقتصادی / دوره ۴۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ / ص ۲۶۷-۲۹۴

## برآورد نرخ رجحان زمانی در ایران با استفاده از الگوریتم بازگشتی

کریم اسلاملوویان<sup>۱</sup>

دانشیار، دانشگاه شیراز، بخش اقتصاد keslamlo@rose.shirazu.ac.ir

علی حسین استادزاد<sup>۲</sup>

دانشجوی دکتری دانشگاه شیراز، بخش اقتصاد

s.aostadzad@rose.shirazu.ac.ir, aostadzad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۱۳

### چکیده

نرخ رجحان زمانی به منظور تنزیل کردن مطلوبیت لحظه‌ای در الگوهای رشد، همچنین در محاسبه نرخ تنزیل اجتماعی در تحلیل هزینه- فایده استفاده می‌شود. در مطالعات انجام‌شده در ایران این نرخ به صورت ضریب ثابت محاسبه شده است، اما به لحاظ نظری با گذشت زمان تغییر می‌کند. به منظور رفع این خلأ در مقاله حاضر، الگوریتم جدیدی برای برآورد نرخ رجحان زمانی به صورت پارامتر غیر ثابت پیشنهاد شده است. پس از بسط الگوریتم، به برآورد سری زمانی نرخ ترجیحات برای ایران طی دوره ۱۳۴۴-۱۳۸۹ پرداخته‌ایم. در الگوریتم بسط‌داده‌شده با توجه به مبانی نظری، نرخ ترجیحات تابعی از مصرف در نظر گرفته شده و با روش بازگشتی مقادیر مختلف نرخ رجحان در سال‌های مختلف محاسبه شده است. پس از این مرحله، با استفاده از فیلترینگ و با توجه به تأثیر نرخ ترجیحات در پس‌انداز، مقادیر این نرخ طی زمان با کمک مقادیر اولیه محاسبه شده است. به منظور انتخاب مقدار اولیه در این الگوریتم، نرخ رجحان زمانی تابعی از امید به زندگی در نظر گرفته شده است. نرخ رجحان زمانی در دوره تحت بررسی برای اقتصاد ایران به طور متوسط ۲/۳۸ درصد به دست آمده است. همچنین، این نرخ بین سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۶۷ روندی صعودی داشته است که می‌تواند به علت جنگ و نااطمینانی‌های مربوط به سال‌های نزدیک انقلاب باشد. بر اساس محاسبات صورت‌گرفته این نرخ پس از جنگ تحمیلی طی دوره ۱۳۶۸-۱۳۸۹ دارای روندی نزولی بوده است.

طبقه‌بندی JEL: H43, Q01.

کلید واژه: اقتصاد ایران، الگوریتم ژنتیک، امید به زندگی، پس‌انداز، نرخ رجحان زمانی.

۱. نویسنده مسئول، شیراز، میدان ارم، پردیس ارم دانشگاه شیراز، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، بخش اقتصاد، تلفن: ۰۹۱۷۳۱۵۲۴۹۰

۲. شیراز، میدان ارم، پردیس ارم، دانشگاه شیراز، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی- بخش اقتصاد، تلفن: ۰۹۱۷۳۰۰۹۱۷۴

## ۱. مقدمه

نرخ رجحان زمانی<sup>۱</sup> یکی از مفاهیم کلیدی استفاده شده در علم اقتصاد است. در اقتصاد مرسوم از این نرخ به صورت‌های مختلف استفاده شده است. برای مثال، تلاش‌هایی از سوی اقتصاددانان و سیاست‌گذاران صورت گرفته است تا بتوانند ارزش فعلی مصرف، مطلوبیت و رفاه افراد یا حتی نسل‌ها را محاسبه کنند. از این نرخ برای تنزیل کردن مطلوبیت لحظه‌ای در الگوهای رشد، همچنین در محاسبه نرخ تنزیل اجتماعی در تحلیل هزینه-فایده بسیار استفاده شده است.

فرضیه رایج در خصوص رجحان زمانی این است که معمولاً این نرخ برای افراد بسیار جوان و پیر در بالاترین حد و برای افراد میان‌سال بسیار پایین‌تر است. بچه‌ها به علت محدودیت ادراکشان و پیران به علت امید به زندگی پایین‌شان، به طور نسبی رجحان زمانی بالایی دارند. گمان می‌شود رجحان زمانی به طور ویژه برای فقرا، وام‌گیرندگان و جوانان بالا باشد. برای مثال، شخصی که از بیماری لاعلاج خود مطلع شده است افزایش ناگهانی در رجحان زمانی را تجربه می‌کند. در این تئوری گفته می‌شود که انسان‌ها نوعاً حال را بر آینده ترجیح می‌دهند. علت آن هم نااطمینانی از آینده است، زیرا انسان‌ها مطمئن نیستند تا کی زنده‌اند.

فرض اساسی در بسیاری از الگوها این است که افراد مصرف حال را به آینده ترجیح می‌دهند و در نتیجه نرخ ترجیح زمانی مثبت وجود خواهد داشت. این نکته از سوی برخی در اقتصاد اسلامی مد نظر قرار گرفته است که لزومی ندارد همه افراد حال را به آینده ترجیح دهند. چنانکه تحت شرایطی ممکن است حتی انسان آینده را به حال ترجیح دهد و یا نسبت به آینده و حال بی‌تفاوت باشد. نمی‌توان با استدلال صرفاً اقتصادی و حتی روان‌شناسانه در خصوص ترجیح قطعی حال به آینده اظهارنظر کرد. چنانکه گاه فردی بدون انتظار جبران مادی کالای مصرفی خود را به دیگری قرض می‌دهد، بدون اینکه در آینده و در این جهان نفع مادی به دست آورد.

نکته دیگری که باید به آن توجه شود ارتباط دادن ترجیح زمانی با مفهوم ارزش زمانی پول است که از دیدگاه اقتصاددانان حوزه اقتصاد اسلامی مورد بحث و مناقشه است. برای نمونه، برخی از اقتصاددانان مسلمان در بحث رفتار سرمایه‌گذاری، نرخ ترجیح زمانی را صفر فرض کرده‌اند، اما گروهی دیگر با آن مخالفت دارند. برای مثال،

---

1. Time Preference Rate

فهمیم خان<sup>۱</sup> (۱۹۹۱) معتقد است که هیچ توجیهی برای نرخ رجحان زمانی صفر وجود ندارد. وی ادعا می‌کند که نه تنها برای رجحان زمانی مثبت در اقتصاد اسلامی منعی وجود ندارد، بلکه حتی ارزش زمانی پول نیز در این اقتصاد می‌تواند وجود داشته باشد. البته برای جلوگیری از ربا بایستی این ارزش زمانی به صورت مقدار از پیش تعیین شده مورد درخواست صاحب وجوه قرار نگیرد. در این صورت ترجیح و ارزش زمانی پول می‌تواند برای مواردی مانند اجاره و سلف استفاده شود.

نکته مهم دیگر توجه به این امر است که ترجیحات زمانی افراد لزوماً ثابت نیست و می‌تواند با گذشت زمان تغییر کند. فرض نرخ رجحان زمانی یکسان برای همه افراد جامعه و از طرفی ثابت بودن این نرخ طی زمان امری غیرواقعی به نظر می‌رسد (اوزاوا<sup>۲</sup>، ۱۹۶۸). تغییر در رجحان زمانی افراد و جوامع می‌تواند سبب تغییر در پس‌انداز و در نتیجه سرمایه‌گذاری شود. به عبارتی، مصرف و پس‌انداز هر فرد تحت تأثیر رجحان زمانی وی است. پس‌انداز بیشتر نشان‌دهنده نرخ رجحان زمانی پایین‌تر است و برعکس. از دیگر کاربردهای نرخ رجحان زمانی می‌توان به روش‌های محاسبه نرخ تنزیل اشاره کرد. نرخ ترجیحات زمان نوعی نرخ تنزیل است که در تصمیم‌گیری سیاست‌های پویا نقش مهمی دارد. مفیدبودن روش‌های عددی در بسیاری از حوزه‌های اقتصاد برای حل مشکلات قدیمی، همچنین مسائل جدید ثابت شده است. با توجه به اینکه ترجیحات لزوماً طی زمان ثابتی ندارند، می‌توان از روش‌های عددی برای برآورد این نرخ متغیر استفاده کرد. علاوه بر این، اکنون روشن شده است بسیاری از سیاست‌های محیط‌زیستی رفاه جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به منظور محاسبه منافع حاصل از این سیاست‌ها، لازم است مشخص شود که افراد ذی‌نفع برای کاهش خطرها به چه میزان به از دست دادن درآمد تمایل دارند. به منظور بررسی تمایل افراد به از دست دادن درآمد باید طی زمان نرخ رجحان زمانی آن‌ها محاسبه شود.

بنابراین، از مهم‌ترین اهداف این تحقیق ارائه روشی برای برآورد نرخ رجحان زمانی به صورت پارامتر غیرثابت است. در اقتصاد ایران تعداد مطالعاتی که نرخ رجحان زمانی را محاسبه کرده باشند، بسیار محدود است. از طرفی در همه این مطالعات این نرخ با گذشت زمان به صورت ضریب ثابت محاسبه شده است. اما به لحاظ نظری این نرخ

1. Fahim Khan

2. Uzawa

می‌تواند طی زمان تغییر کند. به منظور رفع این خلأ در ادبیات این مقاله با استفاده از یک الگوریتم جدید برای اولین بار، نرخ ترجیحات زمانی به صورت پارامتر غیر ثابت برآورد شده است. پس از بسط این الگوریتم، به برآورد سری زمانی نرخ ترجیحات زمانی برای اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۴۴-۱۳۸۹ پرداخته‌ایم.

همان‌طور که اشاره شد، در این تحقیق ابتدا الگوریتمی بسط داده شده است که با استفاده از آن می‌توان نرخ ترجیحات زمانی را به صورت سری زمانی به دست آورد. بسته برنامه‌نویسی این الگوریتم با استفاده از نرم‌افزار متلب نوشته شده است.<sup>۱</sup> در الگوریتم بسط داده شده ابتدا با توجه به مبانی نظری نرخ ترجیحات تابعی از مصرف در نظر گرفته و با روش بازگشتی مقادیر مختلف نرخ ترجیحات در سال‌های مختلف محاسبه شده است. پس از آن با استفاده از روش فیلترینگ و با توجه به تأثیر نرخ ترجیحات در پس‌انداز، مقادیر نرخ ترجیحات زمانی طی زمان با توجه به مقادیر اولیه مشخص محاسبه شده است. به منظور انتخاب نرخ ترجیحات اولیه از فیلتری استفاده کرده‌ایم که در آن تأثیر امید به زندگی در نرخ ترجیحات در نظر گرفته شده است.

این مقاله در شش قسمت تنظیم شده است. در قسمت دوم پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. قسمت سوم به مبانی نظری اختصاص دارد. روش برآورد و الگوریتم بسط داده شده در قسمت چهارم توضیح داده شده است. برآورد نرخ ترجیحات زمانی و تحلیل نتایج برای اقتصاد ایران در قسمت پنجم ارائه شده است. قسمت نهایی به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

## ۲. پیشینه پژوهش

در خصوص مقادیر برآوردی نرخ ترجیحات زمانی از حیث مقادیر استفاده شده در مطالعات تنوع وسیعی وجود دارد. در این قسمت به بررسی تعدادی از مطالعات در زمینه برآورد نرخ ترجیحات زمانی پرداخته شده است. به اعتقاد فیشر<sup>۲</sup> (۱۹۳۰)، اکستین<sup>۳</sup> (۱۹۶۱)، هندرس<sup>۴</sup> (۱۹۶۵)، لیندستون<sup>۵</sup> (۱۹۷۲) نرخ مرگ و میر نشانه‌ای است

۱. این بسته برنامه‌نویسی نزد نویسندگان موجود است که در صورت درخواست ارائه خواهد شد.

2. Fisher  
3. Eckstein  
4. D. Henderson  
5. Lindstone

برای افراد که مصرف زمان حال را به همان مقدار در زمان آینده ترجیح دهند. وقتی مطلوبیت بین دوره‌ای طی زمان بررسی می‌شود، منطقی است که فرد در تنزیل مطلوبیت آتی، احتمال مرگ را منظور کند. بنابراین، اگر فرض شود که هر عضو جامعه مطلوبیت آتی خود را با احتمال زنده نماندن تا آن زمان تنزیل می‌کند، می‌توان برای جامعه این فرض را از طریق نرخ متوسط مرگ و میر لحاظ کرد.

نکته مهمی که در اینجا باید به آن توجه شود این است که برخی نرخ رجحان زمانی را تنها علت دریافت بهره در وام‌ها دانسته و رجحان زمانی خالص را جزء بنیادی نرخ بهره در نظر گرفته‌اند. در این دیدگاه محاسبه نرخ رجحان زمانی برای سیستم‌های اقتصادی که بر اساس نرخ بهره کار می‌کنند امری ضروری به نظر می‌رسد.<sup>۱</sup> بنابراین، گروهی نیاز به نرخ بهره در اقتصاد را از طریق رجحان زمانی افراد یا جوامع توجیه کرده‌اند. البته این دیدگاه به شدت مورد انتقاد برخی اقتصاددانان، به خصوص در حوزه اقتصاد اسلامی قرار گرفته است.

صدیقی<sup>۲</sup> (۲۰۰۶) در مقاله خود به بررسی مناقشه میان اقتصاددانان مسلمان معاصر در خصوص ارزش زمانی پول می‌پردازد. وی بحث می‌کند که مردم مصرف فعلی را به مصرف آتی ترجیح نمی‌دهند، اما در عوض عوامل دیگری وجود دارند که سبب شود آن‌ها دریافت زودتر درآمد (نه مصرف فعلی) را به درآمد دیرتر ترجیح دهند. وی بحث می‌کند که از نقطه نظر اسلامی نه رجحان زمانی مثبت و نه ترجیح دریافت زودتر درآمد نمی‌تواند توجیهی برای دریافت پاداش برای وام‌های مصرفی باشد.

احمد و کبیر حسن<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) نیز به بررسی ارزش زمانی مفهوم پول در مالیه اسلامی می‌پردازند. آن‌ها ضمن تأکید بر اهمیت این مفهوم برای سرمایه‌گذاری، نظریه‌های مالی آن را برای اقتصاد اسلامی می‌پذیرند اما بحث می‌کنند که آنچه در دیدگاه اسلامی جایز نیست استفاده از ارزش زمانی پول به‌منزله مقدار از پیش تعیین شده برای قرض‌هاست.<sup>۴</sup> البته تمرکز این مقاله روی بحث ترجیح زمانی مربوط به مصرف کالا و رفاه است و وارد مبحث رجحان زمانی پول نمی‌شود.

۱. برای جزئیات بیشتر می‌توان به هرینر (Herbener, 2011) مراجعه کرد.

2. Siddiqui

3. Ahmad and Kabir Hassan

۴. البته این موضوع احتیاج به بحث مستقلی دارد که پرداختن به آن خارج از اهداف این مقاله است.

در مطالعه استرن<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) به منظور بررسی تغییرات آب و هوایی نرخ ترجیحات زمانی ثابت و برابر با ۰/۱ درصد در سال و کشش مطلوبیت نهایی برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. برخی تحلیل‌گران، از جمله داسگوپتا<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، ویتزمن<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) و نوردهاس<sup>۴</sup> (۲۰۰۷) بیان می‌کنند که مقادیر پایین پارامترهای نرخ ترجیحات زمانی در مطالعه استرن به نرخ تنزیل اجتماعی پایین منجر شده است. به این ترتیب توصیه‌های سیاستی استرن در این مطالعه را نقد می‌کنند. استرن مقادیر پایین پارامتر تنزیل در این مقاله را با زمینه‌های رفتاری اثبات کرده است.

در مطالعات هافکس<sup>۵</sup> (۱۹۹۴) و سامپائولسی<sup>۶</sup> (۲۰۰۳) مقدار ۰/۰۵، گریتنجی و رادرفورد<sup>۷</sup> (۲۰۰۴)، سیراکایا و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۹) مقدار ۰/۰۴ و پالما و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۰) مقدار ۰/۰۱ را برای این نرخ در نظر گرفته‌اند<sup>۱۰</sup>. در برخی مطالعات داخلی نیز نرخ رجحان زمانی محاسبه شده است که در ادامه به تعدادی از این مطالعات پرداخته می‌شود.

در این مطالعات برای محاسبه نرخ رجحان زمانی به علت دسترسی نداشتن به اطلاعات آن، از متغیرهای جایگزین، نظیر نسبت مصرف به درآمد ( $\frac{C}{Y}$ ) یا مصرف بخش خصوصی و حتی نرخ تورم در سال‌های قبل، به‌منزله شاخص رجحان زمانی استفاده شده است. بر اساس مطالعه دلالی اصفهانی (۱۳۹۱) رابطه مثبت و معنی‌داری بین نرخ رجحان زمانی و نرخ تورم به دست آمده است.

با توجه به مطالعه عباسی نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، در الگوی ادوار تجاری واقعی مقدار سالانه عامل تنزیل ( $\beta$ ) بین ۰/۹۲ تا ۰/۹۶ و مقدار فصلی آن بین ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ برای اقتصاد ایران برآورد شده است. با توجه به اینکه رابطه عامل تنزیل و نرخ ترجیحات زمانی ( $\rho$ ) به صورت  $(\beta = \frac{1}{1+\rho})$  است، بنابراین مقدار  $\rho$  در فاصله ۰/۰۱ تا ۰/۰۸ قرار خواهد گرفت.

- 
1. Stern
  2. Dasgupta
  3. Weitzman
  4. Nordhaus
  5. Hofkes
  6. Sampaollesi
  7. Gretegnny and Rutherford
  8. Sirakaya et al.
  9. Palma et al.

۱۰. به منظور بررسی مطالعات بیشتر به مقاله گروم و هپبورن (۲۰۰۵) مراجعه شود.

در مطالعه شاه‌مرادی (۱۳۸۹)، پارامتر نرخ ترجیحات ( $\rho$ ) به طور مستقیم برآورد نشده است. بلکه در الگوی تعادل عمومی  $\rho$  تابعی از پارامترهای دیگر ( $k$ )، ( $\rho = f(k)$ ) تعریف می‌شود. بنابراین، ابتدا مقدار  $k$  برآورد، سپس  $\rho$  بر اساس تابع مذکور محاسبه شده است. در این مطالعه پارامتر ترجیحات زمانی ۴ درصد به دست آمده است. عبدلی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به برآورد نرخ تنزیل اجتماعی پرداخته است. در این مطالعه نرخ مرگ و میر (احتمال زنده نماندن) در جامعه به منزله نرخ رجحان زمانی در نظر گرفته شده است و این نرخ برای اقتصاد ایران برابر ۵/۵ درصد برای سال ۱۳۸۵ در نظر گرفته شده است. از دیگر مطالعات داخلی در محاسبه این نرخ می‌توان به دلالی و همکاران (۱۳۸۷) و عبدلی (۱۳۸۸) مقدار ۰/۰۵۵، کیارسی (۱۳۸۶) با مقدار ۰/۰۹ و دین‌محمدی ۰/۰۱ اشاره کرد.

همان‌طور که در بالا بررسی شد، در مطالعات داخلی، نرخ ترجیحات زمانی به صورت متغیر و مستقیم برآورد نشده است. فقط در چند مطالعه، شاخص‌هایی برای محاسبه نرخ ترجیحات زمانی به صورت ثابت طی زمان، استفاده شده است. علاوه بر این، هیچ مطالعه‌ای به برآورد این نرخ غیر ثابت نپرداخته است. در این مطالعه تلاش می‌شود این نرخ با استفاده از الگوریتم برآورد شود. در ادامه به بررسی مبانی نظری و توضیح الگوریتم بسط داده‌شده به منظور محاسبه نرخ ترجیحات زمانی طی زمان خواهیم پرداخت.

### ۳. مبانی نظری و ساختار الگو

در علوم اقتصادی بسیاری از تئوری‌ها بر متغیرها و ساختارهایی مبتنی هستند که قابل مشاهده یا غیرمستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند. از جمله این متغیرها نرخ ترجیح زمانی است. استفاده از معادلات ساختاری به منزله راه‌حلی برای برطرف کردن این مشکل به کار می‌رود.

توجیه معیارهای رفتاری و در نظر گرفتن نرخ تنزیل اجتماعی ثابت که منعکس‌کننده نرخ تنزیل بازار در میان مدت باشد، با استفاده از نرخ ترجیحات زمانی ثابت امکان‌پذیر نیست.<sup>۱</sup> کارپ و تسور<sup>۲</sup> (۲۰۰۷) در خصوص نقش نرخ ترجیحات زمانی

۱. زیرا بازار مدام در حال نوسان است و ثبات کامل در بازار وجود ندارد.

زمانی غیر ثابت در تطبیق این دو هدف (معیارهای رفتاری و نرخ تنزیل در بازار میان مدت) در یک الگو با احتمال پایین وقوع حوادث بحث کرده‌اند. از طرفی گرایش به محاسبه نرخ رجحان زمانی متغیر به علت استفاده بسیار از این نرخ به صورت تنزیل هذلولی ( $\beta = \frac{1}{1+\rho}$ ) در اقتصاد رفتاری است. الگوهای تنزیل هذلولی<sup>۱</sup> به منظور توضیح ناهنجاری‌هایی مانند رفتار آشکار شده در ترجیحات فردی استفاده شده است (رابین<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸). این الگوها در دوره زمانی نسبتاً کوتاه، مانند مدت زمان زندگی یک فرد استفاده می‌شوند. با این حال، نرخ ترجیحات زمانی متغیر برای مطالعه مسائل زیست‌محیطی (مانند ماندگاری گازهای گلخانه‌ای) با عمری طولانی نیز مهم است. در این مطالعات از افق بسیار طولانی یا نامحدود<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. با فرض ثابت بودن نرخ‌های تنزیل، خسارت‌های بزرگ، که نمی‌توان از آن‌ها چشم‌پوشی کرد، به منابع طبیعی در آینده‌ای دور بی‌ربط با اعمال جاری نیست. نرخ تنزیل ثابت و قابل چشم‌پوشی (نرخ تنزیل پایین) سبب صرفه‌جویی بیش از حد نسل‌های فعلی برای بهبود وضعیت نسل‌های آینده (احتمالاً غنی‌تر) می‌شود<sup>۴</sup> (چیچیلنسکی<sup>۵</sup>، ۱۹۹۶؛ هیل<sup>۶</sup>، ۲۰۰۱ و لی و لوفگرن<sup>۷</sup>، ۲۰۰۰). این موضوع نشان‌دهنده این است که نرخ رجحان زمانی طی زمان باید متغیر در نظر گرفته شود.

نرخ ترجیحات زمانی ثابت بر این موضوع دلالت دارد که تمایل به تبادل مطلوب بین نسل‌های متوالی در هر دوره‌ای ثابت است. برای مثال، تمایل به تبادلی که برای دو نسل متوالی در حال حاضر وجود دارد، همان تمایل به تبادل بین دو نسل متوالی در آینده‌ای دور وجود خواهد داشت. تجربه نشان می‌دهد در دوره‌های مختلف تمایل به مبادله بین دو نسل متغیر است. بنابراین، نرخ رجحان زمانی طی زمان نباید ثابت فرض شود. با توجه به این موضوع در این مطالعه، نرخ ترجیحات زمانی طی زمان غیر ثابت (متغیر) برآورد شده است. در مطالعه کوپر و آیدد<sup>۸</sup> (۱۹۹۴) نشان داده شده است که باید بین ترجیحات

1. Hyperbolic discounting

2. Rabin

3. Very long or infinite horizon

۴. یا برای مثال، خرج کردن بیش از حد در کاهش گازهای گلخانه‌ای برای بهبود محیط زیست نسل‌های آتی از سوی نسل‌های جاری صورت می‌گیرد.

5. Chichilnsky

6. Heal

7. Li and Lofgren

8. Cropper and Ayded



نسل‌های فعلی و آتی تمایز قائل شویم. دو نسل با فاصله زمانی بسیار دور را نمی‌توان از یکدیگر تمیز داد، اما ممکن است نرخ رجحان زمانی ثابت در آینده‌ای دور نزدیک به صفر باشد. نرخ ترجیحات زمانی نشان‌دهنده میزان صبر و شکیبایی جامعه در استفاده از منابع در دسترس است. فرض نرخ رجحان زمانی یکسان برای همه افراد جامعه و از طرفی ثابت بودن این نرخ طی زمان امری غیرواقعی به نظر می‌رسد (اوزاوا<sup>۱</sup>، ۱۹۶۸).

در تعریف دیگر نرخ ترجیح زمانی که بیانگر تمایل جانشینی مصرف حال و آینده به جای یکدیگر است، عموماً به صورت پارامتر برون‌زا در تابع مطلوبیت در نظر گرفته می‌شود.<sup>۲</sup> مقادیر کوچک‌تر نرخ ترجیحات زمانی به این معنی است که ارزش فعلی مصرف آتی برای مصرف‌کننده بیشتر است. در این شرایط مصرف‌کننده مایل خواهد بود مصرف فعلی خود را به میزان بیشتری به تعویق اندازد و در مقابل پس‌انداز خود را افزایش دهد. با افزایش پس‌انداز، انباشت سرمایه و به دنبال آن تولید و مصرف افزایش خواهد یافت. برعکس مقادیر بزرگ‌تر این پارامتر بیانگر آن است که افراد جامعه بیشتر نگران مصرف حال خود هستند تا آینده و از این رو پس‌انداز خود را کاهش می‌دهند. با کاهش پس‌انداز، انباشت سرمایه و به دنبال آن سرمایه‌گذاری کاهش می‌یابد و از این رو در رشد اقتصادی بلندمدت تأثیر منفی خواهد گذاشت. بر این اساس، مقدار پارامتر نرخ ترجیح زمانی از نقطه‌نظر دستیابی به رشد اقتصادی بلندمدت و توسعه پایدار حائز اهمیت است. به طوری که مقادیر پایین آن بر نگرش بلندمدت نسبت به توسعه دلالت دارد و مقادیر بزرگ‌تر آن متناظر با حاکم بودن نگرش کوتاه‌مدت نسبت به توسعه است. به بیان دیگر، کاهش نرخ ترجیح زمانی می‌تواند افزایش پس‌انداز کل جامعه را همراه داشته باشد و از این طریق در تسریع فرایند رشد اقتصادی و افزایش درآمد سرانه اثر بگذارد. در عین حال انتظار بر آن است که در شرایطی که مقدار پارامتر نرخ ترجیحات بالا باشد، به واسطه حاکم بودن نگرش کوتاه‌مدت نسبت به توسعه، استفاده و بهره‌برداری بیشتر از نهاده‌ها و منابع طبیعی موجب تخلیه هر چه بیشتر منابع و افت کیفیت محیط‌زیست شود. بنابراین، دولت می‌تواند با ترغیب گرایش به حفظ رشد بلندمدت در بین افراد جامعه و ایجاد فضای انرژی‌اندوز همراه افزایش آگاهی عمومی نسبت به توسعه پایدار زمینه دستیابی به اهداف توسعه پایدار را ایجاد کند (هراتی، ۱۳۹۱).

1. Uzawa

2. Fredreick et al.

اوزاوا (۱۹۶۸) این امکان را در نظر گرفت که نرخ رجحان زمانی در محاسبه مطلوبیت بین دوره‌ای به سطح مطلوبیت بستگی داشته باشد. تابع رفاه اوزاوا به صورت رابطه ۱ نوشته شده است.

$$W = \int_0^{\infty} u(c_t) e^{-\int_0^t \rho [u(c_v) dv]} dt \quad (1)$$

ابتکار اوزاوا این بوده است که در اینجا نرخ آنی رجحان زمانی تابعی، از سطح مطلوبیت جاری است. در اکثر مطالعات مسئله حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای خانوار به صورت رابطه ۲ فرض شده است.

$$J(.) = \text{Max} \int_0^{\infty} \frac{[u(c_t)]^{1-\sigma}}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt \quad (2)$$

در این رابطه،  $u(c)$  تابع زیر مطلوبیت لحظه‌ای<sup>۱</sup> است. این تابع مطلوبیت با سطح مصرف ( $c_t$ ) رابطه مثبت دارد ( $u_c > 0$ ). بنابراین، بر اساس دیدگاه اوزاوا (۱۹۶۸) می‌توان نرخ رجحان زمانی را ( $\rho$ ) تابعی از مصرف در نظر گرفت. بنابراین، رابطه ۳ را خواهیم داشت.

$$\rho_t = \rho(c_t) \quad (3)$$

از طرفی می‌دانیم نرخ رجحان زمانی به رفتار روانی جامعه برمی‌گردد و پارامتری است که طی زمان نوسان‌های بزرگی را تجربه نمی‌کند و به شکلی به رجحان دوره قبل نیز بستگی خواهد داشت ( $\rho_t = \rho_t(\rho_{t-1})$ ). بنابراین، نرخ رجحان به صورت تابعی از نرخ مصرف بخش خصوصی و نرخ رجحان زمانی دوره قبل در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۴).

$$\rho_t = \alpha_0 + \beta \rho_{t-1} + \gamma_1 c_t^{\gamma_2} + \theta_1 p_t^{\theta_2} \quad (4)$$

رابطه ۴ بازگشتی است که در مرحله اول الگوریتم از این رابطه استفاده شده است. در ادامه به بررسی رابطه نرخ پس‌انداز و رجحان زمانی پرداخته شده است. نرخ رجحان زمانی پایین‌تر عموماً با قدرت پیش‌بینی بالاتر افراد در محیط خارجی همراه است. این توان پیش‌بینی می‌تواند ناشی از تغییرات در محیط پیرامونی یا از کسب

1. instantaneous subutility function

دانش به وسیله افراد و اعمال آن در محیط پیرامون باشد (پریز آرس<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). یعنی رجحان زمانی می‌تواند از طریق عوامل داخلی یا خارجی یا هر دو تحت تأثیر قرار گیرد. زمانی که تغییرات محیطی مطابق انتظار یا شدت تغییر آن اندک و قابل پیش‌بینی‌تر است رجحان زمانی کاهش می‌یابد. دولت‌ها با ایجاد تغییرات سیاستی، معمولاً مانع به وجود آمدن این اطمینان می‌شوند. نرخ رجحان زمانی به جایگزینی میان افزایش نهایی در ثروت، درآمد یا مصرف حال با آینده اشاره دارد. یک شخص با درآمد و پس‌انداز صفر، رجحان زمانی بالاتری را نسبت به کسی که درآمد بیشتری دارد، نشان می‌دهد. وقتی منابع درآمدی فرد بیشتر از سطوح معیشتش افزایش یابند، رجحان زمانی وی به طور پیوسته، اما نه لزوماً به صورت خطی کاهش خواهد یافت. بنابراین، رجحان زمانی در جوامع بدوی بالا بوده و در جوامع پیشرفته کاهش یافته است (گانینگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸). بنابراین، ادعا می‌شود نرخ رجحان زمانی با نرخ پس‌انداز در ارتباط است.

با توجه به مطالعات لوهاری<sup>۳</sup> (۱۹۶۸) و پاتینکین<sup>۴</sup> (۱۹۶۸) نرخ پس‌انداز نیز می‌تواند تابعی از نرخ بازدهی سرمایه تعریف شود و بر این اساس و با توجه به اینکه در محاسبه نرخ بازدهی سرمایه یا نرخ بهره، نرخ ترجیحات زمانی وجود دارد می‌توان مطرح کرد که نرخ پس‌انداز می‌تواند تابعی از نرخ ترجیحات زمانی باشد.

بر اساس تعریف اولیه نرخ رجحان زمانی و مطالعه گانینگ (۲۰۰۸) می‌توان نرخ پس‌انداز در جامعه را تابعی از نرخ رجحان زمانی دانست ( $s_t = s(\rho_t)$ ). در صورتی که این رابطه را خطی فرض کنیم خواهیم داشت (از این رابطه در مرحله دوم الگوریتم استفاده شده است):

$$s_t = \delta_0 + \delta_1 \rho_t \quad (5)$$

به طور کلی عوامل مختلفی در مقدار نرخ ترجیح زمانی تأثیرگذارند. نتایج بررسی‌های انجام‌شده در این رابطه بیانگر آن است که در جامعه‌ای که سطح تحصیلات، امید به زندگی، درآمد سرانه و احترام به قوانین و مقررات در سطح عالی باشد، نرخ ترجیح زمانی بالا نخواهد بود. بر این اساس انتظار می‌رود با توجه به ساختار اقتصاد

---

1. Francisco Perez-Arce  
2. Patrick Gunning  
3. Levhari  
4. Patinkin

ایران به منزله کشور در حال توسعه این پارامتر از مقدار متوسطی برخوردار باشد (دلالی و همکاران، ۱۳۸۷).

در قسمت‌های قبل با فرض نرخ رجحان اولیه مشخص در سال صفر نرخ ترجیحات زمانی طی سال‌های مختلف (تحت بررسی) برآورد شده است. در این قسمت به برآورد نرخ رجحان زمانی اولیه خواهیم پرداخت.

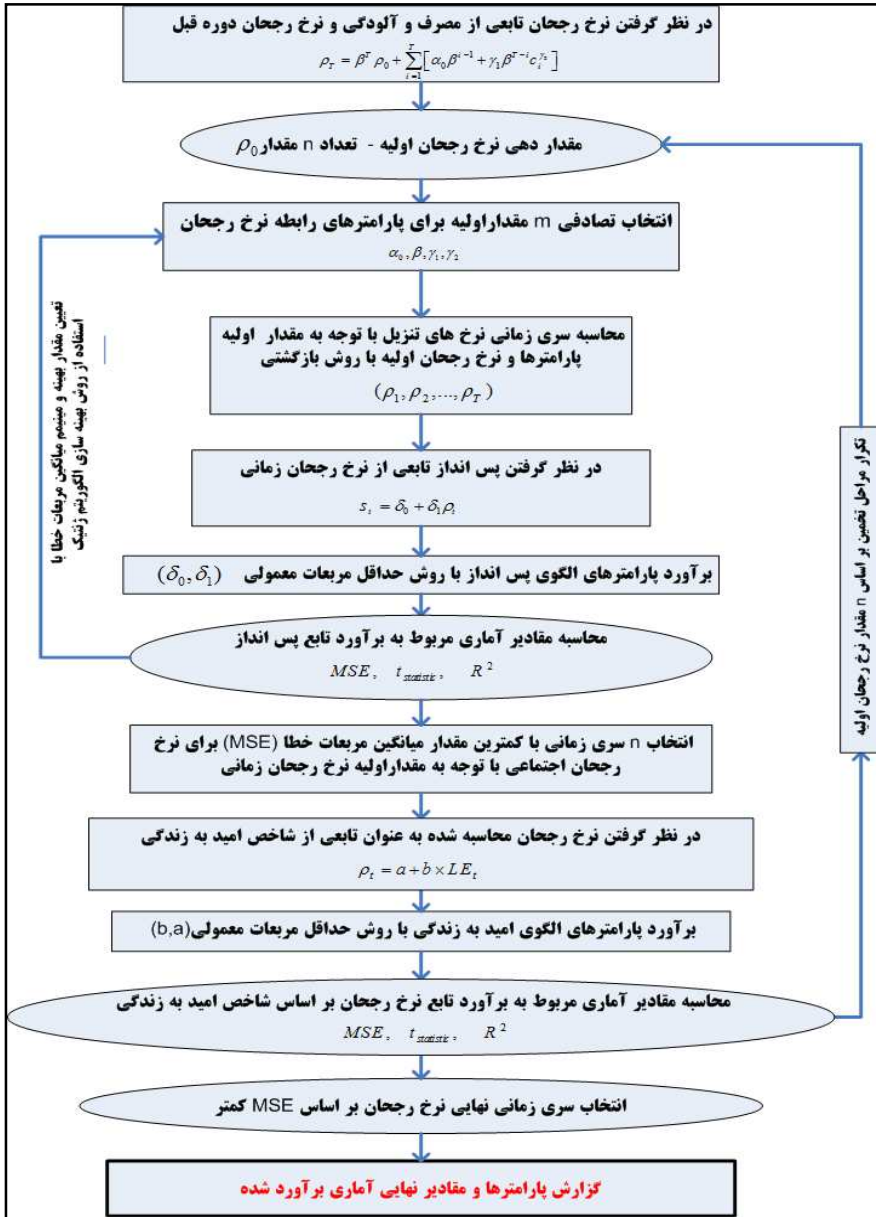
به اعتقاد لایندستون (۱۹۷۲) نرخ مرگ و میر نشانه‌ای است برای افراد که مصرف زمان حال را به همان مقدار در زمان آینده ترجیح دهند. بنابراین، می‌توان نرخ ترجیحات زمانی را تابعی از نرخ مرگ و میر یا تابعی از شاخص امید به زندگی در نظر گرفت (عبدلی، ۱۳۸۸). این رابطه به صورت رابطه ۶ در نظر گرفته می‌شود (از این رابطه در مرحله چهارم الگوریتم استفاده شده است).

$$\rho_t = a + b \times LE_t \quad (6)$$

بنابراین، به طور خلاصه بر اساس مطالعات بررسی‌شده مشخص شد که نرخ ترجیحات زمانی از یک سو تابعی از مصرف در هر دوره است. از طرف دیگر، نرخ ترجیحات به صورت مستقیم در نرخ پس‌انداز تأثیر می‌گذارد. بنابراین، می‌توان نرخ پس‌انداز را به صورت تابعی از نرخ تنزیل فرض کرد. همچنین، شاخص امید به زندگی (نرخ مرگ و میر) در نرخ ترجیحات زمانی تأثیری معکوس دارد. بنابراین، شاخص امید به زندگی در نرخ ترجیحات زمانی تأثیر دارد و این تأثیر به صورت نسبت عکس است. با توجه به اینکه نرخ پس‌انداز و امید به زندگی در جامعه تغییر می‌کند بنابراین، انتظار داریم که نرخ ترجیحات زمانی نیز طی زمان تغییر کند. این نرخ در هیچ مطالعه‌ای محاسبه نشده است. در این مطالعه با تعریف الگوریتمی به برآورد این نرخ طی زمان پرداخته شده است. در ادامه با توجه به نتایج و استفاده از نتایج بالا به توضیح الگوریتم به منظور محاسبه نرخ رجحان خواهیم پرداخت.

#### ۴. بسط الگوریتم برای محاسبه سری زمانی نرخ رجحان

در این قسمت الگوریتم استفاده‌شده برای برآورد نرخ ترجیحات زمانی طی زمان ارائه می‌شود. شکل ۱ نمودار چرخشی این الگوریتم برای محاسبه نرخ ترجیحات زمانی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. الگوریتم چرخشی برای محاسبه نرخ رجحان زمانی

با توجه به شکل ۱ این الگوریتم شامل ۴ مرحله است. که در ادامه به بررسی این ۴ مرحله خواهیم پرداخت.

#### ۱.۴. رابطه بازگشتی محاسبه نرخ رجحان

در این مرحله به بررسی رابطه بازگشتی ۴ خواهیم پرداخت. رابطه تفاضلی ۴ را می‌توان با روش بازگشتی و با جای‌گذاری پی‌درپی حل کرد. برای مثال، برای دوره یک، رابطه را بازنویسی می‌کنیم:

$$\rho_t = \alpha_t + \beta \rho_t + \gamma_t C_t^{\gamma_t} \quad (7)$$

بنابراین، با توجه به رابطه ۷ و اینکه سری زمانی میل نهایی به مصرف موجود است، با داشتن مقدار اولیه نرخ رجحان  $\rho$  مقدار  $\rho_t$  قابل محاسبه است. به همین صورت، رابطه ۴ را برای سایر دوره‌ها می‌نویسیم و در یکدیگر جای‌گذاری می‌کنیم. بنابراین، حل این رابطه تفاضلی عبارت است از:

$$\rho_T = \beta^T \rho + \sum_{i=1}^T [\alpha_i \beta^{i-1} + \gamma_i \beta^{T-i} C_i^{\gamma_i}] \quad (8)$$

با استفاده از رابطه ۸ نرخ رجحان طی زمان محاسبه خواهد شد. برای محاسبه نرخ‌های رجحان طی زمان باید پارامترهای  $(\alpha_t, \beta, \gamma_t, \gamma_t, \theta_t, \theta_t)$  و مقدار  $\rho$  را داشته باشیم. در این الگوریتم به دنبال برآورد مقدار رجحان اولیه  $\rho$  و پارامترهای رابطه ۴ هستیم.

#### ۲.۴. برآورد پارامترهای رابطه بازگشتی

با توجه به مطالعات ذکرشده در مبانی نظری می‌توان نرخ پس‌انداز در جامعه را تابعی از نرخ رجحان زمانی دانست ( $s_t = s(\rho_t)$ ). با توجه به رابطه ۵ در صورتی که این رابطه را خطی فرض کنیم خواهیم داشت.

$$s_t = \delta + \delta_t \rho_t \quad (9)$$

با داشتن سری زمانی نرخ رجحان  $\rho_t$  پارامترهای رابطه ۹ را با روش حداقل مربعات معمولی<sup>۱</sup> برآورد خواهیم کرد. پس از برآورد پارامترها و آماره آزمون  $t$ ، میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (MSE) نیز قابل محاسبه است. با توجه به پارامترهای مختلف در رابطه ۴ با

1. Ordinary least square (OLS)

2. Mean square error (MSE)

مشخص بودن نرخ اولیه رجحان زمانی سری‌های زمانی متفاوتی از نرخ رجحان را خواهیم داشت. به دنبال پارامترهایی از رابطه ۹ هستیم که مقدار MSE را حداقل کند. بنابراین، هدف حداقل‌سازی رابطه ۱۰ است.

$$\min \sum_{t=1}^T (s_t - \hat{s}_t^*)^2 \quad (10)$$

که در این رابطه  $\hat{s}_t^*$  مقدار برآورد شده ( $s_t$  تحقق یافته) با روش حداقل مربعات معمولی در رابطه ۹ است که می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

$$\hat{s}_t^* = s_t - \hat{\delta}_t - \hat{\delta}_1 \rho_t \quad (11)$$

رابطه ۱۰ را می‌توان به صورت رابطه ۱۲ نوشت:<sup>۱</sup>

$$\min \left\{ \sum_{t=1}^T \left[ \frac{\sum_{t=1}^T s_t}{T} - \left( \rho_t - \frac{\sum_{t=1}^T \rho_t}{T} \right) \left( \frac{\sum_{t=1}^T s_t [\alpha + \beta \rho_{t-1} + \gamma_1 c_t^{\gamma_2}]}{\sum_{t=1}^T [\alpha + \beta \rho_{t-1} + \gamma_1 c_t^{\gamma_2}]^2} \right) \right]^2 \right\} \quad (12)$$

با فرض وجود مقدار اولیه نرخ ترجیح، با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک با مقادیر پارامترهای  $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2$  را با توجه به تابع هدف ۱۲<sup>۲</sup> و رابطه بازگشتی ۴ محاسبه می‌کنیم. در ادامه به صورت مختصر به بررسی مراحل الگوریتم ژنتیک خواهیم پرداخت.

#### ۳.۴. الگوریتم ژنتیک

همان‌گونه که در قسمت قبل مطرح شد، در این قسمت به منظور برآورد پارامترهای رابطه بازگشتی ۴ به بهینه‌سازی تابع هدف غیرخطی ۱۲ با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته پرداخته شده است. علاوه بر روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان، در دوره‌های اخیر روش‌های بهینه‌سازی با عنوان روش‌های بهینه‌سازی هوشمند توسعه یافته است. مهم‌ترین مزیت این روش‌ها این است که بدون نیاز به مشتق تابع هدف به یافتن نقطه بهینه آن می‌پردازند. همچنین، در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان کمتر در دام

۱. برای صرفه‌جویی از استخراج رابطه ۱۲ در اینجا خودداری شده، اما در صورت نیاز، جزئیات استخراج این رابطه نزد نویسندگان موجود است.

۲. این تابع هدف غیرخطی است و با روش‌های بهینه‌سازی معمول نمی‌توان مقادیر بهینه آن را محاسبه کرد.

کمینه محلی می‌افتند. در مقابل اگر هدف رسیدن به جواب بهینه محلی باشد، این روش‌ها بسته به کاربرد ممکن است سرعت کمتری در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان داشته باشند. از میان این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم اجتماع ذرات<sup>۱</sup>، الگوریتم کلونی (مورچه‌ها)<sup>۲</sup>، جستجوی تابو، تیرید شبیه‌سازی شده، تکامل تفاضلی، الگوریتم کلونی زنبورها و الگوریتم رقابت استعماری اشاره کرد. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه‌سازی رابطه ۱۲ استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup>، تکنیک جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه و مسائل جستجو است. این الگوریتم نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. این الگوریتم‌ها اغلب برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون گزینه خوبی به شمار می‌روند. از مزایای الگوریتم ژنتیک می‌توان به توانایی انجام بهینه‌سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته، بی‌نیازی به مشتق‌گیری برای بهینه‌سازی<sup>۴</sup>، توانایی کار کردن با متغیرهای زیاد، تشخیص کمینه‌های بهینه و توانایی کار با داده‌های عددی، تجربی و توابع تحلیلی اشاره کرد (هپت<sup>۵</sup>، ۱۹۹۶).

الگوریتم ژنتیک به دو دسته دودویی و پیوسته تقسیم می‌شود. در این مطالعه به علت پیوسته بودن پارامترها از الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. مراحل انجام الگوریتم ژنتیک پیوسته مانند همه الگوریتم‌های بهینه‌سازی از تعریف متغیرها و هدف شروع می‌شود و با بررسی هم‌گرایی به پایان می‌رسد.

به منظور برآورد پارامترهای رابطه بازگشتی ۴ با فرض نرخ رجحان اولیه  $p$  در حل مسئله بهینه‌سازی، هدف ما حداقل‌سازی رابطه ۱۲ است.<sup>۶</sup>

در الگوریتم ژنتیک تابع هدف به ازای مقادیر مختلف پارامترها بررسی خواهد شد. الگوریتم به صورت چرخه‌ای ادامه می‌یابد تا مقدار حداقل تابع هدف محاسبه شود. به منظور آغاز فرایند تنظیم متغیرها از طریق الگوریتم ژنتیک، یک کروموزوم را به صورت آرایه‌ای از مقادیر متغیرها (در اینجا پارامترهای رابطه ۴ است) که تابع هدف بهینه باید

1. Particle swarm algorithm
2. Ant colony algorithm
3. Genetic algorithm - GA

#### 5. Haupt

۴. از مشکلات بهینه‌سازی توابع گسسته

۶. که یک رابطه کاملاً غیرخطی است.



بر اساس آن‌ها بهینه شود، تعریف می‌کنیم. بنابراین، کروموزوم‌های مسئله تحت بررسی این مطالعه به صورت زیر است:

$$\text{Chromosome} = [\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2] \quad (13)$$

از آنجا که الگوریتم ژنتیک یک روش جستجو است، باید آن را به کاوش در ناحیه مشخصی از فضا محدود کرد. هرچه فضای بررسی متغیرها محدودتر باشد جواب دقیق‌تری را خواهیم داشت. از آنجا که در خصوص ناحیه جستجوی اولیه پارامترها چیزی نمی‌دانیم باید نسل اولیه<sup>۱</sup> را به اندازه کافی متنوع در نظر بگیریم تا الگو قبل از متمرکز شدن روی امیدبخش‌ترین نواحی به کاوش در فضای متغیر با اندازه معقول بپردازد. بنابراین، باید فاصله‌ای برای مقادیر پارامترهای رابطه<sup>۱۳</sup> در نظر بگیریم که الگوریتم در این فاصله به جستجوی مقدار بهینه بپردازد.

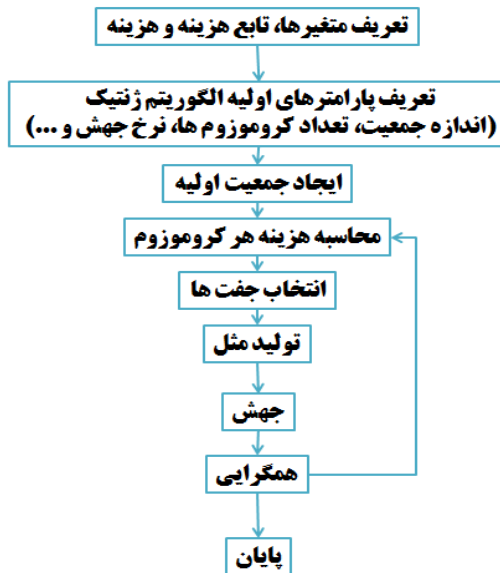
مقدار  $m$  جمعیت اولیه برای شروع الگوریتم انتخاب می‌کنیم. ابتدا همه متغیرها نرمال‌سازی می‌شوند تا مقداری بین صفر و یک داشته باشند و یک ماتریس تصادفی از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک به وجود می‌آوریم. کروموزوم‌های جمعیت اولیه که به اندازه کافی برای زنده ماندن مناسب‌اند در مرحله انتخاب طبیعی<sup>۲</sup> انتخاب می‌شوند. این کروموزوم‌ها فرزندان نسل‌های آینده را به وجود می‌آورند. در این مطالعه نرخ تغییر نسل برابر با  $k$  درصد در نظر گرفته شده است. یعنی در هر مرحله  $k$  درصد از جمعیت پایینی کروموزوم‌ها حذف و  $1-k$  درصد بالایی انتخاب می‌شود.

تعداد کروموزوم‌هایی که برای ادغام<sup>۳</sup> مناسب‌ترند از ضرب نرخ تغییر نسل در جمعیت اولیه به دست می‌آیند. بنابراین،  $(S = k * m)$  کروموزومی که از بقیه مناسب‌تر است استخر تولیدمثل را به وجود می‌آورد. در استخر تولیدمثل مادر و پدر با روش تصادفی زوج می‌شوند. هر یک از زوجها دو فرزند به وجود می‌آورند که خصوصیات از هر دو والد دارند. والدین نیز زنده می‌مانند تا بخشی از نسل بعدی را تشکیل دهند. برای ادغام از روش وزن‌دهی بر اساس ارزش استفاده شده است (هپت، ۱۹۹۶). در مرحله بعد دو والد انتخاب‌شده در مرحله ادغام، با هم ترکیب می‌شوند و فرزندان را به وجود می‌آورند.

1. Initial generation
2. Natural Selection
3. Cross Over or Mating

روش‌های گوناگونی برای تولیدمثل<sup>۱</sup> وجود دارد، در این مطالعه از روش ترکیب مکاشفه‌ای (مایکلوویژ) برای تولیدمثل استفاده شده است (مایکلوویژ، ۱۹۹۴).

ممکن است الگوریتم ژنتیک به سرعت به سوی ناحیه‌ای از رویه تابع هدف هم‌گرا شود. اگر این ناحیه نزدیک بهینه سراسری باشد، هم‌گرایی به سود الگوریتم است. اما برای توابعی که نقاط بهینه محلی زیادی دارند ممکن است الگوریتم به کمینه محلی هم‌گرا شود. در این توابع اگر الگوریتم را به حال خود رها کنیم به سوی کمینه محلی هم‌گرا خواهد شد و به جای کمینه سراسری کمینه محلی را گزارش خواهد داد. برای اجتناب از این مشکل با ایجاد تغییرات تصادفی (جهش)<sup>۲</sup> در متغیرها، الگوریتم را وادار می‌کنیم مناطق دیگر رویه تابع هدف را بررسی کند. نرخ جهش برابر  $\mu$  در نظر گرفته می‌شود تا به قسمت دیگر رویه حرکت کنیم. به همین ترتیب الگوریتم ژنتیک تکرار می‌شود تا مینیمم تابع هدف را با توجه به پارامترهای مشخص پیدا کنند. شکل ۲ مراحل الگوریتم ژنتیک را برای حل مسئله بهینه‌سازی نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار گردش الگوریتم ژنتیک پیوسته

1. Reproduction

2. Mutation

برای اطمینان از صحت نقاط اولیه انتخاب شده و قرار گرفتن در نقطه بهینه کلی<sup>۱</sup>، مراحل شکل ۲ را  $n$  بار تکرار می‌کنیم. سپس، مقادیر بهینه تابع هدف در این  $n$  بار تکرار را مقایسه و بهینه‌ترین حالت را انتخاب خواهیم کرد. تا این مرحله مقادیر پارامترهای رابطه ۴ و ۹ با فرض مقدار اولیه نرخ رجحان بررسی شد. در ادامه به برآورد نرخ رجحان اولیه خواهیم پرداخت.

#### ۴.۴. برآورد نرخ رجحان اولیه

با توجه به بررسی صورت‌گرفته در مبانی نظری، با افزایش امید به زندگی و دوره عمر طولانی‌تر نرخ ترجیحات زمانی کاهش می‌یابد. بنابراین، رابطه ۶ را باید با قید منفی بودن مقدار  $b$  برآورد کرد.

با فرض وجود  $n$  مقدار برای نرخ رجحان زمانی اولیه با توجه به مراحل ۱ تا ۳،  $n$  سری زمانی برای نرخ ترجیحات به دست می‌آید. برای این  $n$  سری زمانی، رابطه ۱۴ را با روش حداقل مربعات مقید<sup>۲</sup> برآورد می‌کنیم.

$$\rho_t = a + b \times LE_t$$

$$S.t$$

$$b \leq 0$$

(۱۴)

برای هر  $n$  برآورد صورت‌گرفته (با توجه به مقدار اولیه نرخ ترجیحات) میانگین مربعات خطا (MSE) را محاسبه و پس از آن سری زمانی<sup>۳</sup> را که کمترین MSE یا بیشترین توضیح‌دهندگی را در الگوی رابطه ۱۴ داشته باشد، انتخاب می‌کنیم. در نهایت پس از انتخاب سری زمانی مناسب گزارشی از آماره‌های برآوردشده پارامترهای روابط ۹ و ۱۴، میزان دقت برازش ( $R^2$ ) این روابط، منحنی‌های برازش شده و مقادیر نرخ ترجیحات زمانی ارائه خواهد شد.

با توجه به نمودار ۱ و مراحل بررسی شده در الگوریتم متغیرهایی که برای محاسبه نرخ ترجیحات زمانی در این الگوریتم نیاز است عبارت‌اند از:

۱. سری زمانی مصرف بخش خصوصی ( $c_t$ )؛

۲. سری زمانی نرخ پس‌انداز ( $s_t$ )؛

1. Global optimum

2. Restricted least square

۳. سری زمانی نرخ رجحان زمانی با توجه به مقادیر اولیه نرخ ترجیحات

۳. شاخص امید به زندگی در دوره تحت بررسی ( $LE_t$ ).  
در ادامه با استفاده از این الگوریتم نرخ ترجیحات زمانی برای اقتصاد ایران در دوره زمانی ۱۳۴۴-۱۳۸۹ برآورد شده است.

#### ۵.۴. برآورد نرخ ترجیحات برای اقتصاد ایران

با توجه به توضیحات مقدمه و پیشینه پژوهش، برآورد نرخ رجحان زمانی برای هر اقتصادی ضروری است. در این قسمت به برآورد این نرخ در بازه زمانی ۱۳۴۴-۱۳۸۹ برای اقتصاد ایران پرداخته شده است.  
به منظور برآورد نرخ رجحان زمانی در دوره مورد نظر از سری‌های زمانی زیر استفاده شده است.

۱. داده‌های نسبت مصرف به درآمد (سهم مصرف از درآمد) طی سال‌های ۱۳۴۴-۱۳۸۹ (منبع: بانک مرکزی و نمایه‌های اقتصادی سال‌های مختلف)؛
  ۲. سری زمانی نرخ پس‌انداز بخش خصوصی ( $S_t$ ) طی سال‌های ۱۳۴۴-۱۳۸۹ (منبع: شاخص‌های توسعه انسانی، بانک جهانی)؛
  ۳. شاخص امید به زندگی ( $LE_t$ ) طی سال‌های ۱۳۴۴-۱۳۸۹ (منبع: شاخص‌های توسعه انسانی، بانک جهانی).
- پارامترهای الگوریتم ژنتیک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. پارامترهای الگوریتم ژنتیک

مقدار	پارامتر
۱۰۰۰	جمعیت اولیه ( $m$ )
۳۰۰	تعداد تکرار در جهت هم‌گرایی ( $l$ )
۰/۲	نرخ جهش ( $\mu$ )
۰/۵	نرخ تغییر نسل ( $k$ )
۳۰	تعداد تکرار الگوریتم ژنتیک ( $n$ )

با توجه به مطالعه عباسی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۸)، عبدلی (۱۳۸۸) و مطالعات مشابه که در پیشینه مطرح شده، مقدار نرخ رجحان زمانی اولیه بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ انتخاب شده است.<sup>۲</sup>

1. Life expectancy

2.  $0/01 \leq \rho \leq 0/06$

با اجرای الگوریتم، با توجه به مقادیر اولیه جدول ۱ مقدار اولیه نرخ رجحان  $2/50$  درصد برآورد و با توجه به این مقدار اولیه پارامترهای برآوردشده روابط ۴، ۹ و ۱۴ همراه آماره  $t$  برای هر پارامتر در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. پارامترهای برآوردشده روابط الگوریتم

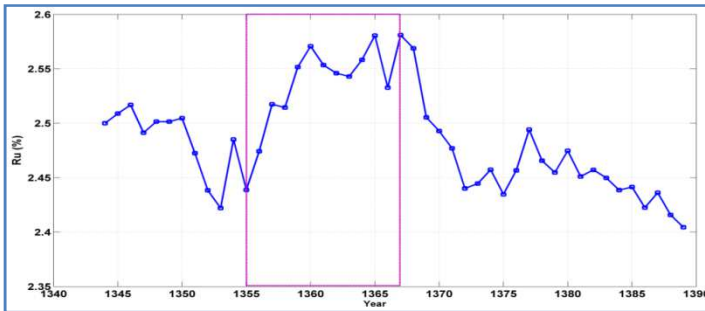
رابطه شاخص امید به زندگی (رابطه ۱۴) $\rho_t = a + b \times LE_t$			رابطه نرخ پس انداز (رابطه ۹) $s_t = \delta_0 + \delta_1 \rho_t$			رابطه بازگشتی (رابطه ۴) $\rho_t = \alpha_0 + \beta \rho_{t-1} + \gamma_1 c_t^{\gamma_2}$	
پارامتر	مقدار	آماره $t$	پارامتر	مقدار	آماره $t$	پارامتر	مقدار
$a$	۰/۰۲۷۱	۷۲/۵۶۴۳	$\delta_0$	۵/۳۰۶	۱۱۸/۱۳۱	$\alpha_0$	-۰/۰۱۳
$b$	-۰/۰۰۳۷	-۶/۰۰۷۷	$\delta_1$	-۲۰۰/۶۵	-۱۱۱/۱	$\beta$	۰/۰۰۲
MSE	۰/۰۰۰۰۰۰۳۶		MSE	۱/۶*۱۰ <sup>-۳۰</sup>		$\gamma_1$	۰/۰۳۹
$R^2$	۰/۹۹۳		$R^2$	۰/۹۹۷		$\gamma_2$	۰/۰۹۳

با توجه به آماره‌های جدول ۲ تمام پارامترها در سطح اطمینان ۵ درصد معنادارند. از طرفی با توجه به پارامترهای رابطه ۴ و مقدار اولیه رجحان زمانی انتخاب شده سری زمانی نرخ رجحان زمانی در بازه زمانی ۱۳۴۴-۱۳۸۹ در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. سری زمانی نرخ ترجیحات برآوردشده برای اقتصاد ایران (درصد)

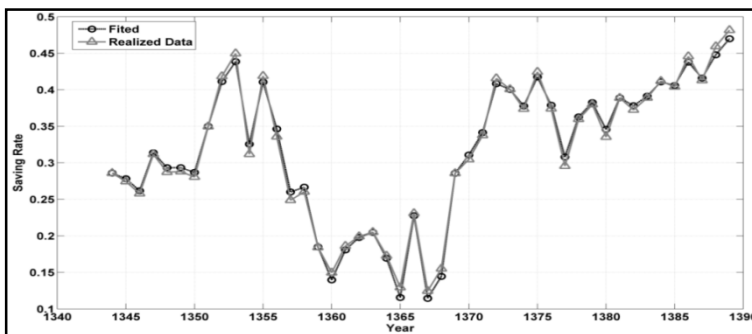
سال	مقدار	سال	مقدار	سال	مقدار	سال	مقدار
۱۳۴۴	۲/۵۰	۱۳۵۶	۲/۴۷	۱۳۶۸	۲/۵۷	۱۳۸۰	۲/۴۷
۱۳۴۵	۲/۵۱	۱۳۵۷	۲/۵۲	۱۳۶۹	۲/۵۱	۱۳۸۱	۲/۴۵
۱۳۴۶	۲/۵۲	۱۳۵۸	۲/۵۱	۱۳۷۰	۲/۴۹	۱۳۸۲	۲/۴۶
۱۳۴۷	۲/۴۹	۱۳۵۹	۲/۵۵	۱۳۷۱	۲/۴۸	۱۳۸۳	۲/۴۵
۱۳۴۸	۲/۵۰	۱۳۶۰	۲/۵۷	۱۳۷۲	۲/۴۴	۱۳۸۴	۲/۴۴
۱۳۴۹	۲/۵۰	۱۳۶۱	۲/۵۵	۱۳۷۳	۲/۴۴	۱۳۸۵	۲/۴۴
۱۳۵۰	۲/۵۰	۱۳۶۲	۲/۵۵	۱۳۷۴	۲/۴۶	۱۳۸۶	۲/۴۲
۱۳۵۱	۲/۴۷	۱۳۶۳	۲/۵۴	۱۳۷۵	۲/۴۳	۱۳۸۷	۲/۴۴
۱۳۵۲	۲/۴۴	۱۳۶۴	۲/۵۶	۱۳۷۶	۲/۴۶	۱۳۸۸	۲/۴۲
۱۳۵۳	۲/۴۲	۱۳۶۵	۲/۵۸	۱۳۷۷	۲/۴۹	۱۳۸۹	۲/۴۰
۱۳۵۴	۲/۴۹	۱۳۶۶	۲/۵۳	۱۳۷۸	۲/۴۷		
۱۳۵۵	۲/۴۴	۱۳۶۷	۲/۵۸	۱۳۷۹	۲/۴۵		

با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول ۳، نرخ رجحان زمانی برای اقتصاد ایران در شکل ۳ رسم شده است. با توجه به این نمودار بین سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۶۷ یعنی سال‌های نزدیک به انقلاب و جنگ تحمیلی نرخ ترجیحات روند افزایشی داشته است. این افزایش به علت بی‌اطمینانی‌هایی است که در آن دوره وجود داشته است. نرخ رجحان زمانی بین سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۸۹ روند کاهشی داشته است. از طرفی با توجه به این نمودار نرخ رجحان چسبندگی دارد و مقدار آن در بازه زمانی ۴۵ ساله ۰/۱ درصد نوسان داشته است.



شکل ۳. نرخ رجحان زمانی طی زمان برای اقتصاد ایران

همچنین شکل ۴ خوبی مقدار برآزش شده و تحقق یافته نرخ پس‌انداز در رابطه پس‌انداز را نشان می‌دهد (به منظور بررسی مجدد قدرت برآورد الگو این نمودار رسم شده است). با توجه و مقایسه شکل‌های ۳ و ۴ مشخص می‌شود که با کاهش نرخ رجحان زمانی نرخ پس‌انداز افزایش یافته است. این امر از نظر تئوری توجیه‌پذیر است. کاهش نرخ رجحان زمانی به علت امید به آینده و اطمینان از آینده است. بنابراین، با افزایش اطمینان به آینده انتظار داریم نرخ پس‌انداز افزایش یابد.



شکل ۴. مقدار برآزش شده و تحقق یافته نرخ پس‌انداز

## ۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تصمیمات فعلی مصرف و پس‌انداز سبب تغییر آب و هوا (کیفیت محیط زیست) در آینده خواهد شد و رفاه در دوره آتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، استفاده از مقدار متغیر رجحان زمانی، انعطاف‌پذیری بالایی برای مدل‌سازی فراهم می‌کند. مشکل بودن تجزیه و تحلیل الگوها با نرخ ترجیحات زمانی غیر ثابت کاربرد این الگوها را محدود می‌کند. در این مطالعه ابتدا الگوریتمی بسط داده شده است که با استفاده از آن می‌توان نرخ ترجیحات زمانی را در دوره زمانی مشخص برآورد کرد. از طرفی بر اساس این الگوریتم بسته برنامه‌نویسی با استفاده از نرم‌افزار متلب نوشته شده است که با استفاده از آن می‌توان نرخ ترجیحات زمانی متغیر طی زمان را برای هر اقتصادی برآورد کرد.

در هیچ‌کدام از مطالعات داخلی به برآورد نرخ ترجیحات زمانی به صورت مستقیم پرداخته نشده است. تنها در چند مطالعه شاخص‌هایی برای این نرخ فرض شده است. از طرفی در هیچ مطالعه‌ای به توضیح و برآورد این نرخ طی زمان پرداخته نشده است (که می‌تواند توضیح‌دهنده وقایع بسیاری طی زمان باشد). در این مطالعه به برآورد این نرخ با استفاده از روش الگوریتم پرداخته شده است.

بر اساس مطالعات بررسی‌شده مشخص شد که نرخ ترجیحات زمانی از یک سو تابعی از مصرف در هر دوره است. از طرف دیگر نرخ ترجیحات به صورت مستقیم در نرخ پس‌انداز تأثیر می‌گذارد. بنابراین، می‌توان نرخ پس‌انداز را به صورت تابعی از نرخ تنزیل فرض کرد. همچنین، شاخص امید به زندگی (نرخ مرگ و میر) تأثیری معکوس در نرخ ترجیحات زمانی دارد. بنابراین، شاخص امید به زندگی در نرخ ترجیحات زمانی تأثیر دارد و این تأثیر به صورت نسبت عکس است. با توجه به اینکه نرخ پس‌انداز و امید به زندگی در جامعه تغییر می‌کند بنابراین، انتظار داریم نرخ ترجیحات زمانی نیز طی زمان تغییر کند.

در الگوریتم بسط داده‌شده، نرخ مصرف بخش خصوصی، نرخ پس‌انداز خانوار و شاخص امید به زندگی برای محاسبه نرخ رجحان زمانی نیاز است. این الگوریتم شامل ۴ مرحله است. در مرحله اول در یک رابطه بازگشتی سری زمانی نرخ رجحان اولیه محاسبه شده است که در این مرحله الگوریتم نرخ رجحان به صورت تابعی از نرخ مصرف بخش خصوصی و نرخ رجحان زمانی دوره قبل در نظر گرفته می‌شود. از طرفی بر اساس تعاریف اولیه نرخ رجحان زمانی، نرخ پس‌انداز در جامعه تابعی از نرخ رجحان

زمانی است. بنابراین، در مرحله دوم پارامترهای رابطه بازگشتی با فرض مشخص بودن نرخ رجحان اولیه برآورد شده است. همان طور که می‌دانیم با افزایش امید به زندگی و دوره عمر طولانی‌تر نرخ ترجیحات زمانی کاهش می‌یابد. در مرحله آخر از الگوریتم نرخ رجحان اولیه انتخاب و بهترین سری زمانی از نرخ رجحان برآورد شده است.

پس از بسط الگوریتم برای اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۴۴-۱۳۸۹ نرخ رجحان زمانی برآورد شده است. نتایج این برآورد نشان می‌دهند تمام پارامترها در سطح اطمینان ۵ درصد معنادارند. با توجه به مقادیر به دست آمده و رسم شده نرخ رجحان زمانی برای اقتصاد ایران، بین سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۶۷ یعنی سال‌های نزدیک به انقلاب و جنگ تحمیلی نرخ ترجیحات روندی افزایشی داشته است. این افزایش می‌تواند به علت بی‌اطمینانی‌هایی باشد که در آن دوره وجود داشته است. این در حالی است که نرخ رجحان زمانی بین سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۸۹ روندی کاهشی داشته است. به طور متوسط در دوره تحت بررسی نرخ ترجیحات زمانی برای اقتصاد ایران ۲/۳۸ درصد به دست آمده است. همان طور که انتظار می‌رود این نتایج نشان می‌دهند که نرخ رجحان زمانی در ایران چسبندگی دارد و مقدار آن در این بازه زمانی (۴۵ سال) نوسانی حدود ۰/۱ درصد داشته است. همچنین، مشاهده می‌شود که با کاهش نرخ رجحان زمانی، نرخ پس‌انداز افزایش یافته است.

## منابع

۱. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (سال‌های مختلف). نماگرهای اقتصادی، گزارش اقتصادی و ترازنامه.
۲. دلالی اصفهانی، رحیم، صمدی، سعید، مجاهدی مؤخر، محمد، جباری، امیر و صمدی بروجنی، رضا (۱۳۹۱). تصریح یک مدل تورمی برای اقتصاد ایران با بهره‌گیری از بنیان‌های خرد اقتصادی. فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۱۲۷-۱۵۱.



۳. دلالی، رحیم، بخشی دستجردی، رسول و حسینی، جعفر (۱۳۸۷). بررسی نظری و تجربی نرخ ترجیح زمانی مطالعه موردی اقتصاد ایران (۱۳۵۱-۱۳۸۳). مجله دانش و توسعه، ۱۳۷-۱۶۷.
۴. شاهمرادی، اصغر، کاوند، حسین و ندری، کامران (۱۳۸۹). برآورد نرخ بهره تعادلی در اقتصاد ایران (۱۳۶۸:۴-۱۳۸۶:۴) در قالب یک مدل تعادل عمومی. مجله تحقیقات اقتصادی، ۱۹-۴۱.
۵. عباسی نژاد، حسین، شاهمرادی، اصغر و کاوند، حسین (۱۳۸۸). برآورد یک مدل ادوار تجاری واقعی برای اقتصاد ایران با استفاده از رهیافت فیلتر کالمن و حداکثر راستنمایی. تحقیقات اقتصادی ایران. ۸۵-۱۱۷.
۶. عبدلی، قهرمان (۱۳۸۸). تخمین نرخ تنزیل اجتماعی برای ایران. پژوهش‌های اقتصادی، سوم، ۱۳۵-۱۸۶.
۷. هراتی، جواد، اسلام‌لوییان، کریم و قطمیری، محمدعلی (۱۳۹۱). تعیین مالیات زیست‌محیطی بهینه در الگوی رشد تعمیم‌یافته با وجود انتقال تکنولوژی پاک و کیفیت محیط‌زیست: نمونه اقتصاد ایران، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۷، ۹۷-۱۲۶.
8. Ahmad A. F., & M. Kabir Hassan (2009). The Time Value of Money Concept in Islamic Finance. <http://www.iefpedia.com/english/wp-content/uploads/2009/11/The-Time-Value-of-Money-Concept-in-Islamic-Finance.pdf>.
9. Chichilnsky, G. (1996). An axiomatic approach to sustainable development. Soc. Choice Welfare 13, 231-257.
10. Cropper, M., Ayded, S., & Portney, P. (1994). Preferences for life-saving programs: how the public discounts time and age. Risk Uncertainty, 8, 243-266.
11. Dasgupta, P. (2007). Commentary the Stern review's economics of climate change. National Institute Economic Review, 199(1), 4-7.
12. Dockner, E., Jorgensen, S., Van Long, N., & Sorger, G. (2000). Differential Games in Economics and Management Sciences. U.K: Cambridge University Press.

13. Dybvig, P., Ingersoll, J., & Ross, S. (1996). Long forward and zero coupon rates can never fall. *Journal of Business Research*, 69, 1–25.
14. Eckstein, O. (1961). A Survey of Theory of Public Expenditure, in Buchanan J. (ed.) *Public Finances; Needs, Sources and Utilisation*. New Jersey: Princeton University Press, 452-502.
15. Fahim Khan, M. (1991). Time Value of Money and Discounting in Islamic Perspective. *Review of Islamic Economics*, Vol. 1, No. 2, 35-45.
16. Fisher, I. (1930). *The Theory of Interest as Determined by Impatience to Spend Income and Opportunity to Spend it*. New York, Macmillan.
17. Fujii, T. (2008). *Manual for discrete time continuous state quasi-dynamic programming equation solver*. Singapore Management University: PhD Thesis.
18. Gollier, C. (2002). Discounting an uncertain future. *Journal of Public Economics*, 85, 149–166.
19. Gollier, C. (2002). Time horizon and the discount rate. *Journal of Economic Theory*, 107, 463–473.
20. Gollier, C. (2007). Consumption-based determinants of the term structure of discount rates. *Mathematics and Financial Economics*, 1(2), 81–101.
21. Gollier, C., & Zeckhauser, R. (2005). Aggregation of heterogeneous time preferences. *Journal of Political Economy*, 113, 878–896.
22. Groom, B., Hepburn, C., Koundouri, P., & Pearce, D. (2005). Declining discount rates: the long and the short of it. *Environmental and Resource Economics*, 32, 445–493.
23. Gunning, S., & Patrick, J. (2008). *Mises's Theory of Economic Growth*. Bryant University: Working Paper.
24. Harris, C., & Laibson, D. (2001). Dynamic choices of hyperbolic consumers. *Econometrica*, 69(5), 935–957.
25. Haupt, R., & Haupt, S. (1996). *Practical Genetic Algorithms*, Second Edition. A John Wiley and Sons, Inc., Publication.
26. Heal, G. (2001). Intertemporal welfare economics and the environment. *The Handbook of Environmental Economics*, North-Holland, Amsterdam.
27. Henderson, P. (1965). Notes on Public Investment Criteria in the UK. *Bulletin of Oxford University Institute of Statistics*, 27, 55-89.

28. Herbenner, M. (2011). The Pure Time-Preference Theory of Interest, Ludwig von Mises Institute, 11-58 (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).
29. Hofkes, M. (1994). Sustainable Development in an Economy-Ecology Integrated Model. Tinbergen Institute: Virile Universities.
30. Judd, K. (1998). Numerical Methods in Economics. Cambridge, MA: MIT Press.
31. Karp, L. (2005). Global warming and hyperbolic discounting. Journal of Public Economics, 89, 261–282.
32. Karp, L. (2007). Non-constant discounting in continuous time. Journal of Economic Theory, 132, 557–568.
33. Karp, L., & Tsur, Y. (2007). Time perspective, discounting and climate change policy. working paper, <http://are.Berkeley.EDU/karp/i>.
34. Krusell, P., Kuruscu, B., & Smith, A. (2002). Equilibrium welfare and government policy with quasi-geometric discounting. Journal of Economic Theory, 105, 42–72.
35. Laibson, D., Repetto, A., & Tobacman, J. (1998). Self control and saving for retirement. Brookings papers on economic activity, 1, 91-196.
36. Levhari, D. a. (1969). Optimal Savings under Uncertainty. Review of Economic Studies, 36, 153–163.
37. Li, C., & Lofgren, K. (2000). Renewable resources and economic sustainability: a dynamic analysis with heterogeneous time preferences. Journal of Environmental Economics and Management, 40, 236–250.
38. Lindstone, H. (1972). On Discounting the Future. Technological Forecasting and Social Change, 5, 335-380.
39. López-Casnovas, G., Rivera, B., & Currais, L. (2005). Health and Economic Growth: Findings and Policy Implications. MIT Press.
40. Michalewicz, Z. (1994, Second Edition). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. New York: Springer Verlag.
41. Miranda, M., & Fackler, P. (2002). Applied Computational Economics and Finance. Cambridge, MA: MIT Press.
42. Nordhaus, W. (2007). A review of the Stern review on the economics of climate change. Journal of Economic Literature, 45(3), 686–702.

43. Pakes, A., & McGuire, P. (1994). Computing Markov-perfect Nash equilibria: numerical implications of a dynamic differentiated product model. *RAND Journal of Economics*, 25(4), 555–589.
44. Palma, C., Lopez, A., & Sequeria, T. (2010). Analysis Externalities in an Endogenous Growth Model With Social and Natural Capital. *Ecological Economics*, 69, 603-612.
45. Perez Arce, F. (2011). The Effect of Education on Time Preferences. Working Paper: NIA funded RAND Center for the Study of Aging (P30AG012815).
46. Rabin, M. (1998). Psychology and economics. *Journal of Economic Literature*, 36, 11–46.
47. Siddiqui, S. A. (2006). The Controversy over Time Value of Money among Contemporary Muslim Economists. *Journal of Management and Social Sciences*, 2(2), 144-153.
48. Stern, N. (2006). Stern review on the economics of climate change. UK: Technical Report, HM Treasury.
49. Uzawa, H. (1968). Time preference, the consumption function, and optimum asset holdings. In J.N. Wolfe (ed.), *Value, Capital and Growth: Papers in Honor of Sir John Hicks*, Chicago: Aldine.
50. Weitzman, M. (2007). A review of the Stern review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, 45(3), 703–724.