تأثیر آزادسازی تجاری بر رشد تولید ناخالص ملی سبز در ایران
الگوریتم‌های جستجوی گرانشی و کرم شب‌تاب

ناهید پورفریدونی* ، حسین اکبری فرد ، امین قاسمی نژاد*****

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۱

چکیده

تولید ناخالص ملی یکی از متغیرهای عمده کلان اقتصادی است. اما این تولید تنها ارزش بازاری کالاها و خدمات نهایی تولید شده در اقتصاد را در برمی‌گیرد و اثرات منفی زیست محیطی را در برنمی‌گیرد. از طرف دیگر، در نتیجه آزاد سازی تجاری، حجم فعالیت های اقتصادی گسترش یافته و استفاده از منابع و انرژی به شکل نامناسبی افزایش می‌یابد. به همین دلیل از دیدگاه نظری، اثبات شده است که GDP معیار مناسبی برای اندازه گیری رفاه اقتصادی نمی‌باشد. همواره معیار هایی برای محاسبه درآمدملی جهت رفع این نارسایی مطرح شده است؛ که از جمله این معیارهای اندازه گیری، تولید ناخالص داخلی سبز است. در این مطالعه، به منظور ارزیابی تأثیر آزادسازی تجاری برتولید ناخالص داخلی سبز، از روش الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب تاب در دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۱ استفاده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی تأثیر آزادسازی تجاری، نشان می‌دهد که این متغیر، تأثیر مثبت و معناداری بر تولید ناخالص داخلی سبز دارد. بنابراین، با توجه به تأثیر مثبت آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز، این متغیر به عنوان یک متغیر کاهش دهنده آلودگی شناخته شده است؛ بدین معنی که افزایش مراودات تجاری در ایران، به بهبود کیفیت زیست محیطی منجر می شود.

کلید واژه: تولید ناخالص داخلی، تولید ناخالص داخلی سبز، آزادسازی تجاری، الگوریتم جستجوی گرانشی، الگوریتم کرم شب‌تاب

طبقه‌بندی JEL: Q51, B22

*-کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه شهید باهنر کرمان (نویسنده مسئول)
npourfereidooni.economic@yahoo.com
** -استادیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه شهید باهنر کرمان
hakbarifard@mail.uk.ac.ir
***- کارشناس ارشد اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت دانشگاه شهید باهنر کرمان
amin.ghasemieco@gmail.com

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، اهمیت نقش محیط‌زیست در فعالیت‌های اقتصادی و نیز رفاه جوامع بشری سبب گردید که موضوع تلفیق هم‌زمان موارد زیست‌محیطی و آزادسازی تجاری در یک سیستم ادغام‌شده حسابداری مورد توجه بسیاری از اقتصاددانان قرار گیرد. به عبارتی، آزادسازی تجاری به عنوان شاخص جهانی‌شدن می‌تواند بر تولید ناخالص داخلی سبز تأثیر بگذارد؛ زیرا هدف عمده تولید ناخالص داخلی سبز، اندازه‌گیری شاخص‌هایی است که معیار دقیق و درستی از رفاه اقتصادی را فراهم می‌آورند و نرخ رشد تولید ناخالص داخلی سبز به عنوان معیار پیشرفت اقتصادی بر مبنای نظام حساب‌های ملی متعارف تعیین می‌شود و حساب درآمد ملی سرانه غالباً به عنوان شاخصی از رفاه، هم برای نشان دادن نرخ پیشرفت در طی زمان و هم، برای مقایسه وضعیت رفاهی کشورهای مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با سبز کردن حساب‌های ملی، می‌توان به جای تولید ناخالص ملی، معیار تولید ناخالص ملی سبز را به دست آورد. اگرچه غالباً آزادسازی تجاری به عنوان عامل مثبت و مؤثر در افزایش رفاه مطرح می‌شود، اما طی چند دهه اخیر در برخی از کشورها، تجارت رو به رشد، بدون در نظر گرفتن ملاک‌ها و استانداردهای زیست‌محیطی و صرفاً به منظور دسترسی به بازار محصولات سایر کشورها تحت فناوری‌های غیردوستانه با محیط‌زیست، آلودگی‌های فراوانی از جمله انتشار دی اکسید کربن را در پی داشته است (عاقلی و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از نقایص حساب‌های ملی این است که، خسارت زیست‌محیطی را در محاسبه درآمد ملی به حساب نمی‌آورند. بر این اساس، چارچوب حساب‌های ملی نمی‌تواند تأثیر آزادسازی تجاری بر تحولات زیست‌محیطی را روی رفاه و درآمد اندازه بگیرد. توجه به موضوع GDP سبز، نگرشی است که ما را قادر می‌سازد به اهمیت حفظ محیط‌زیست و استفاده از روش‌های بهینه، استفاده منطقی از منابع و حفظ و نگهداری محیط‌زیست بیشتر بیاندیشیم؛ به‌طوری‌که یکی از مسائل اثرگذار بر محیط‌زیست، آزادسازی تجاری است. در واقع، یکی از مسیرهایی که کشورهای مختلف

جهان در راستای افزایش تجارت خارجی خود طی می‌نمایند، روی آوردن به آزادسازی تجاری است که با پارامتر درجه باز بودن اقتصاد، بر مبنای جریانات تجاری است که در آن، نسبت مجموع صادرات، واردات و یا نرخ‌های رشد آن‌ها به تولید ناخالص داخلی مدنظر می‌باشد. در نظام اقتصاد بین‌الملل، هر اندازه حجم تجارت خارجی و مبادلات سرمایه‌ای کشورها با اقتصاد جهانی بیشتر باشد، به نسبت حجم تولیدات داخلی، اصطلاحاً، آن اقتصاد را بازتر می‌خوانند. شاید از اصطلاح اقتصاد باز، این مفهوم به ذهن متبادر می‌شود که در چنین اقتصادی، مانعی بر سر راه ورود و خروج کالاها و سرمایه‌ها وجود ندارد؛ درحالی‌که باز بودن، مفهومی نسبی است. باز بودن کامل اقتصاد، به معنای نبود هیچ نوع محدودیتی بر سر راه جریان کالاها و خدمات و حتی سرمایه است (برقی اسگویی، ۱۳۸۷).

در سال‌های اخیر، استفاده از الگوریتم‌های جستجوی هیوریستیک (شهودی) همچون الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچه‌ها، الگوریتم پرندگان و... در علوم مختلف رشد چشمگیری داشته است. الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)[1] یکی از جدیدترین روش‌های بهینه‌سازی در این حوزه است. این الگوریتم با الهام از نیروی جاذبه و نیروی گرانش در طبیعت معرفی شده است که در حال حاضر، کاربرد این الگوریتم به عنوان بخشی از هوش مصنوعی در علوم مختلف به سرعت در حال گسترش است. الگوریتم کرم شب‌تاب هم یک الگوریتم فرا ابتکاری می‌باشد که با الهام از رفتار ساطع کردن نور کرم‌های شب‌تاب به دست آمده است. هدف اولیه کرم شب‌تاب از ساطع کردن نور به مانند یک سیستم علامت‌دهی برای جذب کرم‌های شب‌تاب دیگر است. از نظر کاربردی این دو الگوریتم از بهترین روش‌های بهینه‌سازی مسائل هستند و به همین جهت، می‌توان برای نخستین بار استفاده از این دو الگوریتم در زمینه آزادسازی تجاری را، نوعی نوآوری بیان کرد.

1. Gravitational search Algorithm

بر این اساس، هدف اصلی مقاله، پاسخ به این پرسش است که آیا آزادسازی تجاری و تولید سبز در ایران با هم ارتباط دارند یا خیر؟ برای پاسخ به این پرسش، چارچوب مقاله به این صورت خواهد بود که پس از مقدمه، در بخش دوم، به پیشینه تحقیق اشاره می‌شود. بخش سوم، به معرفی متغیرهای کلان اقتصادی، مبانی‌نظری اقتصادی و الگوریتم‌های فراابتکاری منتخب اختصاص دارد که به مدل‌سازی تولید ناخالص سبز با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و جستجوی گرانشی می‌پردازد و در نهایت در بخش چهارم، نتیجه‌گیری و پیشنهادها بحث شده است.

۲. پیشینه تحقیق

در زمینه آزادسازی تجاری و تولید سبز، مطالعاتی در ادبیات داخلی و جهانی صورت گرفته است که در این بخش، به برجسته‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود.

از مهم‌ترین مطالعات انجام شده در ادبیات داخلی، می‌توان به مطالعه عاقلی و صادقی (۱۳۸۲)، اشاره نمود که در مقاله‌ای تحت عنوان "تولید سبز و روش‌های محاسبه آن"، ضمن اشاره به نقایص سیستم حسابداری ملی در توجه به محیط‌زیست و منابع طبیعی با ذکر مطالعات تجربی از احتساب استهلاک منابع طبیعی در حساب‌های ملی، اهمیت هم‌کنش محیط‌زیست و اقتصاد را مورد توجه قرار می‌دهند و سپس با ارائه یک مدل کینزی، روندGDP سبز را مشخص می‌کنند.

در این مقاله، طی یک الگو، روند تغییراتGDP سبز به طور ریاضی و نموداری تحلیل و برای محاسبه هزینه زیست‌محیطی، تحلیل هارتویک در سه سطر استفاده شده است. روش‌های کاربرد محاسبه استهلاک منابع طبیعی شامل ارزش‌افزوده فعلی و رانت‌های آینده از منابع روش قیمت خالص می‌باشد که در عمل، یک روش یا ترکیب آن‌ها قابل استفاده است.

رحیمی بروجردی (۱۳۸۵)، در مقاله‌ای، به بررسی درجه باز بودن تجاری و رابطه آن با رشد اقتصادی در پاره‌ای از کشورهای درحال‌توسعه می‌پردازد. در این مقاله، درجه باز

بودن تجاری، از طریق آزمون‌های اقتصاد سنجی و با استفاده از مدل آزمون‌های داوریک موردتحقیق قرار می‌گیرد. نتایج کاربردی حاصل از تصریح ساده فرم مدل اولیه برای سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۶۰ در مورد ۷۴ کشور درحال‌توسعه و توسعه یافته، به صورت مقطعی مدنظر قرار گرفت که نتایج نشان داد که یک رابطه مثبت میان درجه باز بودن تجاری و رشد اقتصادی وجود دارد.

عاقلی و همکاران (۱۳۸۹)، به مطالعه اثر باز بودن اقتصاد بر تخریب زیست‌محیطی در ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۵۳ پرداختند و برای برآورد مدل، از آزمون دوربین واتسون رگرسیون هم‌جمعی (CRDW)[1] و آزمون (RACH)[2] استفاده کردند. نتایج مدل، حاکی از آن است که باز بودن اقتصاد بر تخریب محیط‌زیست اثرگذار است و افزایش درجه باز بودن و آزادسازی تجاری، تخریب محیط‌زیست را در همان دوره ۰/۶۵ درصد افزایش می‌دهد.

زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۱)، طی مقاله‌ای، به بررسی تأثیر آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز در ایران پرداختند. در این بررسی، به منظور ارزیابی تأثیر آزادی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز، از روش الگوی خودتوضیح‌برداری با وقفه‌های توزیعی و داده‌های سری زمانی در سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۵۷ استفاده کردند. نتایج برآورد مدل، دلالت بر این دارد که افزایش آزادسازی تجاری، به افزایش تولید ناخالص داخلی سبز منجر می‌شود.

فطرس، نجارزاده و پیروزمحمدی (۱۳۹۱)، به بررسی رابطه آلودگی هوا، شدت انرژی و باز بودن اقتصاد ایران پرداختند. این تحقیق که در دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۵۷ انجام شد، نشان داد که در بررسی ارتباط پویایی متغیرها، یک رابطه مثبت بین انتشار دی اکسید کربن و شدت انرژی، باز بودن اقتصاد و تولید ناخالص داخلی (با یک وقفه) وجود دارد.

1. Co-integration regression Durbin Watson
2. Autoregressive conditional heteroscedasticity

جلائی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی تأثیر شوک‌های نفتی بر تولیدسبز در ایران پرداختند. در این مطالعه، شوک نفتی از روش فیلتر هودریک-پرسکات، استخراج و الگوی خود رگرسیون برداری، تصحیح خطای برداری برآورد گردیده است. نتایج نشان داد که در کوتاه‌مدت، تأثیر شوک نفتی بر تولید سبز منفی بوده است. علاوه بر این، بر اساس نتایج آزمون یوهانسن، تأثیر شوک نفتی بر تولید سبز در بلندمدت، مثبت بوده است.

در ادبیات جهانی، مطالعات گسترده‌تری در این زمینه انجام شده است. گروسمن و کروگر[1] (۱۹۹۵)، در مطالعه‌ای، به این نتیجه رسیدند که محیط‌زیست، علاوه بر اثرپذیری از تحولات اقتصاد داخلی، در معرض تغییرات در عرصه تجارت خارجی نیز قرار دارد. این تعامل محیط‌زیست با تجارت خارجی، عمدتاً از طریق آزادسازی تجاری صورت می‌گیرد. روش استاندارد در بررسی اثرات آزادسازی تجاری بر روی محیط‌زیست، و تجزیه این اثرات به سه اثر مقیاس، اثر ترکیب و اثر تکنیک است.

همیلتون و لوتز[2] (۱۹۹۶)، در مطالعه‌ای، به این نتیجه رسیده‌اند که اندازه GDP جمع کل تولیدات اقتصادی بر پایه مطالعات در بازار است. در نتیجه، GDP استهلاک منابع طبیعی را پنهان کرده و یک تصویر ناقص از هزینه‌های تحمیلی توسط تولیدکنندگان آلودگی در فعالیت‌های اقتصادی معرفی می‌کند. تولید ناخالص ملی و درآمد ملی و فراتر از آن، تولید خالص ملی سبز را نسبت به GDP برای اندازه‌گیری پایداری بهتر دانسته، بنابراین، سیاست‌هایی را برای دستیابی به توسعه پایدار هدایت می‌کنند.

فرانکل و رز[3] (۲۰۰۵)، به بررسی تأثیر تجارت بر محیط‌زیست در یک سطح مشخص تولید ناخالص سرانه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تجارت بیشتر، به تولید بیشتر

1. Grossman and Krueger (1995)
2. Hamilton and Lutz (1996)
3. Frankel and Rose (2005)

منجر شده و در نهایت، آلودگی افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق، فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس را تأیید می‌نماید، به‌گونه‌ای که می‌توان گفت: رشد اقتصادی، وضعیت محیط‌زیست را در سطوح پایین درآمدی بدتر کرده و در سطوح بالای درآمد، بهبود می‌بخشد.

لی و همکاران[1] (۲۰۱۱)، طی مقاله‌ای با عنوان "انتخاب و ارزیابی استراتژی‌های تولید سبز" به این نتیجه رسیده‌اند که انتخاب و ارزیابی استراتژی‌های تولید سبز، یک فرآیند حیاتی اما سخت است که به وسیله شرایط پویا و نامطمئن، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این مقاله، مدل‌های تحلیلی به شناخت ساختار و حل مسئله کمک می‌کند، از طرف دیگر، مدل‌های شبیه سازی، جریان واقعی تولید و منطق تصمیم تحت شرایط پویا و نامطمئن را توسعه می‌بخشد. شبیه سازی با روش تحقیق، حل بهینه را فراهم می‌کند. طراحی مدل روی ساختار قوی، جریان فرآیند تصمیم را از نوع کاربرد تولید سبز به طور مناسب نشان می‌دهد.

امروزه توجه به کاربرد روش‌های هوش مصنوعی و ابزارهای مدل‌سازی در حوزه علوم انسانی به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است. در زمینه الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) و الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) می‌توان گفت که الگوریتم‌هایی مانند شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان و منطق فازی از موضوعاتی بوده‌اند که توجه بسیاری از دانشگاهیان و محققان را به خود جلب کرده است. الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم جستجوی گرانشی از تکنیک‌های جدید در مسائل اقتصادی و روش‌های پیش‌بینی هستند. این الگوریتم‌ها از ابزارهای ایده‌آلی هستند که علاوه بر بهره‌برداری از آمار، به جنبه‌های ذهنی نیز توجه می‌نمایند و بر اساس داده‌هایی که به آن‌ها داده می‌شود، می‌توانند الگوها و روندها را بیاموزند (بیات و باقری، ۱۳۹۶). در حوزه مطالعات داخلی الگوریتم کرم شب‌تاب، می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود.

1. Li *et al.* (2011)

رضوی و احمدی شادمهری (۱۳۹۴)، به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای برق بخش خدمات با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته پرداخته‌اند. این محققان، تابع تقاضای برق بخش خدمات را با دو الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته طی دوره ۱۳۹۲- ۱۳۶۷ برآورد کردند. نتایج این تحقیق، نشان داد که بین قیمت برق و مصرف آن در بخش خدمات، رابطه غیرمستقیم وجود دارد، و به عبارتی دیگر، کشش قیمتی خودی برق در بخش خدمات ناچیز است.

اکبری فرد و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته و به کارگیری متغیرهای تأثیرگذار بر تورم، از جمله حجم نقدینگی، نرخ ارز، نرخ بهره حقیقی، تورم انتظاری و تولیدات صنعتی طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۵۴ به مدل‌سازی تورم به صورت خطی و غیرخطی پرداخته‌اند. نتایج تحقیق گویای آن است که مدل غیرخطی برای مدل‌سازی تورم مناسب‌تر است و الگوریتم کرم شب‌تاب نسبت به الگوریتم فاخته، نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد و با توجه به دقت مدل غیرخطی مدل‌سازی شده توسط الگوریتم کرم شب‌تاب، می‌توان به منظور پیش‌بینی تورم در آینده از آن استفاده نمود. موسوی و غلامی (۱۳۹۷) با استفاده از الگوریتم ترکیبی عصبی کرم شب‌تاب و روش رگولاسیون بیزین، قیمت سهام را پیش بینی نموده‌اند. نتایج حاکی از آن است که شبکه عصبی بهینه‌شده با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و همچنین آموزش داده شده با استفاده از روش رگولاسیون، دارای عملکرد بسیار مناسبی جهت تخمین قیمت بسته شدن سهام در بازار بورس ایران می‌باشد.

در حوزه مطالعات خارجی الگوریتم کرم شب‌تاب، می‌توان به مطالعه یاکوب کارا و همکاران (۲۰۱۱)، اشاره نمود که مدلی مبتنی بر الگوریتم ترکیب عصبی کرم شب‌تاب و ماشین بردار پشتیبان بر مبنای داده‌های بازار سهام استانبول جهت پیش‌بینی قیمت سهام ارائه نمودند. در نهایت، مشخص گردید که روش الگوریتم ترکیب عصبی، دارای دقت بیشتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. الگوریتم جستجوی گرانشی، روشی جدید از دسته الگوریتم‌های جستجوی ابتکاری می‌باشد و به دلیل برتری‌ای که

بر دیگر الگوریتم‌ها دارد، یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌ها در علوم مختلف است. این الگوریتم قدرتمند که با الهام از قانون گرانش طبیعت، پیشنهاد شده است، یک رهیافت نوین برای حل مسائل بهینه‌سازی است (امامی میبدی و همکاران، ۱۳۹۲).

در حوزه مطالعات داخلی الگوریتم جستجوی گرانشی، می‌توان به مطالعات ذیل اشاره نمود.

جلائی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای، به بررسی تأثیر تکانه‌های نفتی بر رشد اقتصادی ایران با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی گرانشی و بهینه‌سازی انبوه ذرات طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۵۳ پرداخته‌اند. نتایج تحقیق، نشان داد که متغیرهای تکانه مثبت نفتی، نسبت سرمایه به تولید، و نسبت مخارج دولت به تولید ناخالص داخلی، جمعیت فعال و درجه باز بودن اقتصاد بر رشد اقتصادی ایران، دارای تأثیر مثبت و متغیرهای نرخ ارز و نرخ تورم، دارای تأثیر منفی بر رشد اقتصادی می‌باشند. پس به طور کلی، تأثیر تکانه‌های نفتی بر رشد اقتصادی ایران، مثبت می‌باشد. این موضوع، می‌تواند در تصمیم سازی های اقتصادی، دارای اهمیت ویژه باشد.

بهبودی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی، با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب‌تاب، به بررسی اثر اقتصاد دانش‌بنیان بر رشد تولیدات در ایران در طول دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۵۳ پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که اقتصاد دانش‌بنیان و ابعاد آن، اثرات مثبت و معناداری بر رشد تولیدات داخلی اقتصادی دارند.

در زمینه مطالعات خارجی و همچنین برای تأیید و برتری الگوریتم جستجوی گرانشی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها از نظر سرعت و قدرت همگرایی و همچنین دقت بالای آن در برآورد و پیش‌بینی، می‌توان به مطالعات راشدی و همکاران (۲۰۰۷) و همچنین بهرنگ و همکاران (۲۰۱۱) اشاره نمود. در هر دو مقاله برتری کامل الگوریتم جستجوی گرانشی نشان داده شده است.

۳. مبانی نظری

۱-۳. بررسی مدل

طی دهه‌های اخیر، مسائل زیست‌محیطی از جنبه‌های مختلفی مورد توجه قرار گرفته است. در اواخر دهه ۷۰، مسائل مربوط به تجارت و محیط‌زیست اوج گرفت و طرفداران محیط‌زیست در اعتراض به وضعیت اسفناک محیط‌زیست ناشی از توسعه روزافزون تجارت، مخالفت‌ها و نشست‌های گسترده‌ای در نقاط مختلف جهان ساماندهی کردند؛ به‌طوری‌که در اوایل سال ۱۹۹۰ مفهوم جدیدی به نام تولید سبز مطرح شد. در راستای مفهوم GDP سبز، کیفیت محیطی و نابرابری درآمدی مطرح می‌شود که به دست آوردن اعداد دقیق آن برای درآمد ملی پایدار، عملی مشکل و هزینه‌بر است که می‌توان از اندازه‌گیری شاخص‌هایی که شرایط لازم برای پایداری را ارائه می‌دهد، استفاده نمود.

برای این منظور، از مدل پایه‌ای اقتصادسنجی که برگرفته از مبانی نظری، مطالعه تجربی و تحقیق و مطالعات جلائی اسفندآبادی و همکاران (۱۳۹۲) استفاده شده است؛ که از شاخص استهلاک سرمایه طبیعی جهت محاسبه تولید ناخالص سبز استفاده کرده‌اند؛ به این صورت که D_N استهلاک سرمایه طبیعی است و اگر استهلاک سرمایه انسانی را با D_M نشان دهند، GDP سبز به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$GDPgrn=GDP - DM - DN \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، D_M استهلاک سرمایه انسان‌ساخت و D_N استهلاک سرمایه طبیعی است. هدف این است که سرمایه انسانی جایگزین سرمایه طبیعی شود. GNP سبز، درآمد پایدار را نشان می‌دهد. طبق تعاریف کینز و هاتلینگ درآمد دائمی یک کالای سرمایه‌ای، درآمد ملی پایدار است، اگر تمام مواهب زیست‌محیطی ازدست‌رفته به واسطه سرمایه‌گذاری احیا شود که اگر یک نتیجه مثبت استهلاکی ایجاد کند، به این نتیجه خواهیم رسید که درآمد پایدار، اختلاف بین فایده اقتصادی $(GNP-D_M)$ و استهلاک سرمایه طبیعی (D_N) است:

$$ENP=Y(t)=GNP(t)–D_M(t)–D_N(t) \quad (۲)$$

که در آن،ENP تولید ناخالص زیست‌محیطی و GNP تولید ناخالص ملی است. در این صورت، داریم:

$$GNP(t) – D_M(t) = \alpha(t) + \beta(t)\, Y(t) \quad (۳)$$

که در آن،Y درآمد ملی، α و β پارامترها را نشان می‌دهند. در واقع، اگر تابع مصرف به شکل زیر نشان داده شود:

$$(4)\ C(t) = c+\beta(t)Y(t) \quad (۴)$$

که در آن، C تابع مصرف و c مصرف مستقل است؛ و خواهیم داشت:

$$GDP(t)-D_M(t)=C(t)+\beta(t)Y(t)+i_g(t)-D_M(t)+G(t)+(X-M)(t) \quad (۵)$$

که در آن،i_g سرمایه‌گذاری ناخالص، G مخارج دولت، X صادرات و M واردات را نشان می‌دهد. اگر $D_N=F[GNP(t) – D_M(t)]$ باشد که $F>0$ و $F'>0$ است، می‌توان به عنوان مثال، شکل تبعی زیر را در نظر گرفت:

$$D_N=e^{\gamma}(t)GNP(t)–D_M(t)=e^{\gamma}(t)[\alpha(t)+\beta(t)Y(t)] \quad (۶)$$

γ ضریبی است که به این صورت تعریف می‌شود:

$$\gamma(t)=\frac{LnD_{M(t)}}{GNP(t)-D_{M(t)}} \quad (۷)$$

که D_N به صورت رو به رو، محاسبه می‌شود:

$$D_N=R(P-C) –X= R(P-C)/(1+r)^T \quad (۸)$$

که X نشان دهنده درآمد پایدار حاصل از استخراج و T طول عمر منبع با فرض یک نرخ ثابت استخراج است. بر این اساس، می‌توان مدل زیر را برای ایران تخمین زد:

$$ENP= F(L,K,IFN,IIT) \quad (۹)$$

که در اینجا ENP رشد تولید ناخالص سبز،L نیروی کار، K موجودی سرمایه ثابت، IFN نرخ رشد تورم و IIT شاخص آزادسازی تجاری است. این شاخص، همان شاخص گروبل- لوید است که ادغام جهانی یک بخش را اندازه‌گیری کرده و به صورت زیر است:

$$IIT=1-[\,|\,M-X\,|\,/(X+M)] \quad (۱۰)$$

مقدار شاخص IIT، بین صفر و یک می‌باشد که صفر نشان دهنده نبود تجارت درون بخشی است. از آنجایی که در حال حاضر، دسترسی به داده‌های استهلاک امکان‌پذیر نیست، برای محاسبه ENP، طبق بررسی لاسو و همکاران[1](۲۰۰۱)، به صورت زیر عمل می‌شود:

$$ENP = GDP - CO_2 \qquad (۱۱)$$

۲-۳. الگوریتم‌های جستجوی ابتکاری

امروزه روش‌های نوینی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده‌های مختلف ابداع گشته است که الگوریتم‌های تکاملی[2] در میان این روش‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. 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 این الگوریتم‌ها که از ویژگی‌هایی همچون هوشمندی مبتنی بر معرفت و خبرگی برخوردار هستند، استفاده می‌شود. الگوریتم‌های تکاملی با الهام از طبیعت، یک ساختار جمعیتی ایجاد کرده و بر اساس قوانینی، آن‌ها را نمو می‌دهند. در این روش، به هر فرد در جمعیت، بر اساس تابع شایستگی و بر اساس موقعیت آن در محیط، یک مقدار شایستگی نسبت داده می‌شود و سپس براساس قوانین معین، عملگرهای مختلف بر روی هر فرد برای ارتقا و بهبود نتیجه، اعمال می‌گردد. اگرچه این روش از دیدگاه زیستی بسیار ساده‌انگارانه به نظر می‌رسد، اما یک سازوکار جستجوی انطباقی بسیار قدرتمند و کارا ایجاد می‌کند که قادر به یافتن پاسخ بهینه در بسیاری از مسائل پیچیده می‌باشد (یانگ، ۲۰۰۸)[3]. در این مطالعه، از بین الگوریتم‌های

1. Lasso *et al.* (2001)
2. Evolutionary Algorithms
3.Yung (2008)

تکاملی، الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب‌تاب را مورد استفاده قرار می‌گیرند که در اینجا به مبانی نظری آن‌ها اشاره می‌گردد.

۱-۲-۳. الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی گرانشی

الگوریتم جستجوی گرانشی، یکی از جدیدترین اعضاء خانواده الگوریتم‌های هوش‌جمعی است که از قوانین جاذبه میان اجرام و حرکت نیوتنی الهام گرفته است. طبق قانون جاذبه نیوتن، هر جسم به اجسام دیگر نیرو وارد نموده و آن‌ها را به سمت خود جذب می‌کند. بنابراین هرچه این اجسام بزرگ‌تر و نزدیک‌تر باشند، تأثیر این نیرو بیشتر خواهد بود. در نتیجه، هر جسم با استفاده از نیروی جاذبه، محل و مقدار جرم، سایر اجسام را درک می‌کند. بنابراین، می‌توان از این نیرو به عنوان رسانه‌ای برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از الگوریتم جستجوی گرانشی، در حل مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در این الگوریتم، پاسخ‌های مورد نظر، اجرام در فضای مسئله هستند، میزان اجرام نیز با توجه به تابع هدف تعیین می‌شود. در ابتدا، مشخص می‌شود که فضای سیستم شامل یک دستگاه مختصات چندبعدی در فضای تعریف مسئله است. پس از تشکیل سیستم، قوانین حاکم بر آن مشخص می‌شوند. فرض می‌شود تنها قانون جاذبه و قوانین حرکت بر این سیستم حاکم هستند. صورت کلی این قوانین، تقریباً شبیه قوانین طبیعت است و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

سیستم به صورت مجموعه‌ای از m جرم تصور می‌شود. موقعیت هر جرم می‌تواند جوابی برای مسئله باشد. موقعیت بعد d از جرم i با $x_i^d(t)$ نشان داده می‌شود.

$$X_i = \left(x_i^1, \ldots, x_i^i, \ldots x_i^n\right) \quad i=1,2,\ldots n \quad (۱۲)$$

n در رابطه بالا، نشان دهنده بعد فضای پاسخ است. در این سیستم، به هر جرم i در زمان t، از سوی جرم j در جهت بعد d نیرویی به اندازه $f_{ij}^d(t)$ وارد می‌شود. مقدار این نیرو طبق رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود. G(t) ثابت گرانش در زمان t و R_{ij} فاصله بین دو

جرم i و j می‌باشد. برای تعیین فاصله بین اجرام مطابق رابطه (۱۴) از فاصله اقلیدوسی (نرم ۲) استفاده می‌شود.

$$F_{ij}^{d}(t) = G(t)\frac{M_i(t).M_j(t)}{R_{ij}(t)+\varepsilon}\left(x_j^d(t) - x_i^d(t)\right) \quad (۱۳)$$

$$R_{ij}(t) = \left\| X_i(t), X_j(t) \right\|_2 \quad (۱۴)$$

در رابطه (۱۳)، εیک عدد بسیار کوچک است. نیروی وارد بر جرم i در جهت d در زمان t برابر مجموع نیروهایی است که k جرم برتر جمعیت، بر جرم وارد می‌کنند. مقصود از اجرام برتر، عامل‌هایی هستند که دارای برازندگی بیشتری باشند.

$$F_i^d(t) = \sum_{j \in kbest,\, j \neq i} rand_j(t) * F_{ij}^d(t) \quad (۱۵)$$

در رابطه فوق،kbest بیانگر مجموعه k جرم برتر جمعیت است. همچنین در این رابطه،$rand_j$ عددی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [۱-۰] است که برای حفظ خصوصیت تصادفی بودن جستجو، در نظر گرفته می‌شود. طبق قانون دوم نیوتن، هر جرم در جهت بعد d شتابی می‌گیرد که متناسب است با نیرویی وارد بر جرم در آن جهت، بخش بر جرم i. رابطه (۱۶) شتاب جرم i در جهت بعد d در زمان t را با$a_i^d(t)$ نشان می‌دهد.

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_i(t)} \quad (۱۶)$$

سرعت هر جرم، برابر مجموع ضریبی از سرعت فعلی جرم و شتاب جرم، طبق رابطه (۱۹) تعریف می‌شود. موقعیت جدید بعد d از جرم i طی رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$V_i^d(t+1) = rand_i * V_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (۱۷)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + V_i^d(t+1) \quad (۱۸)$$

$$G(t) = \beta^{-\alpha\frac{t}{T}} \quad (۱۹)$$

در رابطه زیر، جرم عامل‌ها بر مبنای تابع هدف تنظیم می‌شود، به گونه‌ای که به عامل‌های با شایستگی بیشتر، جرم بیشتری نسبت داده می‌شود

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (۲۰)$$

در این رابطه، $fit_i(t)$ بیانگر میزان برازندگی جرم i در زمان t است. est(tb) و worst(t) به ترتیب، بیانگر شایستگی قوی‌ترین و ضعیف‌ترین عامل جمعیت در زمان هستند. در نهایت، اندازه جرم عامل‌ها طبق رابطه (۲۱) نرمالیزه می‌شود.

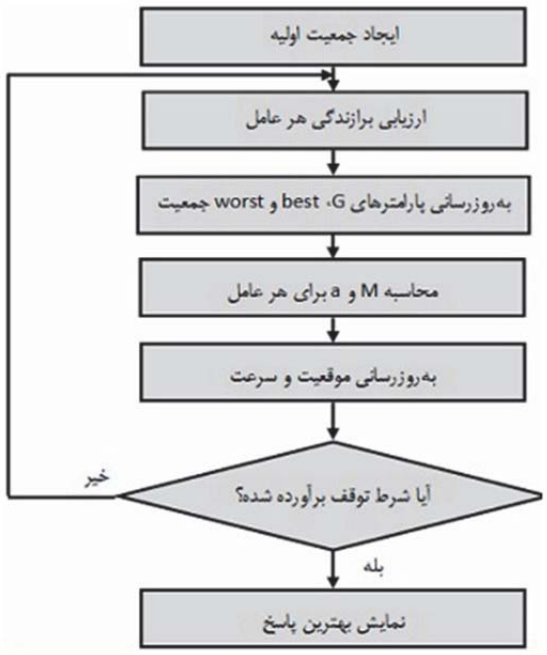
$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^{n} m_j(t)} \quad (۲۱)$$

در مسائل کمینه‌یابی می‌توان از روابط زیر برای محاسبه بهترین و بدترین عامل‌ها استفاده کرد.

$$best(t) = \min\{fit_i(t)\} \quad (۲۲)$$

$$worst(t) = \max\{fit_i(t)\} \quad (۲۳)$$

نمودار ۱. روند نمای الگوریتم جستجوی گرانشی



منبع: راشدی و همکاران (۲۰۰۹)

۲-۲-۳. الگوریتم کرم شب‌تاب[1]

الگوریتم کرم‌شتاب برای نخستین بار توسط یانگ در سال ۲۰۰۸ ارائه شد. الگوریتم کرم شتاب یک الگوریتم فرا ابتکاری می‌باشد که با الهام از رفتار ساطع‌کردن نور کرم‌های شب‌تاب به دست آمده است. هدف اولیه کرم شب‌تاب از ساطع کردن نور به مانند یک سیستم علامت‌دهی برای جذب کرم‌های شب‌تاب دیگر است. در سال ۲۰۰۹ مقایسه این الگوریتم با الگوریتم پرندگان۲ و الگوریتم ژنتیک۳ مشخص کرد که این الگوریتم برای پیدا کردن نقطه بهینه عمومی۴ در برخی کاربردهای مورد آزمون قرار

1. Firefly Algorithm (FA)
2. Birds Algorithm (BA)
3. Genetic Algorithm (GA)
4. Particle Swarm Optimization (Pso)

گرفته، از کارآیی بهتری برخوردار است. پدیدآورنده الگوریتم کرم شب‌تاب در سال ۲۰۱۰، نتایج آزمون‌های انجام پذیرفته دیگری بر روی این الگوریتم را منتشر و علاوه بر اعتبار بخشیدن به این الگوریتم، سرعت رسیدن به جواب آن را نیز مورد بررسی قرار داد که در آزمون‌های انجام شده، سرعت الگوریتم بالاتر از سایر الگوریتم‌ها ارزیابی شد. در این الگوریتم، تابع هدف به سادگی می‌تواند با مقدار روشنایی کرم‌های شب‌تاب متناسب شود. از طرف دیگر، روشنایی کرم‌های شب‌تاب می‌تواند توسط یک راه‌حل ساده با قابلیت کارآیی در الگوریتم‌های ژنتیک یا الگوریتم BFA[1] تعریف شود. فرایند بهینه‌سازی این الگوریتم، از تغییرات شدت نور و جذابیت استفاده می‌نماید. جذابیت یک کرم شب‌تاب بر اساس درخشندگی یا شدت نور تعیین می‌شود که از تابع هدف به دست آمده است. در ساده‌ترین حالت برای مسائل بهینه‌سازی که در آن، مقدار بیشینه تابع هدف به دست می‌آید، بیشینه روشنایی "I"یک کرم شب‌تاب در مکان منحصر به فرد X می‌تواند مقدار روشنایی با تابع هدف متناسب شود $(I(x) \propto f(x))$. با این حال، جذابیت "β" کاملاً نسبی است و باید در چشمان ناظر دیده شود و یا توسط کرم‌های شب‌تاب دیگر، قضاوت شود. بنابراین، جذابیت با مسافت r_{ij} بین کرم شب‌تاب i و کرم شب‌تاب j تغییر می‌کند. شدت نور با افزایش فاصله از منبع‌اش کاهش می‌یابد و نور در محیط نیز جذب می‌شود، بنابراین باید اجازه داده شود، جذابیت با درجه جذب تغییر کند. در ساده‌ترین حالت، شدت نور $I(r)$ با مسافت r به طور پیوسته و نمایی تغییر می‌کند. بیان ریاضی تغییرات شدت، در رابطه (۲۴) آمده است.

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \qquad (۲۴)$$

که درآن I_0 شدت نور اولیه و γ ضریب جذب نور می‌باشد. میزان جذب کرم شب‌تاب با شدت نوری که از کرم‌های شب‌تاب اطراف ساطع می‌شود، متناسب است. اکنون می‌توان مقدار جذابیت یک کرم شب‌تاب β را طبق رابطه (۲۵) تعریف کرد.

1. Bacterial Foraging Algorithm

$$\beta = \beta_0 = e^{-\gamma r x^2} \quad (۲۵)$$

که در آن، β_0 مقدار جذابیت در مسافت صفر است. فاصله بین هر دو کرم شب‌تاب j و i در X_i و X_j را می‌توان از مختصات کارتزین طبق رابطه (۲۶) به دست آورد.

$$r_{ij} = \| X_i - X_j \| = \sqrt{\sum_{k=1}^{n} (X_{i,k} - X_{j,k})^2} \quad (۲۶)$$

$X_{i,k}$ جزء k از کرم شب‌تاب i است. در این الگوریتم، کرم‌های شب‌تاب به سمت کرم‌های با جذابیت بیشتر حرکت می‌کنند. در هر مرحله، میزان جابه‌جایی کرم جذب‌شده i به‌سوی کرم شب‌تاب جذاب‌تر (روشن‌تر) j، از رابطه (۲۷) تعیین می‌شود.

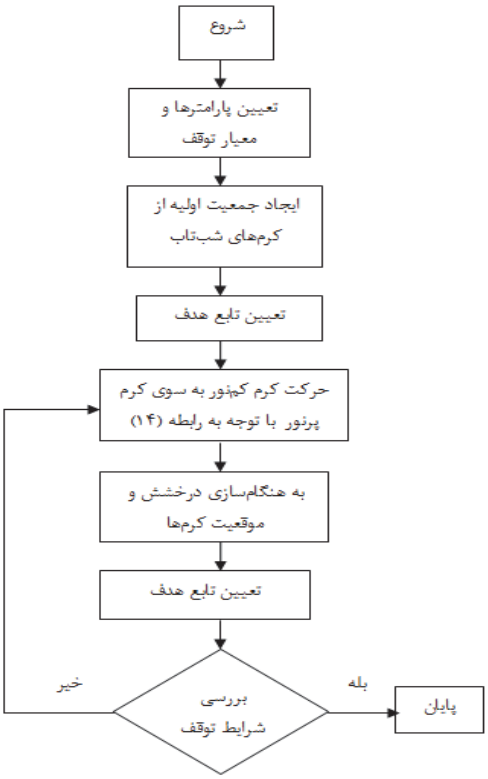
$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_i - x_j) + \alpha \varepsilon_i \quad (۲۷)$$

قسمت دوم رابطه، با جذب در ارتباط است، در حالی که قسمت سوم، تصادفی است که با بردار تصادفی، تغییر، و از توزیع نرمال، تبعیت می‌کند. در بیشتر کاربردها، می‌توان مقادیر $\gamma = ۱$، $\beta_0 = ۱$ و $\alpha \in [0,1]$ را در نظر گرفت. علاوه بر این، اگر تفاوت در مقادیر اندازه‌ها در ابعاد مختلف وجود داشته باشد، به عنوان مثال، اگر تغییرات در یک بعد از $۱۰^{-۵}$ تا $۱۰^{۵}$ و در دیگر ابعاد از $۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{۳}$ باشد، یک ایده مناسب جایگزینی α با αS_k است که S_k بردار مقیاس‌دهی برای اجزای پارامترهای ورودی به الگوریتم است.

در مقاله حاضر، نرمال کردن کلیه پارامترهای ورودی در بازه باعث $[-1,1]$ شده تا علاوه بر افزایش سرعت آموزش و کاهش خطا در شبکه عصبی، همسان‌سازی داده به وجود آمده در اثر نرمال‌سازی، باعث شده تغییرات در ابعاد مختلف، همسان شود. پارامتر γ تغییر جذابیت را مشخص می‌کند و مقدار آن، مشخص‌کننده تعیین سرعت همگرایی و چگونگی رفتار الگوریتم کرم شب‌تاب است. در تئوری $\gamma \in [0, \infty)$ اما در عمل $\gamma = 0$ یا $\gamma = 1$ توسط سیستمی که باید بهینه شود، تعیین می‌گردد. در نهایت، زمانی که $\gamma = 0$، جذابیت ثابت است: $\beta = \beta_0$ در واقع مانند این است گفته شود که شدت نور در یک فضای ایده‌آل کاهش نمی‌یابد. بنابراین، یک کرم شب‌تاب روشن، می‌تواند در هر جایی از ناحیه دامنه دیده شود. ازاین‌رو، یک نقطه بهینه (معمولاً بهینه عمومی)،

می‌تواند به راحتی قابل‌دسترس شود که مطابق با یک حالت خاص الگوریتم پرواز پرندگان است. همچنین این امکان وجود دارد که با تنظیم γ بتوان چندین نقطه بهینه مختلف را (در صورت وجود چندین نقطه بهینه) طی تکرارهای مشابه پیدا کرد. در حقیقت، با افزایش پارامتر γ جذابیت کم‌رنگ‌تر شده، لذا کرم‌ها به سمت بهینه‌های محلی جذب نمی‌شوند. در صورت چندین نقطه بهینه در فضایی که کرم‌ها رها می‌شوند، در صورتی که تعداد کرم‌ها به شکل قابل توجهی از نقاط بهینه بیشتر باشد، هیچ نقطه بهینه‌ای از چشم کرم‌ها دور نخواهد ماند.

نمودار ۲. روند نمای الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب



منبع: یانگ (۲۰۰۸)

۳-۳. برآورد الگو و تفسیر نتایج

این پژوهش، به‌دنبال بررسی تأثیر آزادسازی تجاری بر رشد تولید ناخالص ملی سبز در ایران است، لذا هدف اصلی مقاله، به کارگیری روش‌های غیرخطی در این بررسی می‌باشد. از آنجایی که در دوره مورد بررسی، ایران صادرات و واردات داشته، پس تا حدی به سمت جهانی‌شدن پیش رفته است. برای اندازه‌گیری میزان جهانی‌شدن و آزادسازی تجاری، شاخص‌های چندی مانند شاخص سطح تجارت جهانی، شاخص باز بودن اقتصاد و شاخص ادغام تجاری وجود دارد که میزان آزادسازی تجاری و جهانی‌شدن را نشان می‌دهند که در این تحقیق، بر پایه بررسی جلائی اسفندآبادی و همکاران (۱۳۹۱)، از شاخص ادغام تجاری با فرمول $IIT=1-[|M-X|/(X+M)]$ استفاده شده است، که در آن، X و M به ترتیب، صادرات و واردات در بخش مورد بررسی هستند. پس از آنکه میزان آزادسازی تجاری با شاخص ادغام تجاری اندازه‌گیری شد، تولید ناخالص داخلی سبز بنا بر بررسی لاسو و همکاران (۲۰۰۱)، بر پایه انتشار سرانه دی اکسید کربن به دست آمده است.

حال پس از محاسبه تولید ناخالص داخلی سبز، به بررسی تأثیر آزادسازی بر تولید ناخالص سبز پرداخته شده است. طبق بررسی تالبرت[1] (۲۰۰۶)، سطح تولید ناخالص داخلی سبز در هر نقطه‌ای از زمان با مدل رشد سولو بیان می‌شود، این مدل، میزان تولید واقعی را تابعی از میزان موجودی سرمایه، شمار نیروی کار و عامل‌های دیگری مانند تورم و اقتصاد باز که بهره‌وری منابع را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌داند (سولو[2]، ۱۹۵۶). به طور کلی، بر اساس یافته‌های منکیو و همکاران (۱۹۹۲)، تالبرت (۲۰۰۶)، جلائی اسفند آبادی و همکاران (۱۳۹۱) و زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۲)، مدل تولید ناخالص سبز را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$ENP = A_0(L)^{\alpha_1}(K)^{\alpha_2}(INF)^{\alpha_3}(IIT)^{\alpha_4} \quad (28)$$

1. Talberth and others (2006)
2. Solow (1956)

که متغیرهای مورد استفاده در این مدل، عبارت‌اند از:

ENP: رشد تولید ناخالص سبز است (بر حسب میلیارد دلار). به عبارت دیگر، با احتساب محیط‌زیست و یا سبز کردن حساب‌های ملی، تفسیر حساب‌های ملی متعارف تعدیل و از GNP سنتی به GNP سبز تبدیل می‌شود. GNP سبز در واقع، GNP تعدیل‌شده بر مبنای دارایی‌های زیست‌محیطی است. مفهوم GNP سبز بر اساس محاسبات تولید ناخالص داخلی متعارف با رویکرد زیست‌محیطی ارائه شده است؛ بدین معنی که در این مفهوم، هزینه‌هایی که صرف حفظ محیط‌زیست و منابع طبیعی می‌شود، از کل تولید ناخالص داخلی کسر و GNP سبز به دست می‌آید.

A_0: مقدار ثابت،L: نیروی کار (بر حسب هزار نفر)،

K: موجودی سرمایه ثابت (بر حسب میلیارد دلار)،

INF: نرخ رشد تورم (بر حسب درصد)،

IIT: شاخص آزادسازی تجاری (بر حسب میلیارد دلار) است.

لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده، از بانک جهانی طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۱ به دست آمده است. برای برآورد این مدل، با دو الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب‌تاب از نرم‌افزار MATLAB به منظور برنامه‌نویسی دو الگوریتم استفاده شده است. از نظر کاربردی، این دو الگوریتم از بهترین روش‌های بهینه‌سازی مسائل هستند و به همین جهت می‌توان از این الگوریتم‌ها در برآورد مدل مورد نظر استفاده کرد.

مدل برآورد شده با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی ((GSA به صورت زیر است:

$$ENP = 1.3352(L)^{0.2238}(K)^{0.02144}(\inf)^{0.2986}(Iit)^{0.071} \quad (۲۹)$$

مدل برآورد شده با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب (FA) به شکل زیر می‌باشد:

$$ENP = 1.2251(L)^{0.1876}(K)^{0.01167}(\inf)^{0.1952}(Iit)^{0.065} \quad (۳۰)$$

هر دو مدل برآورد شده نشان می‌دهند که متغیرهای نیروی کار، موجودی سرمایه و شاخص آزادسازی تجاری بر رشد تولید ناخالص سبز ایران، دارای تأثیر مثبت می‌باشند و متغیر نرخ تورم دارای تأثیر منفی بر رشد تولید ناخالص سبز می‌باشد. برای ارزیابی عملکرد دو مدل برآورد شده از طریق دو الگوریتم، از چهار معیار میانگین مجذور خطا (MSE)[1]، جذر میانگین انحراف معیار (RMSE)[2]، میانگین درصد خطای مطلق (MAPE)[3] و میانگین خطای مطلق (MAE)[4] استفاده گردیده است. این معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

جدول ۱. معیارهای ارزیابی و انتخاب مدل

میانگین مربع خطای استاندارد	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y - \hat{y})^2}{n}$
مجذور میانگین مربع خطای استاندارد	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y - \hat{y})^2}{n}$
میانگین قدر مطلق خطا	$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left\lvert\frac{y - \hat{y}}{y}\right\rvert}{n}$
میانگین درصد قدر مطلق خطا	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lvert y - \hat{y}\rvert}{n}$

منبع: گجراتی (۱۳۹۳)

در روابط فوق، n نشانگر تعداد مشاهدات است. با بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از برآورد مدل فوق توسط الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) و الگوریتم کرم شب‌تاب (FA)، نتایج زیر به دست آمد:

1. Mean Square Error
2. Root of Mean Square Error
3. Mean Absolute Percent Error
4. Mean Absolute Error

جدول ۲. مقایسه عملکرد مدل‌های برآورد شده با الگوریتم جستجوی گرانشی *GSA* و الگوریتم *FA*

الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)				الگوریتم کرم شب‌تاب (FA)				الگوریتم
MAE	MAPE	RMSE	MSE	MAE	MAPE	RMSE	MSE	معیار
۰,۰۷۳۰	۰,۹۵۲۰	۱,۸۹۶۸	۳,۵۹۸۲	۱,۹۶۱۱	۲,۱۳۵۱	۲,۸۷۱۶	۸,۲۴۶۵	نتایج

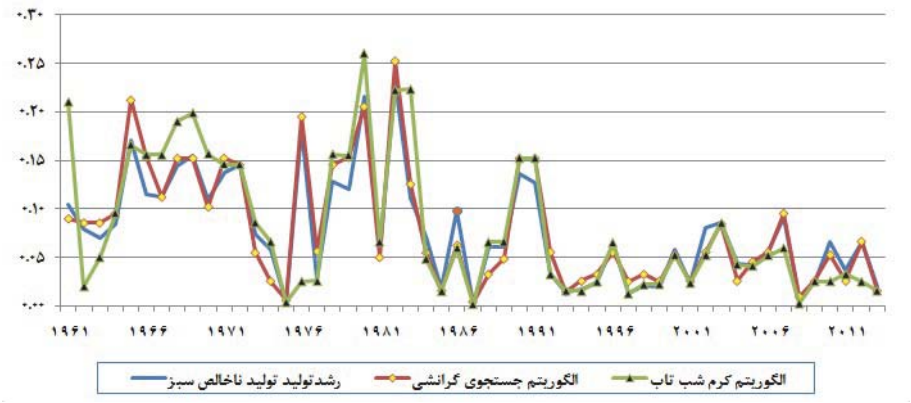
منبع: محاسبات تحقیق

با توجه به جدول (۲)، نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که خطای برآورد مدل، همواره در الگوریتم GSA کمتر از الگوریتم کرم شب‌تاب بوده است. بنابراین، برای بررسی تأثیر آزادسازی تجاری بر رشد تولید ناخالص ملی در ایران، مدل برآورد شده با روش الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)، مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا هدف اصلی مطالعه، برآورد بهترین مدل است، بر این اساس با استفاده از چهار معیار خطای مذکور، بهترین ضرایب ممکن برای تابع تخمین زده شده با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) به دست آمده است.

بنابراین، همان‌طور که از ضرایب مدل بهینه برآورد شده، با استفاده از روش الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) مشخص است، متغیرهای نیروی کار، موجودی سرمایه و شاخص آزادسازی تجاری بر رشد تولید ناخالص سبز تأثیر مثبت می‌گذارند. به طور کلی، افزایش تولید و رشد اقتصادی به عنوان یکی از هدف‌های اصلی اقتصاد کلان کشور، دارای اهمیت ویژه‌ای است. به عبارتی، افزایش نیروی کار، موجودی سرمایه و آزادسازی تجاری، به افزایش تولید ناخالص داخلی سبز منجر می‌شود؛ اما با توجه به مقدار ضرایب، تولید ناخالص داخلی سبز نسبت به هر یک از متغیرهای الگو، بی‌کشش است. متغیر نرخ تورم، دارای تأثیر منفی بر تولید ناخالص سبز می‌باشد.

تورم یکی از متغیرهای مهم اقتصادی است که همواره مورد توجه جدی اقتصاددانان و سیاست‌گذاران می‌باشد. به‌عبارتی، اصل تورم پدیده نامطلوب اقتصادی است که هزینه‌های بسیاری بر جامعه تحمیل می‌کند. تورم در سطوح بالا، علاوه بر آنکه نظام قیمت‌ها را مختل می‌کند، موجب کاهش پس‌اندازها، از بین رفتن انگیزه‌های سرمایه‌گذاری و فرار سرمایه از بخش‌های واقعی و در نهایت، کندشدن تولید ناخالص داخلی می‌شود. شایان یادآوری است که تولید ناخالص داخلی سبز و تولید ناخالص داخلی معمولی، هر دو طی زمان افزایش می‌یابند، اما میزان عددی تولید ناخالص داخلی سبز به دلیل وارد شدن متغیر CO_2 و حذف آلودگی‌ها، همیشه کمتر از تولید ناخالص داخلی معمولی است.

نمودار (۳) نشان دهنده دقت مدل غیرخطی شبیه‌سازی‌شده توسط الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب‌تاب است.



نمودار ۳. مدل غیرخطی شبیه‌سازی‌شده توسط الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب‌تاب

منبع: محاسبات تحقیق

گروسمن و کروگر (۱۹۹۵) در مطالعه‌ای، اثرگذاری‌های آزادسازی تجاری روی وضعیت محیط‌زیست را به سه تأثیر مقیاس، تأثیر ترکیب و تأثیر فناوری تفکیک کردند. نتایج این تحقیق، گویای آن است که به دنبال آزادسازی تجاری، اگر تأثیر فناوری بر تأثیر مقیاس و تأثیر ترکیب غالب شود و یا اگر تأثیر فناوری همراه با تأثیر ترکیب بر تأثیر مقیاس غالب شود، در آن صورت، آزادسازی تجاری، به نتایج زیست‌محیطی مثبت منجر می‌شود.

برقی اسگویی (۱۳۸۷)، به بررسی اثرگذاری‌های آزادسازی تجاری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای با استفاده از روش اثرگذاری‌های ثابت و تصادفی برای کشورهای منتخب پرداخته است. نتایج برآورد مدل، نشانگر این واقعیت است که رابطه منفی بین شاخص آزادسازی تجاری و انتشار دی اکسید کربن وجود دارد. این بدان معنی است که گسترش آزادسازی تجاری سبب بهبود وضعیت محیط‌زیست از نظر انتشار دی اکسید کربن می‌شود.

مهرجردی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور ارزیابی تأثیر آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز ابتدا از شاخص‌های توسعه پایدار انسانی حساس به آلودگی جهت برآورد نیازهای اولیه مدل استفاده کردند. پس از محاسبه تولید ناخالص داخلی سبز، نتایج به دست آمده نشان داد که بین آزادسازی تجاری و تولید ناخالص داخلی سبز، یک ارتباط مثبت وجود دارد و در نهایت، برآورد مدل رابطه مثبت و معنی‌دار میان آزادسازی تجاری و تولید ناخالص داخلی سبز را نشان داد.

به عبارت دیگر، افزایش درآمد باعث افزایش تقاضای کیفیت محیط‌زیست می‌شود و این به معنی پذیرش معیارها و ضوابط حفاظتی زیست‌محیطی است. از سویی با توجه به اینکه کشورهای درحال‌توسعه اغلب صادرکننده مواد اولیه هستند، آزادسازی تجاری، به ایجاد فرصت‌های مناسب‌تری برای صادرات در این کشورها از جمله ایران منجر می‌شود. ایران کشوری با منابع نفت و گاز فراوان است، لذا آزادسازی تجاری می‌تواند با صادرات بیشتر این منابع طبیعی و افزایش سهم واردات کالاهای مربوط به صنایع کمتر

آلاینده از کل واردات، بر انتشار آلاینده‌های تولیدی، تأثیر منفی بر جای گذارد (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۲).

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طی دو دهه اخیر، دستیابی به استانداردهای زیست‌محیطی و به تعبیری، رعایت ملاحظات زیست‌محیطی در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این موضوع در حوزه اقتصاد نیز با رویکردی خاص مورد توجه بوده و می‌باشد. یکی از موضوعاتی که در این حوزه مطالعات مختلفی را به خود اختصاص داده، ارتباط میان آزادسازی تجاری و تولید ناخالص ملی سبز است. اگرچه از دیدگاه اقتصاددانان، آزادسازی تجاری به عنوان عامل مثبت و مؤثری در رشد اقتصادی و افزایش رفاه مطرح است. اما در برخی از کشورها، تجارت روبه‌رشد بدون در نظر گرفتن ملاک‌ها و استانداردهای زیست‌محیطی و به منظور دسترسی به بازار محصولات سایر کشورها، به استفاده گسترده و ناصحیح از منابع و انرژی، منجر شده و آلودگی‌های فراوانی در جهان ازجمله انتشار گاز دی‌اکسیدکربن داشته است. مطالعه حاضر با استفاده از الگوریتم‌های منتخب فراابتکاری جستجوی گرانشی و کرم شب‌تاب و داده‌های سالیانه طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۱ به بررسی تأثیر آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز در اقتصاد ایران پرداخته است. نتایج به دست آمده با محاسبه شاخص‌های صحت پیش‌بینی مدل، MAE و RMSE با یکدیگر مقایسه گردید. مقایسه نتایج مدل‌سازی توسط هر دو مدل، نشان داد که الگوریتم جستجوی گرانشی دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب می‌باشد. بر اساس مبانی نظری در خصوص اقتصاد محیط‌زیست، تولید ناخالص ملی به عنوان یکی از عوامل اساسی مؤثر بر انتشار آلایندگی و کیفیت محیط‌زیست مطرح است. با توجه به تأثیر مثبت آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز، این متغیر به عنوان یک متغیر کاهش‌دهنده آلودگی شناخته شده است؛ بدین معنی که افزایش مراودات تجاری در ایران (در قالب مدل برآورد شده)، منجر به بهبود کیفیت

زیست‌محیطی می‌شود. همچنین با توجه به اهمیت قوانین و ضوابط زیست‌محیطی کشور در میزان مخاطرات زیست‌محیطی، در این تحقیق، تلاش گردیده است که در قالب یک متدولوژی معین، این موضوع در مدل مربوطه لحاظ شود. نتایج، تأثیر مثبت آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز را نشان می‌دهد. این نتیجه، می‌تواند دستاوردهای قابل توجهی را برای کشور به همراه داشته باشد و چنانچه کشور در حال طی نمودن مسیر توسعه می‌باشد، با شناخت کامل از وضعیت حاکم برخود و در قالب وضع ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی، می‌تواند فرآیند توسعه را با هزینه زیست‌محیطی کمتری طی نماید. لازم به یادآوری است که نتایج این تحقیق، با بررسی‌های پیشین (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۲؛ اسکویی، ۱۳۸۷؛ پژویان و همکاران، ۱۳۸۶، و تالبرت و بوهارا، ۲۰۰۵[1]) همخوانی دارد.

منابع

- اکبری‌فرد، حسین؛ قاسمی‌نژاد، امین و رضائی جعفری، مریم (۱۳۹۶). مدل‌سازی عوامل مؤثر بر نرخ تورم در اقتصاد ایران با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته. فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، ۳: ۱۶۸-۱۴۳.
- امامی‌میبدی، علی؛ آماده، حمیده و معمارزاده، عباس و قاسمی‌نژاد، امین (۱۳۹۲). کاربرد الگوریتم جستجوی گرانشی و مدل واریانس ناهمسانی شرطی خود توضیحی تعمیم‌یافته در مدل‌سازی قیمت نفت تک محموله ایران. فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۱۴: صفحات ۲۳-۱.
- برقی اسگویی، محمد مهدی (۱۳۸۷). آثار آزادسازی تجاری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن) در منحنی زیست‌محیطی کوزنتس. مجله تحقیقات اقتصادی، ۳: ، صفحات ۲۱-۱.
- بهبودی، داود؛ میرانی، نینا و محرم جودی، نازیلا (۱۳۹۴). بررسی اثر اقتصاد دانش‌بنیان بر رشد تولیدات در ایران با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی و الگوریتم کرم شب‌تاب. فصلنامه سیاست‌گذاری و پیشرفت اقتصادی، ۸: ۹۳-۶۵.
- بیات، علی و باقری، زینب (۱۳۹۶). پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب. فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۳۵: ، صفحات ۱۴۵-۱۳۵.

1. Talbert & Bohara (2005)

- پژویان، جمشید و مرادحاصل، نیلوفر (۱۳۸۶). بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا. فصلنامه پژوهشهای اقتصادی، ۴: ۱۶۰-۱۴۱.
- جلائی اسفندآبادی؛ سیدعبدالمجید و عباسی، فاطمه و قاسمی، محبوبه (۱۳۹۱). تأثیر شوک‌های نفتی بر تولید سبز در ایران. فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و انرژی، ۵: ۱۰۵-۸۱.
- جلائی اسفندآبادی، سیدعبدالمجید؛ قاسمی نژاد، امین و کریمیان، علی‌اکبر (۱۳۹۲). بررسی تأثیر تکانه‌های نفتی بر رشد اقتصادی ایران با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی گرانشی و بهینه‌سازی انبوه ذرات. فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۷: ۱۲۹-۱۱۳.
- رحیمی بروجردی، علیرضا (۱۳۸۵). بررسی درجه باز بودن تجاری در کشورهای درحال‌توسعه. پژوهشنامه اقتصادی، ۴: ۱۸۲-۱۶۳.
- رضوی، سید علی و محمد طاهر احمدی شادمهری (۱۳۹۴). بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای بخش خدمات با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب و الگوریتم فاخته. فصلنامه اقتصاد و الگوسازی، ۱۷ و ۱۸: ۱۳۴-۱۱۱.
- زارع مهرجردی، محمدرضا؛ اسماعیلی علیائی، نعیمه و ضیاآبادی، مریم (۱۳۹۲). تأثیر آزادسازی تجاری بر تولید ناخالص داخلی سبز در ایران. مجله اقتصاد کشاورزی،۳: ۴۰-۲۷.
- عاقلی، لطفعلی و حسین صادقی (۱۳۸۲). تولید سبز و روش‌های محاسبه آن. مجله منابع طبیعی ایران، ۱: ۹۲-۸۳.
- عاقلی، لطفعلی و همکاران (۱۳۸۹). مطالعه اثر باز بودن اقتصاد بر تخریب زیست‌محیطی در ایران. راهبرد (بخش ویژه بررسی‌های اقتصادی)، ۵۷: ۲۱۶-۱۹۷.
- فطرس، محمدحسن؛ نجارزاده، ابوالفضل و پیروز محمدی، فهیمه (۱۳۹۱). بررسی رابطه میان آلودگی هوا، شدت انرژی و باز بودن اقتصاد ایران. مجله اقتصادی- دوماهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی، ۱۱ و ۱۲: ۲۲-۵.
- گجراتی، دامودار (۱۳۹۳). مبانی اقتصاد سنجی، دکتر حمید ابریشمی، جلد دوم، چاپ دهم، تهران، دانشگاه تهران.
- موسوی، سید علیرضا و غلامی، افسانه (۱۳۹۷). استفاده از الگوریتم ترکیبی عصبی کرم شب‌تاب و روش رگولاسیون بیزین جهت پیش‌بینی قیمت سهام. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۳۶: ۳۲۱-۲۹۵.

- Frankel, J.A. and Rose, A. (2005). Is Trade Good or Bad for the Environment Sorting out the Casality. The Review of Economics and Statistics, 87: 85-91.
- Grossman, G.M., &Krueger, A.B. (1995). Economic growth and the environment. Quarterly of Economics, 110(2): 353-357.
- Hamilton,K, and E. Lutz (1996). Environmentally Sustainable Development. The World Bank: 1- 53.
- Kara, Y.؛ Boyacioglu, M. A., & Baykan, Ö. K. (2011). Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange. Expert Systems with Applications, 38: 5311-19.
- Lasso de la Vega, M.C., &Urrutia, A.M. (2001). HDPI: a framework for pollution-sensitive human development indicators. Environment, Development and Sustainability (3), 199-215.
- Li, Binran; Yang, W.; Chen, Z.; Pan, Y. and M. Zhou (2011). Selection and Evaluation of Green Prodution Strategies: Analytic and Simulation Models, Journal of Cleaner Prodution, 26: 9-12.
- Mankiw, G.; Romer, D., & Weil, D. (1992). A contribution to the empirics of economic growth. Quarterly Journal of Economics 107: 407-437.
- Rashedi, E; Nezamabadipour, H and Saryazdi, S (2009). GSA, A Gravitational Search Algorithm. Information Sciences, 179: 2232- 2248.
- Solow, R.M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. Quarterly Journal of Economics, 70: 65-94.
- Talberth, J. & Bohara A. (2006). Economic openness and green GDP. Ecological Economics, 58: 743-758.
- Word Development Indicators (WDI) Data Base (2010).
- Yang, X. S. (2008). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. Luniver press.