مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۲
تابستان ۱۳۹۶
صص. ۳۰۸- ۲۸۷

Journal of Industrial Management
DOI: 10.22059/imj.2017.240333.1007301

بهینه‌یابی و شبیه‌سازی (مونت کارلو) تأثیر تکانه‌های بهره‌وری بر تولید ناخالص داخلی ایران با رهیافت الگوریتم‌های پیشرفته

رامین جمشیدی دهنوی[۱]، محسن زاینده‌رودی[۲]، سید عبدالمجید جلائی[۳]، علی رئیس‌پور[۴]

چکیده: در این مقاله، به بررسی پاسخگویی نحوهٔ اثرگذاری تکانه‌های بهره‌وری بر تولید ناخالص ملی با رهیافت الگوریتم‌های پیشرفته و شبیه‌سازی مونت‌کارلو در اقتصاد ایران پرداخته شده است. پس از بررسی مطالعات نظری و تجربی صورت‌گرفته، متغیرهای تورم، بیکاری، تولید بالقوه و تکانه‌های بهره‌وری به‌عنوان متغیرهای توضیح‌دهندهٔ تولید ناخالص داخلی انتخاب شدند و با استفاده از سه الگوریتم کرم شب‌تاب، فاخته و پرندگان، ضریب هر یک از متغیرهای مستقل برآورد شد. پس از برآورد ضرایب و با توجه به عدم قطعیت آنها به‌وسیلهٔ الگوریتم‌های پیشرفته، به‌کمک روش مونت‌کارلو معادلات مد نظر شبیه‌سازی شدند. مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی و نتایج حاصل از تخمین، نشان‌دهندهٔ دقت بالای نتایج تخمین‌هاست. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تکانه‌های بهره‌وری اثر بسیار ناچیز و قابل صرف نظر بر تولید ناخالص داخلی دارند و تولید بالقوه اثرگذارترین متغیر معرفی است.

واژگان کلیدی: الگوریتم‌های پیشرفته، بهینه‌یابی، تکانه‌های بهره‌وری، تولید ناخالص داخلی، شبیه‌سازی مونت کارلو.

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
۲. استادیار گروه اقتصاد، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
۳. استاد گروه اقتصاد، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
۴. استادیار گروه اقتصاد، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۱
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹٦/۰۳/۲٤
نویسندهٔ مسئول مقاله: محسن زاینده‌رودی
E-mail: m_roodi2000@yahoo.com

مقدمه

امروزه همهٔ کشورهای توسعه‌یافته یا در حال توسعه به اهمیت بهره‌وری به‌عنوان یکی از ضرورت‌های رشد اقتصادی و کسب برتری رقابتی در عرصه‌های بین‌المللی تأکید دارند؛ زیرا در دنیای کنونی، رقابت در صحنه‌های جهانی ابعاد دیگری به خود گرفته و تلاش برای نیل به سطح بهره‌وری بیشتر، یکی از پایه‌های اصلی این رقابت‌ها را تشکیل می‌دهد. به این ترتیب اغلب کشورهای در حال توسعه، به‌منظور اشاعهٔ نگرش به مقولهٔ بهره‌وری و تعمیم به‌کارگیری فنون و روش‌های بهبود آن، سرمایه‌گذاری‌های شایان توجهی در این زمینه انجام داده یا در حال سرمایه‌گذاری هستند. در بین کشورهایی که طی دههٔ اخیر به پیشرفت‌های سریع اقتصادی نائل آمده‌اند نیز، بهره‌وری گسترش یافته است. شاید بتوان گفت که پایهٔ رشد اقتصادی و تکنولوژیکی آنها براساس توجه به مقولهٔ بهره‌وری و اشاعهٔ آن در کلیهٔ سطوح و طبقات جامعه است؛ زیرا افزایش بهره‌وری بر پدیده‌های اصلی اقتصادی، اجتماعی و سیاسی جوامع، مانند کاهش سطح تورم، افزایش سطح رفاه عمومی، افزایش سطح اشتغال و افزایش توان رقابت اقتصادی تأثیر دارد.

در کشور ما نسبت به اهمیت و توجه به مقولهٔ بهره‌وری، به دلایل مختلفی همچون حاکم‌نبودن فرهنگ و نگرش درست به بهره‌وری در جامعه، غفلت شده است و با وجود برخی اقدامات انجام شده مانند تأسیس سازمان ملی بهره‌وری و برخی تأکیدات در برنامهٔ سوم توسعه در خصوص ارتقای بهره‌وری، هنوز تا رسیدن به وضعیت مطلوب فاصلهٔ زیادی باقی مانده است و باید گام‌های اساسی و مؤثری در این زمینه برداشته شود. با این وصف، به نظر می‌رسد نگرش دقیق‌تر برنامهٔ ششم توسعه به مقولهٔ بهره‌وری می‌تواند گام مثبتی در این زمینه باشد (ولی‌زاده، ۱۳۸۴).

این تحقیق با توجه به مطالعات صورت‌گرفته، به‌دنبال بهینه‌یابی و شبیه‌سازی (مونت کارلو)[1] تأثیر تکانه‌های بهره‌وری[2] بر تولید ناخالص داخلی ایران با رهیافت الگوریتم‌های پیشرفته است. بدین منظور پس از مقدمه به بیان ادبیات سازوکار بهره‌وری بر تولید ناخالص ملی پرداخته شده است و در ادامه با معرفی الگوریتم‌های پیشرفته و سازوکار شبیه‌سازی مونت کارلو، مدل پیشنهادشده تصریح و تخمین زده می‌شود. در نهایت نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته خواهد شد.

پیشینهٔ پژوهش

ارتباط بین بهره‌وری و تولید ناخالص ملی در کشورهای مختلف، همواره یکی از موضوعات مورد بحث اقتصاددانان بوده و پژوهش‌های تجربی مختلف داخلی و خارجی در این زمینه ارائه شده است.

---

1. Monte Carlo Simulation
2. Productivity Shocks

رضایی، نادعلی و علیزاده (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ای با عنوان «بررسی رابطهٔ علی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (مطالعهٔ موردی: بخش بازرگانی)»، این رابطه را طی دورهٔ زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۶ با روش خودرگرسیون برداری دومتغیره و بردار تصحیح خطا در ایران بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها بر وجود رابطهٔ مثبت میان رشد بهره‌وری و رشد بخش بازرگانی در ایران با علیت گرنجری از طرف رشد بهره‌وری بخش بازرگانی به رشد بخش، دلالت دارد.

فطرس و دهقان‌پور (۱۳۹۰) در مقاله‌ای با عنوان «تأثیر بهره‌وری بر رشد اقتصادی صنایع تولیدی ایران با رهیافت داده‌های ترکیبی» با استفاده از متغیرهای نیروی کار و سرمایهٔ صنایع تولیدی ایران بر اساس کدهای دورقمی ISIC در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶ و تخمین تابع تولید کاب داگلاس با رهیافت داده‌های ترکیبی، ضمن شناسایی منابع رشد بخش صنعت، جایگاه بهره‌وری کل عوامل تولید را بررسی کردند. بر اساس نتایج پژوهش آنها، صنایع ایران در سال‌های مورد مطالعه به‌طور متوسط ۱۲/۴ درصد رشد داشته است که ۱۶/۱ درصد آن نشئت‌گرفته از رشد بهره‌وری کل عوامل تولید، ۶۹ درصد به‌دلیل رشد نیروی کار و ۱۳/۵ درصد به‌دلیل رشد موجودی سرمایه است.

رجبی (۱۳۹۳) در مقاله‌ای به محاسبهٔ رشد بهره‌وری بخش کشاورزی و بررسی وجود رابطه و تحلیل آن پرداخته است. رشد بهره‌وری بخش کشاورزی، رشد تولید این بخش و تورم در اقتصاد ایران است. بر این اساس پس از محاسبهٔ رشد بهره‌وری بخش کشاورزی طی دورهٔ زمانی ۱۳۵۷ تا ۱۳۹۰ و مرور مبانی نظری و مطالعات تجربی انجام شده در زمینهٔ ارتباط میان بهره‌وری، تورم و رشد، به بررسی رابطهٔ علی میان رشد بهره‌وری بخش کشاورزی، رشد تولید این بخش و تورم، با استفاده از تکنیک آزمون ریشهٔ واحد، علیت گرنجری و توابع عکس‌العمل آنی در چارچوب روش خودرگرسیون برداری پرداخت. بر اساس نتایج، بین بهره‌وری عوامل تولید بخش کشاورزی و تورم رابطهٔ منفی دو طرفه وجود دارد. همچنین رابطهٔ مثبت میان رشد بهره‌وری و رشد تولید بخش کشاورزی در ایران با علیت گرنجری از طرف بهره‌وری بخش کشاورزی تأیید شده است.

ولیجانی (۱۳۹۴) در مقاله‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر ارتقای بهره‌وری نیروی انسانی در سازمان امور مالیاتی کشور پرداخته است. وی برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های مؤثر بر بهره‌وری نیروهای انسانی شامل عوامل محیطی، سازمانی و فردی، متغیرهایی در پرسشنامه طراحی کرده است. بررسی تغییر متغیرها بر عدد بهره‌وری در کنار مسئلهٔ تحقیق، از نوآوری‌های این پژوهش محسوب می‌شود. در این پژوهش از روش تحلیل حداقل مربعات جزئی برای بررسی فرضیه‌های تحقیق (تأثیر عوامل فردی، سازمانی و محیطی بر بهره‌وری) استفاده شده است. بررسی شاخص‌های نکویی برازش مدل مانند ضریب تعیین (بیش از ۸۵ درصد) بیان‌کنندهٔ کیفیت مناسب مدل پیشنهادی است. نتایج تحلیل آماری نشان می‌دهد، به ترتیب سه عامل سازمانی، ویژگی‌های فردی و محیطی، بیشترین تأثیر را بر ارتقای بهره‌وری دارند. از این رو برنامه‌ریزی برای بهبود

شرایط کاری و اصلاح شیوه‌های مدیریتی از نظر سازمانی و بهبود فرایند استخدام و توجه به صلاحیت کارکنان در کسب موقعیت شغلی از نظر فردی، به بهبود بهره‌وری نیروی انسانی در سازمان مالیاتی کشور کمک خواهد کرد.

امیرتیموری (۱۳۹۵) به بررسی رابطهٔ علّی بین نیروی کار تحصیل‌کرده و رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید در بخش کشاورزی ایران پرداخت. جامعهٔ آماری، نیروی کار تحصیل‌کرده در بخش کشاورزی ایران در دورهٔ زمانی ۱۳۹۲– ۱۳۶۰ در نظر گرفته شده است. بدین منظور با استفاده از روش هم انباشتگی جوهانسن ـ جوسلیوس، رابطهٔ بین نیروی کار تحصیل‌کرده و رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید در بخش کشاورزی ایران را بررسی کرد و به‌کمک آزمون علیت گرنجر، رابطهٔ علّی بین این دو متغیر را سنجید. نتایج آزمون هم‌انباشتگی جوهانسن ـ جوسلیوس، نشان داد بین متغیرهای یاد شده نوعی رابطهٔ انباشتگی بلندمدت مثبت وجود دارد. همچنین بر پایهٔ آزمون علیت گرنجر، وجود رابطهٔ علّی بین نیروی کار تحصیل‌کرده و رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید تأیید شد. نتایج مدل تصحیح خطای برداری نیز نشان داد در کوتاه‌مدت، نیروی کار تحصیل‌کرده تأثیر معناداری بر رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید در بخش کشاورزی گذاشته است، بنابراین نیروی کار تحصیل‌کرده با افزایش رشد بهره‌وری سبب افزایش تولید و رشد و پیشرفت بخش کشاورزی شده است. بر این پایه، سیاستگذاری و برنامه‌ریزی در زمینهٔ آموزش و هدایت نیروی کار و انتقال اطلاعات و دانش آنان به کشاورزان، ضروری است.

لیانگ (۲۰۰۱) در پژوهشی به بررسی منابع رشد اقتصادی در چین پرداخت و به این نتیجه رسیده است که منابع رشد اقتصادی این کشور طی سال‌های ۱۹۹۶– ۱۹۶۱ به‌ترتیب عبارت‌اند از: رشد موجودی سرمایه، رشد بهره‌وری و موجودی نیروی کار و افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید.

هان و کلیراجان (۲۰۰۳) در پژوهشی ارتباط میان کارایی و بهرهٔ اقتصادی را در کشورهای شرق آسیا بررسی کردند. نتایج برآورد آنها نشان داد در فاصلهٔ زمانی ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰، کشورهای ژاپن، سنگاپور و تایوان رشد اقتصادی خود را مرهون بهره‌وری بوده‌اند.

کینیوندو و مابوگو (۲۰۰۸) در مطالعهٔ خود به بررسی آثار تکانه‌های بهره‌وری بر متغیرهای کلان اقتصادی همچون اشتغال، دستمزد، درآمد و رفاه اقتصادی در کشور آفریقای جنوبی پرداختند. برای این کار از مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر شامل ۴۹ بخش اقتصادی کمک گرفته‌اند. نتایج نشان داد تکانه‌های بهره‌وری، افزایش درآمد و رفاه خانوارها و کاهش قیمت کالاها را به‌دنبال خواهد داشت.

فالکنر و ماکرلوف (۲۰۰۹)، در مقالهٔ خود به بررسی آثار افزایش در بهره‌وری متغیرهای اقتصاد کلان آفریقای جنوبی پرداختند. در این تحقیق به‌کمک مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر، مدل

مربوطه با در نظر گرفتن چهار سناریو شبیه‌سازی شده است. نتایج حاکی از آن است که تکانه‌های بهره‌وری به افزایش مصرف خصوصی، مصرف دولتی، صادرات، واردات، مالیات غیرمستقیم و پس‌انداز دولتی منجر خواهد.

جاجری (۲۰۱۱) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالکوم کوئیست، به بررسی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید بخش خدمات در مالزی طی سال‌های ۲۰۰۷- ۱۹۸۶ پرداخت. نتایج تحقیق وی نشان داد رشد بهره‌وری کل عوامل تولید در بخش خدمات مثبت است و این رشد عمدتاً به‌دلیل رشد مثبت کارایی فنی در مقابل رشد تکنولوژی منفی بوده است.

چرنگل و هو (۲۰۱۴) در بررسی خود، تأثیر سرمایهٔ دانش را بر رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید صنایع چین بررسی کردند. بدین منظور آمار و اطلاعات مربوط به صنایع واقع شده در ۲۹ منطقهٔ چین را گردآوری کرده و از مدل داده‌های ترکیبی استفاده کردند. نتیجه نشان داد بین سرمایهٔ دانش و رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید در صنایع چین رابطهٔ مثبتی وجود دارد.

روش‌شناسی پژوهش

بهره‌وری در اقتصاد، مشتمل بر ادبیات نظری و تجربی است. در ادبیات نظری، نظریه‌های متفاوتی وجود دارند که در اینجا به‌طور مختصر به مروری بر این نظریه‌ها پرداخته می‌شود.

بهره‌وری

در ادبیات اقتصادی، مؤسسه‌ها، سازمان‌های بین‌المللی و اقتصاددانان مفاهیم متعددی برای بهره‌وری ارائه کرده‌اند. واژهٔ بهره‌وری برای اولین بار در سال ۱۷۶۶ توسط «کنه» به کار رفت یک قرن بعد «لیتر» در سال ۱۸۳۳ بهره‌وری را به مفهوم استعداد تولید کردن تعریف کرد. در اوایل دههٔ ۱۹۰۰ بهره‌وری را رابطهٔ بین ستانده و عوامل به‌کار گرفته شده در تولید تعریف کردند. در سال ۱۹۵۰ سازمان همکاری اقتصادی اروپا تعریف دقیق‌تری از بهره‌وری ارائه داد و آن را نسبت ستاده به یکی از عوامل تولید معرفی کرد. دفتر بین‌المللی کار بهره‌وری را رابطهٔ بازده تولید با یکی از عوامل تولید یعنی زمین، سرمایه، کار و مدیریت می‌داند. سازمان بهره‌وری اروپا آن را درجهٔ استفادهٔ مؤثر از هر یک از عوامل تولید معرفی می‌کند و معتقد است که بهره‌وری قبل از هر چیز نوعی دیدگاه فکری است. هدف بهره‌وری این است که به‌طور مستمر سعی در بهبود وضع موجود کند. مبنای این هدف بر این عقیده استوار است که امروز را بهتر از دیروز و فردا را بهتر از امروز کار کنیم. بهره‌وری در جامعه زمانی تحقق می‌یابد که تمام بخش‌های تولیدی، اجتماعی و خدماتی، سعی در استفاده از یک نظام مناسب بهره‌وری داشته باشند که معمولاً نظام قانون‌گذار می‌تواند با هموار کردن راه‌ها آن را به‌وجود آورد (فلاحی، حسین‌زاده و مقدم‌نژاد، ۱۳۹۱).

بهره‌وری در ادبیات اقتصادی معانی گوناگون دارد؛ زیرا علی‌رغم کاربرد وسیع آن، شاید بسیاری از کسانی که در حرکت بهره‌وری نقش اساسی دارند، استنباط روشنی از آن نداشته باشند. بهره‌وری، به‌طور عمیق ریشه در تولید انبوه دارد و همین مسئله موجب نادیده‌گرفته شدن آن در سازمان‌ها شده است (ساهای، ۲۰۰۵). سازمان همکاری و توسعهٔ اقتصادی (OECD) بهره‌وری را به این صورت تعریف کرد: بهره‌وری، حاصل کسری است که از تقسیم مقدار یا ارزش محصول بر مقدار یا ارزش یکی از عوامل تولید به‌دست می‌آید. بر این اساس، می‌توان از بهره‌وری سرمایه، مواد اولیه و نیروی کار صحبت کرد (عباسیان و مهرگان، ۱۳۸۶).

الگوریتم‌های پیشرفته

در این مقاله برای بهینه‌یابی از الگوریتم فاخته[1]، کرم شب‌تاب[2] و ازدحام ذرات[3] (پرندگان) که در دسته الگوریتم‌های تقریبی و فرا ابتکاری قرار می‌گیرند، استفاده شده است.

به‌طور کلی روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق[4] و الگوریتم‌های تقریبی[5] دسته‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به‌صورت دقیق هستند، اما برای برخی مسائل بهینه‌سازی کارایی کافی ندارند و زمان اجرای آنها متناسب با ابعاد مسائل به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد. برای حل این مشکلات الگوریتم‌های تقریبی به‌وجود آمدند.

الگوریتم‌های تقریبی به سه دسته الگوریتم‌های ابتکاری[6] و فراابتکاری[7] و فوق ابتکاری[8] بخش‌بندی می‌شوند. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، گیر افتادن آنها در نقاط بهینهٔ محلی و همچنین همگرایی زودرس به این نقاط است. الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شدند. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که با برخورداری از راهکارهای برون‌رفت از نقاط بهینهٔ محلی، قابلیت کاربرد در مجموعهٔ گسترده‌ای از مسائل را دارند.

این الگوریتم‌ها از طبیعت الهام گرفته شده‌اند که تقریباً در همهٔ آنها روش‌های هوشمند گروهی به‌کار رفته است و متعلق به گروه الگوریتم‌های تصادفی هستند؛ بدین معنا که در زمینهٔ بهینه‌یابی مسائل، یک نوع جست‌وجوی تصادفی برای رسیدن به مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها به‌کار می‌برند.

---

1. Cuckoo
2. Firefly
3. Particle Swarm
4. Exact
5. Approximate algorithms
6. Heuristic
7. Meta heuristic
8. Heuristic hyper

الگوریتم‌های معرفی‌شده در پایین‌ترین سطح خود بر تولید راه‌حل‌ها درون یک فضـای جسـت‌وجـو تمرکز کرده و بهترین راه‌حل را برای بقا انتخاب می‌کنند. جست‌وجوی تصادفی مانع گیر افتـادن در دام بهینهٔ محلی می‌شود (مریخ بیات، ۱۳۹۳)

الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی هستند. در این مقاله به‌منظور بررسی میزان تقریب نتایج به‌دست آمده از ضرایب بهینه‌یابی شده به‌وسیله الگوریتم‌های پیشرفتهٔ یاد شده با داده‌های واقعی، از معیار میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است.

الگوریتم فاخته

الگوریتم تکاملی فاخته یا COA، برای اولین‌بار توسط رامین رجبیون در سال ۲۰۱۱ ابداع شد. این الگوریتم از زندگی پرنده‌ای به نام فاخته الهام می‌گیرد. نحوهٔ تخم‌گذاری و رشد خاص فاخته، ایدهٔ اصلی طرح این الگوریتم است. برخی از پرندگان خود را از دردسر هرگونه لانه‌سازی و وظایف والدین رها کرده و به نوعی زیرکی برای پرورش جوجه‌های خود متوسل می‌شوند. این پرندگان در اصطلاح پارازیت‌های اولاد[1] نامیده می‌شوند. فاخته مشهورترین پارازیت اولادی است.

فاخته یکی از تخم‌های پرندهٔ میزبان را از بین می‌برد و تخم خود را لابه‌لای تخم‌های موجود در لانهٔ میزبان قرار می‌دهد. بدین شکل نگهداری از تخم را برعهدهٔ پرندهٔ میزبان می‌گذارد. فاخته‌ها این کار را با تقلید از رنگ و الگوی تخم‌های موجود در هر لانه انجام می‌دهند تا تخم‌های جدید لانه شبیه تخم‌های قبلی و واقعی میزبان باشند. تخم‌های شبیه‌تر به تخم‌های لانه، فرصت رشد و بقای بیشتری دارند. در این مدل دو نوع فاختهٔ بالغ و تخم به‌کار برده شده است.

شبه کد الگوریتم بهینه‌سازی در گام‌های زیر به‌طور خلاصه آمده است:

۱. تعیین زیستگاه اولیهٔ فاخته‌ها (جواب اولیه) با انتخاب چند نقطهٔ تصادفی روی تابع.
۲. اختصاص چند تخم به هر فاخته.
۳. تعیین شعاع تخم‌گذاری یا (ELR)[2] برای هر فاخته.

مقدار ELR برای هر فاخته با توجه به تعداد تخم‌ها و فاصلهٔ آن تا مقصد از رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید.

$$ELR = \propto \times \frac{Number\ of\ current\ cuckoo's\ eggs}{Total\ number\ of\ eggs} \times (var_{hi} - var_{low}) \qquad \text{رابطهٔ ۱)}$$

1. Brood Parasite
2. Egg Laying Radius

که در آن var_{hi} و var_{low} به‌ترتیب حداکثر و حداقل مقادیر متغیرهای تصمیم هستند. α عددی صحیح و حداکثر ELR است.

۴. تخم‌گذاری فاخته‌ها در محدودهٔ ELR مربوط به خودشان.

۵. حذف تخم‌های با مقدار تابع هدف کم.

۶. تعیین مقدار تابع هدف برای هر فاختهٔ بالغ.

۷. محدود کردن حداکثر تعداد فاخته‌های موجود در محیط.

۸. گروه‌بندی فاخته‌ها و تعیین زیستگاه برتر.

گروه‌بندی با روش دسته‌بندی k میانگین[1] انجام می‌شود، بدین شکل که k (معمولاً ۳ تا ۵) گروه در نظر گرفته شده و بر اساس محدودهٔ تغییرات تابع سود فاخته‌ها، میانگین سود هر گروه تعیین شده و هر فاخته به گروهی تعلق می‌گیرد که کمترین فاصلهٔ را با میانگین آن گروه داشته باشد.

۹. مهاجرت فاخته‌های جدید به سمت زیستگاه برتر.

در حرکت به سمت زیستگاه هدف، فاخته تمام مسیر را طی نمی‌کند، بلکه تنها λ درصد از مسیر را با انحراف φ رادیان می‌پیماید. این دو پارامتر باعث می‌شوند که نقاط بیشتری از فضای مسئله جست‌وجو شود. برای هر فاخته λ عددی تصادفی بین صفر و یک و φ عددی تصادفی بین $-\omega$ و ω است (ω حدود $\frac{\pi}{\varepsilon}$ مناسب است).

۱۰. در صورت برقراری شرایط توقف، پایان الگوریتم و در غیر این صورت رفتن به گام دوم (رجبیون، ۲۰۱۱).

الگوریتم کرم شب‌تاب

نوری که کرم‌های شب‌تاب از خود ساطع می‌کنند، می‌تواند به دلایل مختلفی همچون جذب طعمه و شکار آن، یا جذب سایر اعضای گروه (جذب جنس مخالف) و... باشد. به هر حال، این نور جذاب کرم‌های شب‌تاب، پدیدهٔ شایان توجه و جالبی است که با الهام از آن یک الگوریتم فراابتکاری توسعه داده شده است. در الگوریتم کرم شب‌تاب، کرم‌های شب‌تاب به‌صورت تصادفی در فضا حرکت می‌کنند و هرچه نور ساطع شده بیشتر باشد، جذابیت کرم شب‌تاب را بیشتر می‌کند و از طرفی با افزایش فاصله، از میزان این نور و در نتیجه از جذابیت کرم شب‌تاب کاسته می‌شود (یانگ، ۲۰۱۰). به همین دلیل یک کرم شب‌تاب با نور بیشتر ولی در فاصلهٔ بسیار دور، جذابیت کمتری برای سایر افراد گروه یا طعمه دارد. شدت نور در فاصلهٔ r به‌صورت $I = I_0 e^{-\gamma r}$ است. میزان نورانیت و جذابیت از ویژگی‌های کرم‌های شب‌تاب در الگوریتم کرم شب‌تاب است.

---

1. K-Means Clustering Method

میزان شدت نور در فاصلهٔ r یک منبع نوری نقطه‌ای که شدت نور آن I_0 است، برابر با I_0/r^2 می‌باشد که در الگوریتم کرم شب‌تاب، منبع نور نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود. با ترکیب دو فرمول جذب نور $I = I_0 e^{-\gamma r}$ و تضعیف نور $I = I_0/r^2$ رابطهٔ ۲ به‌دست می‌آید:

رابطهٔ ۲) $$I = I_0 e^{-\gamma r^2} \approx \frac{I_0}{1+\gamma r^2}$$

که در نهایت میزان جذابیت (β) به‌صورت رابطهٔ ۳ خواهد بود.

رابطهٔ ۳) $$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^m} \approx \frac{\beta_0}{1+\gamma r^m}$$

در این رابطه، m یک عدد نامنفی بوده و m = ۰ به این معناست که میزان جذابیت در هر فاصله‌ای به یک اندازه است، هرچه مقدار m بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ این است که با افزایش فاصله، از میزان جذابیت کرم شب‌تاب کاسته می‌شود (m هیچ‌گاه صفر نمی‌شود و مقدار آن را همیشه بزرگ‌تر از ۱ در نظر می‌گیرند). در رابطه‌های فوق γ تابعی از موقعیت فضایی بوده و از جنس عکس مجذور فاصله است، به همین دلیل توصیه می‌شود که به جای آن از پارامتر Γ که $\Gamma = \frac{1}{\sqrt{\gamma}}$ استفاده شود؛ زیرا Γ به موقعیت فضایی وابسته نبوده و از جنس فاصله است. بنابراین موقعیت جدید کرم شب‌تاب x_i' که موقعیت قبلی آن x_i بوده است و به سمت کرم شب‌تابی با میزان نور بیشتر که در موقعیت x_j قرار دارد، در حال جذب شدن است، به‌صورت رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود.

رابطهٔ ۴) $$x_i' = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r^m}(x_j - x_i) + \alpha \varepsilon_i$$

که در این رابطه، ε_i بردار تصادفی با توزیع یکنواخت یا گوسی و γ ضریب جذب نور است. α ضریبی است که به‌عنوان ضریب جهش شناخته می‌شود و می‌توان مقدار آن را در هر تکرار تغییر داد (کم کرد) تا الگوریتم به همگرایی برسد و این تغییر می‌تواند به‌صورت تغییرات خطی یا نمایی باشد (یانگ، ۲۰۱۰).

الگوریتم پرندگان

الگوریتم پرندگان یا بهینه‌سازی تودهٔ ذرات (PSO) یک روش جست‌وجوی مبتنی بر رفتار جمعی است که بر اساس شبیه‌سازی رفتار پرندگان شکل گرفته است. در این الگوریتم گروهی از پرندگان در فضای تصادفی به‌دنبال هدف می‌گردند. یکی از بهترین راه‌حل‌ها می‌تواند دنبال کردن پرنده‌ای باشد که کمترین فاصله را تا هدف دارد. هریک از پرندگان (ذرات) مقداری شایستگی دارند که

توسط تابع شایستگی محاسبه می‌شود و هرچه ذره به هدف نزدیک‌تر باشد، این مقدار مناسب‌تر است. همچنین ذرات سرعتی دارند که از این طریق هر ذره را هدایت می‌کنند.

در حالت کلی، هر ذره بر اساس بهترین مقدار تابع شایستگی خود (pbest) و بهترین تابع شایستگی جمعیت (gbest) هدایت می‌شود که بر اساس رابطهٔ ۵ صورت می‌گیرد.

$$x(t+1) = x(t) + V(t+1)$$ رابطهٔ ۵)

در این رابطه، $x(t)$ موقعیت فعلی پرنده؛ $V(t+1)$ سرعت هر پرنده و $x(t+1)$ موقعیت پیشروی هر پرنده است. $V(t+1)$ از طریق رابطهٔ ۷ به‌دست می‌آید.

$$V(t+1) = V(t) + C_1 r_1 (P_{Best} - P) + C_2 r_2 (G_{Best} - P)$$ رابطهٔ ۶)

در این رابطه $V(t)$ سرعت فعلی هر پرنده، P موقعیت فعلی، C_1 ضریب بهترین مقدار تابع شایستگی خود، C_2 ضریب بهترین تابع شایستگی جمعیت، r_1 و r_2 مقدار تصادفی بین ۰ و ۱ هستند (ابرهارت و کندی، ۱۹۹۵).

شبیه‌سازی مونت کارلو

به‌صورت کلی، روش مونت کارلو (یا شبیه‌سازی مونت کارلو) به هر تکنیکی گفته می‌شود که از طریق نمونه‌سازی آماری، برای مسائل کمّی پاسخ‌های تقریبی فراهم می‌کند. شبیه‌سازی مونت کارلو بیشتر برای توصیف روشی به‌منظور انتشار عدم قطعیت‌های موجود در ورودی مدل به عدم قطعیت‌ها در خروجی مدل، به‌کار می‌رود. بنابراین مونت کارلو نوعی شبیه‌سازی است که به‌طور صریح و به‌صورت کمّی، عدم قطعیت را نمایش می‌دهد. شبیه‌سازی مونت کارلو متکی به فرایند نمایش صریح عدم قطعیت با تعیین ورودی‌ها به‌عنوان توزیع‌های احتمال است. اگر ورودی‌های توصیف‌کنندهٔ یک سیستم غیرقطعی باشند، پیش‌بینی عملکرد پیش رو الزاماً غیرقطعی است؛ به این معنا که نتیجهٔ هرگونه تحلیل مبتنی بر ورودی‌های نمایش داده شده با توزیع‌های احتمال، خود یک توزیع احتمال است. مراحل مختلف این روش به شرح زیر است (توبات، ۱۹۸۲):

۱. گرفتن نمونه‌های محدودی از پارامترهای ورودی مد نظر؛
۲. تجزیه و تحلیل اطلاعات خام به‌دست‌آمده؛
۳. تخمین و تعیین نوع توزیع آماری حاکم بر نمونه‌ها و به‌دست آوردن خصوصیات آماری آن؛
۴. تولید مقادیر تصادفی برحسب نوع توزیع تطابق‌یافته و تعیین خصوصیات جدید آماری توزیع مربوط به پارامترهای ورودی؛
۵. تخمین پارامترهای مقاومت برشی با استفاده از مقادیر تصادفی تولیدشده در مرحلهٔ قبل.

تصریح مدل

در این مقاله از الگوریتم‌های پیشرفته و شبیه‌سازی مونت کارلو، اثر تکانه‌های بهره‌وری بر تولید ناخالص داخلی ایران طی سال‌های ۱۳۹۵ – ۱۳۶۵ بهینه‌یابی و شبیه‌سازی شده است. با استفاده از مطالعات زیر متغیرهای مؤثر بر تولید ناخالص داخلی تعیین شده‌اند:

رابطهٔ بهره‌وری و تولید

اقتصاددانان همواره توجه خاصی به شناسایی منابع تولید ناخالص داخلی و معرفی آنها داشته‌اند که این موضوع را می‌توان در گسترش مدل‌های رشد از دههٔ ۱۹۵۰ مشاهده کرد. تمرکز مدل‌های ابتدایی بر عوامل فیزیکی بود و پیشرفت‌های فناوری، عامل برون‌زا محسوب می‌شد. پس از آن، سرمایهٔ انسانی به‌عنوان عامل مؤثر در رشد اقتصادی و انباشت ثروت مطرح شد. در دههٔ ۱۹۸۰، در مدل‌های رشد مباحث مربوط به رشد درون‌زا مطرح شد و به سرعت، بهره‌وری و سرریزهای آن در کانون توجه اقتصاددانان قرار گرفت.

یکی از مناسب‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری بهره‌وری، روش سولو است. سولو بیان می‌کند که اگر Y معرف تولید، K و L معرف نهاده‌های سرمایه و نیروی کار در واحدهای فیزیکی و A بهره‌وری باشند، تابع تولید کل را می‌توان به شکل زیر تعریف کرد.

$$y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha}$$ رابطهٔ ۷)

رابطهٔ تورم و تولید

منحنی فیلیپس نشان‌دهندهٔ ارتباط میان میزان تورم و بیکاری است. فیلیپس به ارتباط معکوس و پایداری میان این دو متغیر رسید، به این نحو که هرگاه درصد بیکاری زیاد باشد، دستمزدها به آرامی افزایش می‌یابند و با درصد بیکاری کم، افزایش دستمزدها با شتاب بیشتری گسترش می‌یابد. اقتصاددانان به‌سرعت منحنی فیلیپس کشورهای توسعه‌یافته را برآورد کردند. اغلب آنان تورم عمومی قیمت‌ها و نه تورم دستمزدی را به بیکاری ارتباط دادند. به‌طور واضح، قیمت‌هایی که یک شرکت بر محصولات خود اعمال می‌کند، با دستمزدهای پرداخت شده توسط شرکت ارتباط نزدیکی دارد.

رابطهٔ تورم و تولید به‌وسیلهٔ منحنی فیلیپس کینزین جدید به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\dot{P}_t = W_t + \delta(Y_t - Y^*)$$ رابطهٔ ۸)

که در آن W_t درصد رشد دستمزد در سال t است. ولی کینزین جدید دستمزدها را در چارچوب قراردادهای چند دوره‌ای تعیین می‌کند. برای مثال، با فرض قراردادهای دستمزد دو ساله داریم:

رابطهٔ ۹) $$_{t-i}\dot{W}_t = {}_{t-i}\dot{P}_t$$

که در آن $_{t-i}\dot{W}_t$ نشان‌دهندهٔ انتظارات کارگران از میزان رشد دستمزد در سال t از دید سال t-i و $_{t-i}\dot{P}_t$ نیز انتظارات آنها از میزان تورم در سال t از دید سال t-i است. از این رو، وقتی سال t را در نظر می‌گیریم، در این سال نصف کارگران از ابتدای سال گذشته (یعنی در سال t −۱) و نصف دیگر در ابتدای سال t قرارداد کار و دستمزد را امضا کرده‌اند. گروه اول انتظارات تورم سال t را از زمان t −۲ و گروه دوم انتظارات تورم سال t را از زمان t−۱ شکل داده‌اند. بنابراین از دید کینزین‌های جدید، رشد دستمزد در سال t در عمل برابر است با:

رابطهٔ ۱۰) $$\dot{W} = \frac{1}{2}\left({}_{t-2}\dot{W}_t + {}_{t-1}\dot{W}\right) = \frac{1}{2}\left({}_{t-2}\dot{P}_t + {}_{t-1}\dot{P}\right)$$

در نهایت و با جای‌گذاری رابطهٔ ۱۰ در رابطهٔ ۸ داریم:

رابطهٔ ۱۱) $$\dot{P} = \frac{1}{2}\left({}_{t-2}\dot{P}_t + {}_{t-1}\dot{P}\right) + \delta(Y_t - Y^*)$$

از رابطهٔ ۱۱ مشخص است که تورم امروز به شکاف بین تولید و تولید انتظاری بستگی دارد. (شاکری، ۱۳۸۷).

رابطهٔ بیکاری و تولید بالقوه و تولید حقیقی

اوکان به بررسی و استخراج رابطهٔ میان سطوح بیکاری و تولید بالقوه و حقیقی پرداخت. در مدل اوکان، تغییر در میزان بیکاری فصلی به‌واسطهٔ تغییر در میزان رشد تولید واقعی از فصلی به فصل دیگر بررسی شده است. این رابطه به روش تفاضلی قانون اوکان معروف است که در قالب رابطهٔ ۱۲ تشریح می‌شود.

رابطهٔ ۱۲) تغییر در میزان بیکاری $= a + b \times$ (رشد تولید واقعی)

در رابطهٔ ۱۲، پارامتر a معرف میزان بیکاری در سطح اشتغال کامل (درصد بیکاری طبیعی) است و با کم کردن آن از طرفین رابطه، سمت چپ شکاف بیکاری و سمت راست شکاف GDP حقیقی را نشان خواهد داد.

اوکان با استفاده از رابطهٔ ۱۲ و داده‌های فصلی، از فصل دوم سال ۱۹۴۸ تا فصل چهارم سال ۱۹۶۰ رابطهٔ ۱۳ را به‌صورت زیر استخراج کرد.

رابطهٔ ۱۳) تغییر در میزان بیکاری = ۰/۳۰ − ۰/۳۰ × (رشد تولید واقعی)

بر اساس این تخمین، اگر در یک فصل تولید واقعی هیچ رشدی نداشته باشد، میزان بیکاری در آن فصل ۰/۳ درصد افزایش خواهد داشت.

رابطهٔ ۱۴) میزان بیکاری = $a + b \times$ (شکاف بین تولید بالقوه و تولید حقیقی)

در زمینهٔ تخمین رابطهٔ اوکان با الگوی شکاف می‌توان به مطالعهٔ سینکلر (۲۰۰۴) مراجعه کرد.

رابطهٔ بهره‌وری و تورم ـ بیکاری

برای اهداف سیاستی، منحنی فیلیپس اصلاح شده است که به جای نرخ دستمزد، میزان تورم را به بیکاری ربط می‌دهد. رابطهٔ تولید و تورم و بیکاری و بهره‌وری به‌صورت زیر است:

رابطهٔ ۱۵) $$\dot{P}_t = \dot{W}_t - \dot{Y/N}$$

رابطهٔ ۱۶) $$\dot{P}_t = P_t^e + (\alpha/u) - (\dot{Y/N})$$

که در آن، $\dot{Y/N}$ رشد بهره‌وری در اقتصاد؛ U میزان بیکاری؛ $\dot{P}_t$ تورم و $P_t^{\dot{e}}$ تورم انتظاری است (شاکری، ۱۳۸۷).

در نهایت و با توجه به مطالعات صورت گرفته تابع زیر تعیین شده است:

رابطهٔ ۱۷) $$GDP = f(\pi, u, Y_p, Pro)$$

که در آن، GDP تولید ناخالص داخلی؛ π تورم؛ U بیکاری؛ Y_P تولید بالقوه و Pro تکانه‌های بهره‌وری است. فرم پیشنهادی معادلهٔ تولید ناخالص ملی که بهینه‌یابی می‌شود، به‌صورت زیر است:

رابطهٔ ۱۸) $$GDP = \alpha_1(\pi) + \alpha_2(U) + \alpha_3(Y_P) + \alpha_4(Pro)$$

برای ارزیابی و سنجش تخمین مدل از معیار میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شد که رابطهٔ آن در زیر معرفی شده است:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(h_0 - h_s)_i^2}{n}$$ رابطهٔ ۱۹)

که در آن، h_0 مقدار واقعی؛ h_s مقدار تخمینی و همچنین n تعداد مشاهدات است.

ابتدا تکانه‌های بهره‌وری با استفاده از فیلتر هودریک ـ پرسکات (HP)[1] از داده‌های بهره‌وری محاسبه شدند. HP یک روش هموارسازی[2] سری‌های زمانی است که به‌منظور از بین بردن نوسان‌های کوتاه‌مدت و تعیین روند بلندمدت سری از طریق حداقل کردن واریانس سری در اطراف جزء دائمی آن، به‌کار می‌رود.

داده‌های بهره‌وری به‌کار گرفته‌شده (برای محاسبهٔ تکانه‌های بهره‌وری) از پسماند تخمین ارزش افزوده با متغیرهای سرمایه و جمعیت فعال و از روش OLS به‌دست آمده‌اند. نتایج این تخمین در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. نتایج تخمین ارزش افزوده

R-squared	۰/۹۰۸۳۷۶	Mean dependent var	۳۸۳۷۸۳
Adjusted R-squared	۰/۹۰۴۸۵۲	S.D. dependent var	۱۵۲۴۴۳
S.E. of regression	۴۷۰۲۲/۵۸	Akaike info criterion	۲۴/۴۲۳۴
Sum squared resid	۵/۷۵E+۱۰	Schwarz criterion	۲۴/۵۱۸۶
Durbin-Watson stat	۰/۱۴۳۳۴۹	Hannan-Quinn criter.	۲۴/۴۵۲۵

همان‌طور که گفته شد با استفاده از فیلتر هودریک ـ پرسکات (HP)، شوک بهره‌وری از پسماند تخمین بالا (بهره‌وری محاسبه شده) به‌دست می‌آید.

یافته‌های پژوهش

به‌منظور مدل‌سازی تولید ناخالص داخلی از نرم‌افزار MATLAB R2015b استفاده شد و الگوریتم‌های مدنظر به‌صورت کدنویسی در محیط این نرم‌افزار پیاده‌سازی شدند. تنظیم پارامترهای این الگوریتم‌ها بر اساس هماهنگی با مبانی نظری، با استفاده از نتایج مطالعات پیشین و همچنین (مانند سایر الگوریتم‌ها) به روش سعی و خطا صورت می‌پذیرد. مقادیر انتخاب شده برای پارامترها در جدول ۲ آورده شده است:

1. Hodrick-Prescott
2. Smoothing

جدول ۲. مقادیر انتخاب‌شده برای پارامترها

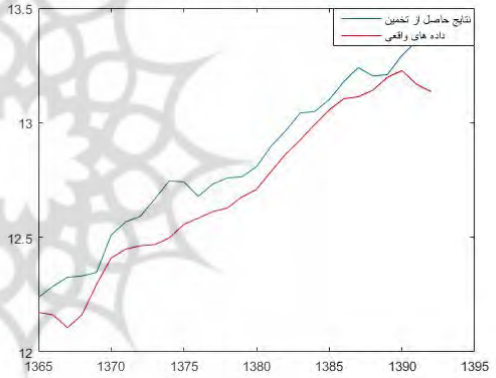
الگوریتم فاخته		
پارامتر	توضیح	مقدار
var low	حد پایین	−۱۰
var hi	حد بالا	۱۰
npop	تعداد پرندهٔ فاخته	۱۰
maxiter	حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰۰
Alpha	اندازهٔ گام	۰/۰۱
ELR	میزان شناسایی راه حل جایگزین	۰/۱
الگوریتم کرم شب‌تاب		
پارامتر	توضیح	مقدار
lb	حد پایین	−۱۰
ub	حد بالا	۱۰
npop	تعداد کرم‌های شب‌تاب	۱۰
maxiter	حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰۰
gamma	ضریب جذب نور	۱
beta0	مقدار پایهٔ ضریب جذابیت	۰/۲
alpha0	ضریب جهش	۰/۰۱
alpha_RF	عامل کاهش شعاع	۰/۹۵
الگوریتم پرندگان		
پارامتر	توضیح	مقدار
lb	حد پایین	−۱۰
ub	حد بالا	۱۰
npar	تعداد پرنده	۱۰
maxiter	حداکثر تعداد تکرار	۱۰۰۰
lbv	حد پایین سرعت	−۰/۳
ubv	حد بالای سرعت	۰/۳
r1	وزن اینرسی	۱
r2	عامل کاهش وزن اینرسی	۰/۹۹
c1	ضریب بهترین مقدار تابع شایستگی خود	۲
c2	ضریب بهترین تابع شایستگی جمعیت	۲

پس از ۱۰۰۰ بار تکرار آزمایش، نتایج برای هر یک از ضرایب به‌دست آمد که در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

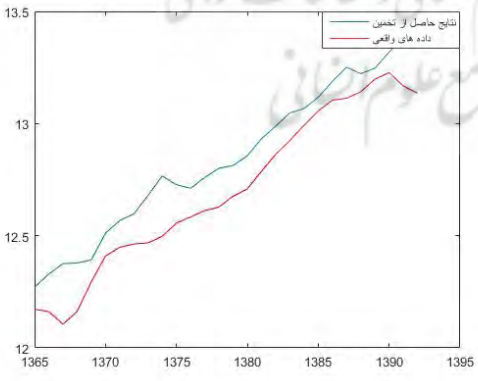
جدول ۳. نتایج به‌دست آمده از الگوریتم‌های پیشرفته

	α_1	α_2	α_3	α_4	MSE
Cuckoo	-۰/۰۰۲۹۱۰۴	۰/۰۲۰۸۵۹	-۱/۰۲۴۴	۸/۳۶۱۲e-۰۷	۰/۰۰۱۴۵۱۴
Firefly	-۰/۰۰۳۴۸۸۴	۰/۰۰۸۴۶۷۳	-۱/۰۱۳۵	۵/۵۴۲۲e-۰۷	۰/۰۰۱۹۵۱۳
PSO	-۰/۰۰۲۸۶۰۴	۰/۰۲۰۶۷۷	-۱/۰۲۴۱	۸/۲۳۹۳e-۰۷	۰/۰۰۱۴۵۱۴

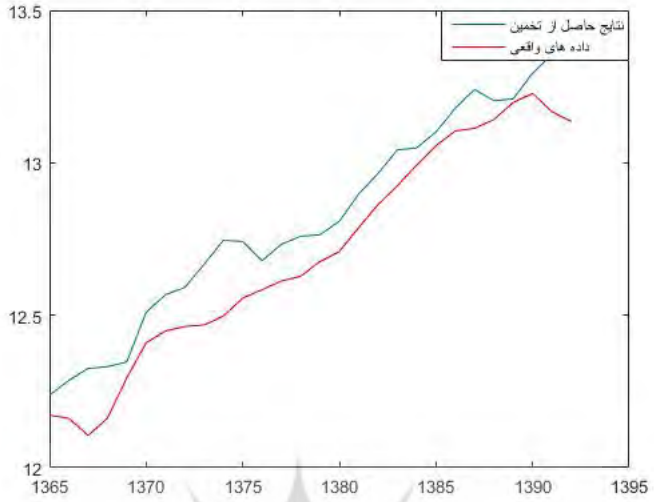
نمودارهای مقایسهٔ نتایج تخمین مدل معرفی شده (به‌وسیلهٔ سه الگوریتم فاخته، کرم شب‌تاب و پرندگان) و مقادیر واقعی در شکل‌های ۱ تا ۳ آورده شده است. در این نمودارها نتایج تخمین با رنگ آبی و مقادیر واقعی با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.



شکل ۱. نمودار تخمین الگوریتم فاخته و مقادیر واقعی



شکل ۲. نمودار تخمین الگوریتم کرم شب‌تاب و مقادیر واقعی



شکل ۳. نمودار برآورد الگوریتم پرندگان و مقادیر واقعی

شبیه‌سازی مدل

با توجه به این نکته که در اغلب موارد درجه‌های بالایی از نامعینی وجود دارد، روش‌های تحلیل احتمالاتی مانند روش شبیه‌سازی مونت کارلو می‌توانند مشکل عدم قطعیت موجود در پارامترهای مورد نیاز برای طراحی مدل را تا حد زیادی مرتفع کنند، از این رو در این مقاله با استفاده از روش تحلیل احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو به تخمین و تعیین پارامترهای مدل اقدام شد.

در نخستین گام برای تخمین پارامترهای مدل، با استفاده از روش مونت کارلو، باید بهترین تابع توزیع آماری منطبق‌شده بر پارامترهای متغیر ورودی بر اساس واقعیت انتخاب شود. تعیین تابع توزیع آماری پارامترهای ورودی به تحلیل، بر اساس سطح اطمینان مشخصی به طراح کمک می‌کند تا مقادیر دور از واقعیت پارامترهای ورودی را از جریان مطالعه و تحلیل داده‌ها حذف کند. علاوه‌بر این، جامعهٔ آماری مورد نیاز در تحلیل احتمالاتی برای محاسبهٔ خروجی‌های مد نظر را بر اساس سطح اطمینان مشخصی در اختیار طراح قرار می‌دهد. در مطالعات گذشته، اغلب تابع توزیع پارامترهای ورودی، نرمال در نظر گرفته شده بود. متغیرهای تصادفی بسته به گسسته یا پیوسته‌بودن از توابع توزیع مختلفی پیروی می‌کنند. از جمله توزیع‌های مهم و معروف در متغیرهای تصادفی گسسته، می‌توان به توزیع‌های برنولی، دوجمله‌ای، دوجمله‌ای منفی، هندسی، فوق هندسی گسسته و پواسون اشاره کرد. از مهم‌ترین توزیع‌های مربوط به متغیرهای پیوسته نیز می‌توان توزیع‌های نرمال، لاگ نرمال، گاما، وایبل، بتا، نمایی، کای اسکور، کوشی، رایلی و یکنواخت را نام برد.

با استفاده از نرم‌افزار Easy Fit Professional بهترین تابع توزیع آماری، برای متغیر مد نظر انتخاب شد. پارامترهای توزیع انتخاب‌شده در جدول ۴ آمده است.

جدول ٤. پارامترهای توزیع متغیرهای تصادفی تولید شده

نام متغیر	نماد	نام توزیع	پارامترهای توزیع
تولید ناخالص داخلی	GDP	Rayleigh	σ=۰/۵۵۴۰
			γ =۱۲/۰۰۲
تورم	π (p)	Log-Normal	σ=۰/۴۰۹۹۵
			μ=۲/۹۵۳۷
			γ=۰
بیکاری	U	Rayleigh	σ =۲/۷۳۷۴
			γ = ۸/۸۲۴۱
تولید بالقوه	Y_p	Rayleigh	σ=۰/۵۵۱۳
			γ = ۱۲/۰۰۶
شوک بهره‌وری	Pro	Rayleigh	σ = ۶۷۱۶۱/۰
			γ= −۹۴۲۶۸/۰

برای هر متغیر در هر آزمایش ۱۰۰ دادهٔ تصادفی تولید شد و این آزمایش‌ها ۵۰ بار تکرار شدند که با توجه به رویکرد الگوریتم‌های پیشرفتهٔ معرفی‌شده، میانگین ضرایب شبیه‌سازی شدهٔ پارامترهای مدل در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

جدول ۵. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی مونت کارلو

	α_1	α_2	α_3	α_4
Cuckoo	۰/۰۰۳۵۲۱۸	−۰/۰۳۸۵۶۵	−۰/۹۵۶۳۸	۶/۳۵۳۵e−۰۹
Firefly	−۰/۷۵۰۷۶	−۱/۱۴۷۶	۰/۸۱۸۴۹	۰/۱۴۵۱۶
PSO	۰/۰۰۲۷۱۸	−۰/۰۴۶۹۹۶	−۰/۹۵۰۳۲	−۳/۲۲۲۳e−۰۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مطالعه از طریق بهینه‌یابی و شبیه‌سازی (مونت کارلو) تأثیر تکانه‌های بهره‌وری بر تولید ناخالص داخلی ایران با رهیافت الگوریتم‌های پیشرفته بررسی شده است.

نتایج بررسی بهینه‌سازی و شبیه‌سازی تأثیر تکانه‌های بهره‌وری بر تولید ناخالص داخلی ایران طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۶۵ نشان می‌دهد الگوریتم‌های فاخته و پرندگان با میانگین مربعات خطای ۰/۰۰۱۴۵۱۴ دقت بسیار بالایی در تخمین ضرایب الگوی پیشنهادی داشته‌اند. برای مثال مقدار واقعی در سال ۱۳۸۶ برابر با ۱۳/۱۰۴۴۰۰۶۵ محاسبه شد که مقدار برآوردشده توسط مدل بسیار به مقدار واقعی نزدیک بوده و ۱۳/۱۷۴۶۶۴۵۷۳۰۸۳۷ به‌دست آمد. همچنین الگوریتم کرم شب‌تاب با میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۰۰۱۹۵۱۳ خطای بیشتری در تخمین ضرایب مدل دارد، اما همچنان این مقدار خطا بسیار اندک بوده و نتایج به‌دست آمده قابل اعتمادند.

شبیه‌سازی انجام‌گرفته نیز نتایج بهینه‌یابی الگوریتم‌ها را تأیید می‌کند؛ به نحوی که نتایج بهینه‌یابی اختلاف بسیار کمی با نتایج شبیه‌سازی دارند. از این حیث می‌توان گفت که نتایج بهینه‌یابی به‌دلیل میانگین مربعات خطای بسیار پایین و همچنین نزدیکی به نتایج شبیه‌سازی، از قابلیت اطمینان بالایی برخوردارند.

بر اساس این نتایج می‌توان گفت که تکانه‌های بهره‌وری تأثیر بسیار ناچیزی اما هم جهت با تولید ناخالص داخلی ایران طی دورهٔ ۱۳۹۵-۱۳۶۵ داشته‌اند و با افزایش تکانه‌های بهره‌وری، تولید ناخالص داخلی افزایش یافته است. از این دیدگاه می‌توان گفت که افزایش تولید ناخالص داخلی از راه تکانه‌های بهره‌وری امکان‌پذیر است. از متغیرهای معرفی شده، تولید بالقوه بیشترین تأثیر را در تولید ناخالص داخلی داشته است. پس از تولید بالقوه، بیکاری با تأثیر نزدیک به ۲ درصد اثر منفی (با افزایش بیکاری تولید ناخالص داخلی کاهش یافته است) و همچنین تورم با ۰/۲ درصد اثر مثبت (با افزایش تورم تولید ناخالص داخلی افزایش یافته است)، در تولید ناخالص داخلی مؤثر بوده‌اند.

فهرست منابع

امیرتیموری، س. (۱۳۹۵). نقش نیروی کار تحصیل‌کرده در رشد بهره‌وری کل عامل‌های تولید در بخش کشاورزی ایران. *فصلنامهٔ پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی*، ۸ (۳۶)، ۶۳-۵۵.

بیات، ف. (۱۳۹۳). *الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراابتکاری (همراه با کاربردهایی در مهندسی برق)*. تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی.

رجبی، ف. (۱۳۹۳). بررسی رابطهٔ بهره‌وری، تورم و تولید: مطالعهٔ موردی بخش کشاورزی ایران. *کنفرانس بین‌المللی و آنلاین اقتصاد سبز*. بابلسر، (۲۲ اردیبهشت).

رضایی، ج.، نادعلی، م.، علیزاده، ج. (۱۳۸۹). بررسی رابطهٔ علی رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی. *پژوهشنامهٔ اقتصادی*، ۱۱ (۲)، ۱۳۵- ۱۱۱.

شاکری، ع، (۱۳۸۷). *نظریه‌ها و سیاست‌های اقتصاد کلان*. تهران: نشر پارس نوبسا.

عباسیان، ع.، مهرگان، م. (۱۳۸۶). اندازه‌گیری بهره‌وری عوامل تولید بخش‌های اقتصادی کشور به روش تحلیل پوششی داده‌ها. *مجلهٔ تحقیقات اقتصادی*، (۸۷)، ۱۷۶-۱۵۳.

فطرس، م.، دهقان‌پور، م. (۱۳۹۰). تأثیر بهره‌وری بر رشد اقتصادی صنایع تولیدی ایران با رهیافت داده‌های ترکیبی. *فرایند مدیریت توسعه*، ۲۵ (۱)، ۴۴-۲۷.

فلاحی، ع.، حسین‌زاده، م.، مقدم‌نژاد، ح. (۱۳۹۱). بررسی رابطهٔ بین تغییرات بهره‌وری و اشتغال در صنعت ایران. *پژوهش‌های رشد و توسعهٔ اقتصادی*، ۲ (۸)، ۳۶-۲۳.

ولیجانی، ب. (۱۳۹۴). بررسی عوامل مؤثر بر ارتقای بهره‌وری نیروی انسانی در سازمان امور مالیاتی کشور. *پژوهشنامهٔ مالیات*، ۷۷(۲۹)، ۱۸۴-۱۶۵.

ولی‌زاده زنوز، پ. (۱۳۸۴)، بررسی بهره‌وری در اقتصاد ایران. *مجموعهٔ پژوهش‌های اقتصادی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران*، شمارهٔ ۲۴.

Abbasian, A., Mehregan, M. (2007). Measurement of productivity of production factors of the country's economic sectors by data envelopment analysis. *Economic Research Journal*, (87), 153-176. (*in Persian*)

Amir Teymuri, S., (2016). The role of the educated labor force in the growth of the productivity of total production factors in Iran's agricultural sector. *Agriculture Management Management Research Quarterly*, 8 (36), 55-63. (*in Persian*)

Bayat, F. (2014). *Superstructural optimization algorithms (along with applications in electrical engineering).* Jahad University Press, Tehran. (*in Persian*)

Eberhart, J., Kennedy, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *In Proceedings IEEE International Conference on Neural Networks*.

Fallahi, A., Hosseinzadeh, M., Moghaddam Nejad, H. (2012). Investigating the relationship between productivity and employment changes in Iranian industry. *Economic Growth and Development Research*, 2 (8), 23-36. (*in Persian*)

Faulkner, D. & Makrelov, K. (2009*). Productivity-raising interventions for the South African economy: a cge analysis*. The ecomod, university of Ottawa.

Fetros, M., Dehghanpour, M. (2011). Effect of Productivity on Economic Growth of Iranian Manufacturing Industries by Combined Data Approach. *Development Management Process*, 25 (1), 27- 44. (*in Persian*)

Han, G., Kalirajan, K. & Singh, R. (2003). "Santa". Efficiency and Economic Growth: East Asia and the Aest of the world 1005. Center for Cruz Center for

International Economic. *Working paper Series International Economics*, UC Santa Cruz.

Jajri, I. (2011). Total Factor Productivity and Output Growth in Malaysian. *Research Journal of Applied Sciences*, 5(1), 63-76.

Kinyondo, G. & Mabugu, M. (2008). The general equilibrium effects of a productivity increase on the economy and gender in south africa. *South African journal of Economic and Management*, 12(3), 307-326.

Liang, C. (2001), Measuring Total Factor Productivity in Republic of China, Measuring Total Factor Productivity, Tokyo: Asian Productivity Organization, 26(3), 15-29.

Rajabi, F. (2014). Study of the relationship between productivity, inflation and production: A case study of Iran agricultural sector. *International Green Economy Online Conference*. Babolsar, (May 22). (*in Persian*)

Rajabioun, R. (2011). Cuckoo optimization algorithm. *Applied soft computing*, 11(8), 508- 518.

Rezaei, J., Nadali, M., Alizadeh, J. (2010). Investigating the relationship between the growth of total factor productivity and economic growth. *Economic Research*, 11 (2), 111-135. (*in Persian*)

Robert, P.C. & Casella, G. (2004). *Monte Carlo statistical methods*. 2nd edG. Springer-verlag, New York.

Sahay, B.S. (2005). Multi-factor productivity measurement model for service organization. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(1), 7-22.

Scherngell, T., Borowiecki, M. & Hu, Y. (2014). Effects of knowledge capital on total factor productivity in China: A spatial econometric perspective. *China Economic Review*, 29, 82-94.

Shakeri, A.S. (2008). *Theories and macroeconomic policies*. Pars Newspaper Publishing, Tehran. (*in Persian*)

Sinclair, T. (2004). *Permanent and Transitory Movements in Output and Unemployment: Okun's Law Persists.* Manuscript, Washington University in st. Louis.

Tobutt, D. (1982). Monte Carlo simulation methods for slope stability. *Computers & Geosciences*, 8(2), 199-208.

Vali Jani, B. (2015). Investigating the Factors Affecting the Promotion of Human Resources Productivity in the Organization of Tax Affairs of the Country. *Tax Committee*, 77 (29), 165-184. (*in Persian*)

Valizadeh Zenuz, P. (2005). A Study of Productivity in Iran's Economy. The Economic Research Center of the Central Bank of the Islamic Republic of Iran, 24th. (*in Persian*)

Yang, X.-S., (2010). Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimization. *International Journal of Bio-inspired Computation*, 2(2), 78-84.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی