

فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران / شماره ۱۰ / بهار ۸۱

برآوردی از اقتصاد سیاه در ایران با استفاده از منطق فازی

اکبر احمدی*

تاریخ ارسال: ۸۰/۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۸۱/۴/۱۱

چکیده

مدل‌سازی بهینه روابط اقتصادی و پدیده‌های اجتماعی که داده‌ها و اطلاعات آنها با ابهام و نااطمینانی همراه است مورد توجه بسیاری از اقتصاد دانان بوده است. رویکردهای بسیاری از جمله رویکردهای ناپارامتری برای غلبه بر مشکل ابهام و نااطمینانی در داده‌ها و اندازه‌گیری متغیرهای غیرقابل مشاهده به‌کارگرفته شده‌اند. از سوی دیگر، با معرفی نظریه مجموعه‌های فازی به عنوان یک قالب ریاضی برای صورت‌بندی و تجزیه و تحلیل مفاهیم و ویژگی‌های مبهم، توجه زیادی به مدل‌سازی و شبیه‌سازی توابع ناخطی بر اساس این نظریه معطوف شد. با این حال، سهم علوم اقتصادی در استفاده از این نظریه بسیار کم و در حد چند مقاله تحقیقی و کلی در سطح جهان باقی مانده است. این مقاله، با استفاده از منطق فازی، ضمن تبیین چگونگی مدل‌سازی روابط اقتصادی، یک الگوریتم جدید برای اندازه‌گیری پدیده اقتصاد سیاه در ایران معرفی می‌کند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که - با فرض آنکه درآمد سرانه و بار مالیاتی مستقیم مهم‌ترین عوامل پدیده اقتصاد سیاه در ایران باشند - روند پدیده اقتصاد سیاه طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۷ از پایداری نسبی برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی اقتصادی، نظریه مجموعه‌های فازی، اقتصاد سیاه

*دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی و کارشناس ارشد برنامه ریزی سازمان منطقه آزاد کیش

۱. مقدمه

تصریح و تخمین روابط اقتصادی همواره با چالش‌ها و نظرات متفاوتی روبرو بوده است. این امر به‌ویژه در مورد انتخاب شکل تبعی رابطه بین متغیرها نمود بیشتری می‌یابد، چرا که نظریه اقتصادی هیچ‌گونه توصیفی از شکل تبعی روابط ارائه نمی‌کند. بنابراین، انتخاب هر نوع تابع برای روابط اقتصادی می‌تواند تا حدودی مشکل خطای تصریح داشته باشد و از آنجایی که خطای تصریح بر استنباط آماری پارامترهای تخمینی - به عنوان مثال، سازگاری برآوردگرها تأثیر دارد، همواره نوعی بی‌اعتمادی نسبت به مدل‌های اقتصادسنجی وجود دارد. برای رفع این مشکل رویکردهای متفاوتی از جمله رویکردهای ناپارامتری که از انعطاف بیشتری برخوردارند، معرفی و به‌کار گرفته شده‌اند. اما این رویکردها نیز دارای مشکلاتی از قبیل نامناسب بودن خواص کوچک نمونه‌ای برآوردگرها و پایین بودن نرخ همگرایی برآوردگر در مدل‌های پیچیده و چند بعدی هستند^۱. این مسایل باعث شده تا رویکردهای جدیدی برای فرموله کردن و تخمین روابط اقتصادسنجی ابداع شوند که علاوه بر انعطاف‌پذیری نسبت به شکل تابعی، از فرضیه‌های پارامتری کمتری برخوردار بوده و دارای خواص کوچک نمونه‌ای و بزرگ نمونه‌ای مناسب نیز باشند. هدف این مقاله، استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی به عنوان یک رویکرد جدید و مناسب برای رسیدن به هدف‌های یادشده در اندازه‌گیری پدیده اقتصاد سیاه در ایران است.

در چند سال اخیر علاقه و توجه زیادی به اندازه‌گیری، کشف آثار و علل پدیده "اقتصاد زیرزمینی"^۲ یا "اقتصاد سیاه"^۳ بوجود آمده است. این پدیده از آن جهت حایز اهمیت است که در برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و کلان‌کشورها، در اتخاذ و اثر بخشی سیاست‌های پولی، مالی و توزیع درآمد می‌تواند اثرات قابل توجهی بر جای گذارد. اقتصاد سیاه شامل آن دسته از فعالیت‌ها و معاملات قانونی و یا غیرقانونی است که به دلیل نبود آمار رسمی ارزش آنها قابل اندازه‌گیری نبوده یا اندازه‌گیری نمی‌شوند. در کشورهای توسعه یافته، رشد این پدیده به‌طور معمول ناشی از افزایش نرخ مالیات و با هدف فرار از پرداخت مالیات است، اما در کشورهای کمتر توسعه یافته و در حال توسعه برای این

-
1. Silverman (1986), Coppejans (2000)
 2. Underground Economy
 3. Black Economy

پدیده، از علل دیگری مانند کاهش درآمد سرانه، پایین بودن درجه باز بودن اقتصاد و بیکاری نام برده شده است.^۱

اقتصاد سیاه، به دلیل ماهیت خود به صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست. از این‌رو، روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری آن در کشورهای مختلف معرفی و به‌کار رفته است. بررسی باارزشی برکارهای انجام شده در این زمینه در ۶۷ کشور جهان به‌وسیله اشنایدر و انست (۲۰۰۰)^۲ انجام شده است. عرب مازار یزدی (۱۳۸۰) نیز بررسی جامعی بر کارهای انجام شده در ایران انجام داده است. بر اساس مطالعات انجام شده در متون یادشده، به‌طور کلی سه روش عمده برای اندازه‌گیری اقتصاد سیاه در ادبیات مربوط معرفی و مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

الف) روش نسبت نقد

این روش، به‌وسیله برخی از پژوهشگران ایرانی از جمله خلعت‌بری به‌کار گرفته شده است. اساس آن براندازه‌گیری تقاضای پول و با در نظر گرفتن فرضیه‌هایی مانند عدم استفاده از سپرده‌های دیداری در اقتصاد سیاه، برابری سرعت گردش پول در فعالیت‌های قانونی و غیرقانونی، و ثابت بودن نسبت اسکناس و مسکوک در جریان به سپرده‌های دیداری در بخش رسمی است.

ب) روش تخمین رگرسیونی معادله تقاضای پول

در ایران توسط طاهررفر و باقری گرمارودی به‌کار گرفته شده است و اساس آن نیز همانند روش پیشنهادی و با همان فرضیه‌ها، تخمین تقاضا برای پول با استفاده از روش‌های رگرسیونی است.

ج) روش شاخص‌های چندگانه، علل چندگانه

این روش در ایران توسط عرب مازار یزدی به‌کار رفته است و اساس آن بر مدل‌سازی حجم اقتصاد سیاه با توجه به علل مختلف و با آثار مختلف است.

مشاهده می‌شود که همه این روش‌ها به نوعی وابسته به روش‌های اقتصاد سنجی و اندازه‌گیری آماری متغیرها هستند. با توجه به ضعف ماهیتی مدل‌های اقتصادسنجی که از خطای تصریح مدل و یا اشتباه در اندازه‌گیری متغیرها ناشی می‌شود و بر استنباط آماری پارامترهای برآورد شده تأثیر می‌گذارد، و نیز عدم امکان اندازه‌گیری دقیق و خالی از حدس و گمان حجم اقتصاد سیاه به عنوان متغیر وابسته و

۱. برای به‌طورمثال علی عرب مازار یزدی (۱۳۸۰) در پژوهش خود نتیجه گرفته است که علل اصلی تغییرات این پدیده در ایران ناشی از تغییر درآمد سرانه و شاخص باز بودن اقتصاد می‌باشد.

2. Schnider, F. Enste, D. (2000)

اصلی در معادلات رگرسیونی، امکان اندازه‌گیری این متغیر براساس منطق‌فازی مورد توجه تعدادی از پژوهشگران قرار گرفته است. دو تن از پیشگامان این امر، درایسک و گیلز^۱ از دانشگاه ویکتوریای کانادا هستند که بر اساس منطق‌فازی به اندازه‌گیری و شبیه‌سازی اقتصاد زیرزمینی نیوزیلند برای سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۴ پرداخته‌اند. کار این دو، بر پایه انتساب مجموعه‌های فازی به مقادیری از دو متغیر توضیحی برای اقتصاد زیرزمینی - بارمالیاتی و شاخص درجه مقررات، انتساب مقادیر عددی متناظر با مقادیر ذهنی، و در پایان استفاده از قواعد تصمیم‌گیری برای ایجاد شاخص اقتصاد زیرزمینی است. اولین گام در روش‌شناسی این دو، تعریف مقادیر متوسط، کم، زیاد، خیلی کم و خیلی زیاد، برای متغیرهای توضیحی بر اساس میانگین متحرک این متغیرها است. این پژوهشگران، برای متغیرهای توضیحی در هر سال، متوسط مقادیر داده‌های گذشته این متغیرها را به عنوان متوسط، و مقدار متوسط منهای یک انحراف معیار داده‌های سال‌های قبل را به عنوان کم، منهای دو انحراف معیار را به عنوان خیلی کم، به اضافه یک انحراف معیار را به عنوان زیاد و به اضافه دو انحراف معیار را به عنوان خیلی زیاد در نظر گرفته‌اند. سپس، برای مقادیر واقعی متغیرهای توضیحی در هر سال مجموعه فازی منسوب به آن را با کمک درجه عضویت تعیین کرده‌اند. در سومین گام، مجموعه قواعد تصمیم‌گیری برای تعیین نوع رابطه میان متغیرهای توضیحی و سطح اقتصاد زیر زمینی ایجاد شده است. در بخش پایانی نیز مقادیر اقتصاد زیر زمینی نیوزیلند بر اساس محاسبه درجه صحت هر قاعده تصمیم در قالب طیفی از اعداد محدود به بازه [۱ و ۰] شبیه‌سازی شده است.

در ایران، علیرضا شکیبایی (۱۳۸۱) در رساله دکتری خود بر اساس روش‌شناسی یادشده و با همان قواعد تصمیم‌گیری مطرح شده در مقاله درایسک و گیلز، اقتصاد زیرزمینی ایران را شبیه‌سازی کرده است.

مقاله حاضر، علی‌رغم تشابه بسیار زیاد با مقاله درایسک و گیلز، به معرفی الگوریتم جدیدی که منطبق با مدل‌سازی فازی است، برای اندازه‌گیری حجم اقتصاد سیاه در ایران خواهد پرداخت. وجوه اصلی تفاوت این روش با روش‌های سنتی اندازه‌گیری اقتصاد سیاه عبارتند از:

- استفاده از تجارب اشخاص خبره در قالب عبارت‌های گفتاری و زبانی به جای قسمتی از داده‌های آماری، که به دلیل ماهیت غیر قابل مشاهده و غیرقابل اندازه‌گیری پدیده اقتصادسیاه، نسبت به روش‌های آماری متکی به داده‌های عددی نوعی مزیت محسوب می‌شود.

- برآورد اندازه اقتصاد سیاه در قالب طیفی از اعداد محدود به بازه [۱ و ۰] و یا در قالب الفاظ کم، زیاد، متوسط، خیلی کم و خیلی زیاد، که به نظر می‌رسد از این نظر نیز برآورد منطق فازی نسبت به برآوردهای اقتصاد سنجی از مزیت بیشتری برخوردار باشد.

- وجه افتراق این الگو با الگوی درایسیک و گیلز، استفاده از مبانی سیستم‌های فازی و قضیه تقریب فازی^۲ است. الگوی مورد استفاده توسط درایسیک و گیلز تا حدود زیادی منطبق با الگوی جدول جستجوی فازی است. اما در این مقاله، الگوی تقریب غیر خطی فازی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

هدف اصلی این مقاله، ارائه یک الگوریتم جدید برای مدل‌سازی روابط اقتصادی به طور اعم و اقتصاد سیاه به طور اخص، بر پایه دانش افراد خبره و به‌کارگیری منطق فازی در این زمینه است. بنابراین، در بخش نخست مقاله، مروری کلی بر مفاهیم و نظریه‌های مجموعه‌های فازی و چگونگی مدل‌سازی توابع غیر خطی با این منطق ارائه خواهد شد. در بخش دوم، ضمن ارائه الگو و روش‌شناسی انجام پژوهش برای اندازه‌گیری اقتصاد سیاه، نتایج تجربی حاصل از به‌کارگیری این روش در اقتصاد ایران بررسی و با نتایج پژوهش عرب مازار یزدی و شکیبایی مقایسه خواهد شد.

۲. مجموعه‌های فازی

در علوم انسانی و اجتماعی بسیاری از مفاهیم دارای تعاریف دقیق و روشنی نیستند که بتوان برای هر کدام مجموعه‌های ریاضی دقیق را در نظر گرفت. به‌طور مثال، به‌جای جملات "کشورهای دارای ۱۰۰۰ کارخانه به بالا و شهرهای با جمعیت بیشتر از یک میلیون نفر" از جملات "جوامع پیشرفته صنعتی، تراکم زیاد جمعیت"، استفاده می‌کنیم. در حوزه اقتصاد نیز از عبارات‌های مانند "نرخ تورم زیاد است"، یا "بیکاری بالا است" استفاده می‌شود، در حالی که در قلمرو ریاضیات و نظریه مجموعه‌های کلاسیک جایی برای مفاهیم غیر دقیق نیست و قالبی برای صورت‌بندی این مفاهیم و ابزاری برای تجزیه و تحلیل آنها وجود ندارد. نظریه مجموعه‌های فازی^۱ که در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفی عسگر زاده^۱ (که به اختصار زاده خوانده می‌شود) مهندس ایرانی‌الاصل مقیم آمریکا و رییس دانشکده برق دانشگاه برکلی معرفی شد، یک قالب جدید ریاضی برای صورت‌بندی و تجزیه و تحلیل این مفاهیم و ویژگی‌هاست. این نظریه در واقع، تعمیمی از نظریه مجموعه‌های معمولی است که در آن واژه‌ها و

1. Fuzzy Set Theory

2. Lotfi A. Zadeh

عبارت‌های معمول در محاورات روزمره نیز قابلیت استفاده دارند. در نظریه مجموعه‌های معمولی، عناصر با منطق دو ارزشی^۱ یعنی به صورت "تعلق دارند" یا "تعلق ندارند" توصیف می‌شوند. به طور مثال، "یک عنصر یا به یک مجموعه تعلق دارد یا ندارد" و "یک عبارت یا درست است یا غلط". در مسایل بهینه‌یابی نیز "جواب مساله یا شدنی است یا ناشدنی". در این گونه مسایل هیچ حد واسطی برای جواب‌ها نمی‌توان قایل شد و به عبارتی با نوعی قطعیت^۲ در آنها مواجه هستیم، به این مفهوم که ساختارها و پارامترهای مساله یا مدلی که مورد نظر ما است، به صورت دقیق و قطعی معلوم بوده و هیچ‌گونه تردید و ابهامی در مورد مقادیر آنها وجود ندارد. اما در مسایل علوم انسانی و اجتماعی به علت ماهیت نادقیق قضاوت‌های آدمی، منطق دو ارزشی نمی‌تواند به طور کامل کارایی داشته باشد. بنابراین، بسیاری از قضاوت‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در این حوزه لزوماً به صورت مبهم انجام می‌شوند. به عنوان مثال، مدیر یک بانک تجاری خصوصی را در نظر بگیرید که به مجموعه تحت نظر خود دستور می‌دهد "به مشتریان معتبر اعتبار کافی داده شود". در این جمله هم مشتریان معتبر و هم اعتبار کافی مبهم هستند. یا به عنوان مثالی دیگر، "مجموعه اعداد نزدیک به صفر" یک مجموعه مبهم به شمار می‌آید، زیرا نمی‌توان به طور دقیق تعیین کرد که آیا عدد یک عضو این مجموعه هست یا خیر؟ عدد دو چطور؟ و همین‌طور برای سایر اعداد حقیقی. در این جا بنا به پیشنهاد دکتر زاده، مناسب است که به هر عدد از مجموعه اعداد حقیقی، عددی در فاصله [۱ و ۰] به عنوان درجه بزرگی^۳ آن عدد نسبت دهیم. هرچه عدد یادشده به صفر نزدیک‌تر باشد، عدد متناظر برای عضویت آن در مجموعه "اعداد نزدیک به صفر" به یک نزدیک‌تر است. به عنوان مثال، به جای آنکه بگوییم عدد یک عضو مجموعه "اعداد نزدیک به صفر" هست یا خیر، می‌گوییم: به طور مثال عدد یک با درجه عضویت ۰/۷ عضو مجموعه "اعداد نزدیک به صفر" است.

در سال‌های اولیه معرفی نظریه فازی بسیاری از ریاضی‌دانان، نظریه احتمالات را برای حل مسایلی که در فضای عدم اطمینان مطرح می‌شوند کافی می‌دانستند و به نظریه فازی - که به طور اساسی برای حل مسایل در فضای عدم اطمینان معرفی شده است - توجهی نداشتند و حتی عده ای آن را افیون علم معرفی می‌کردند (کاسکو ۱۳۷۷). عدم اطمینان را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: عدم اطمینان

1. Two-valued logic

2. Certainty

۳. این درجه در ادبیات فازی به درجه عضویت یا Membership Function معروف است.

تصادفی^۱ و عدم اطمینان ابهامی^۲. عدم اطمینان از تصادفی ناشی از نبود اطلاعات کافی در تشخیص و تعیین دقیق و کامل مسیر و مکان یک متغیر در آینده است. این نوع عدم اطمینان یا از طریق رویکرد احتمالی منسوب به کولموگروف^۳ و یا از رویکرد احتمالی منسوب به کوپمن^۴ بررسی و دنبال می‌شود. در هر دو نوع از رویکردهای یادشده در رابطه با حل مسایل عدم اطمینان، فرض می‌شود که وقایع یا عناصر موجود در مسأله به‌طور دقیق تعریف شده هستند. این دو رویکرد نظریه احتمالات را برای حل مسایل عدم اطمینان تصادفی به‌کار می‌گیرند. اما در نوع دوم عدم اطمینان، تعریف وقایع یا عناصر موجود با ابهام همراه بوده و دقیق نیستند. این نوع عدم اطمینان در تمام اموری که با قضاوت‌ها، ارزیابی‌ها و تصمیم‌گیری‌های انسانی همراه هستند، مانند پزشکی، مهندسی، اقتصاد، مدیریت و سایر رشته‌ها وجود دارد. در حقیقت، دنیای واقعی ما دنیای عدم اطمینان از نوع ابهامی است. بنابراین، منطقی است که در یک دنیای مبهم و فازی از نظریه مجموعه‌های فازی یا منطق چند ارزشی فازی برای حل مسایل و تصمیم‌گیری‌های خود استفاده کنیم.

۱-۲. تعریف

اگر X مجموعه‌ای از اشیاء باشد که هر یک از عناصر آن به صورت کلی با x نشان داده شوند، آن‌گاه یک مجموعه فازی مانند \tilde{A} در X به شکل مجموعه‌ای از زوج‌های مرتب به شکل زیر نشان داده می‌شوند:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \quad (1)$$

X را مجموعه مرجع یا عالم خطابه^۵ گویند و $\mu_{\tilde{A}}(x)$ نیز تابع عضویت x در \tilde{A} نامیده می‌شود که هر عنصری در X را به یک مجموعه عضویت با مقادیر پیوسته بین ۰ تا ۱ می‌برد. به‌طورمثال، فرض کنید نرخ طبیعی بیکاری بین ۳ تا ۵ درصد تعریف شود. مجموعه اعداد طبیعی از ۰ تا ۱۰۰ را به‌عنوان مجموعه مرجع X در نظر می‌گیریم. مجموعه فازی "نرخ طبیعی بیکاری در اقتصاد ایران" را با \tilde{A} نشان داده و به صورت زیر نشان می‌دهیم:

$$\tilde{A} = \{(2, 0.85), (3, 0.9), (4, 0.95), (5, 0.9), (6, 0.85)\}$$

1. Stochastic uncertainty
2. Fuzziness
3. Kolmogoroff type probability
4. Koopman's type probability
5. Universe of Discourse

معنای عبارت یادشده این است که نرخ بیکاری ۲ درصد با درجه عضویت ۰/۸۵ و نرخ بیکاری ۳ درصد با درجه عضویت ۰/۹ عضو "مجموعه نرخ طبیعی بیکاری در ایران" است. عناصر اول زوج‌های مرتب مجموعه یادشده نشانگر نرخ بیکاری x و عناصر دوم توابع عضویت $\mu_A(x)$ است. مقادیر توابع عضویت در مجموعه یادشده ذهنی است و بر اساس نظر شخص خبره تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، هم نرخ بیکاری ۰/۰۲ و هم نرخ بیکاری ۰/۰۳ می‌توانند به‌عنوان نرخ بیکاری طبیعی در ایران در نظر گرفته شوند.

توابع عضویت، معرف میزان درجه‌ای است که شخص به هر یک از عناصر مجموعه فازی نسبت می‌دهد. تابع عضویت در حقیقت نشان‌دهنده نحوه توزیع و پراکندگی اعداد حول یک عدد خاص یا مورد نظر است. به‌طورمثال برای عدد تقریباً ۵ می‌توان از اشکال مختلف نظیر مثلث، دوزنقه و منحنی نرمال برای توزیع اعداد جانبی آن استفاده کرد. تابع عضویت یک مجموعه فازی در حالت مثلثی به‌شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (d-x)/(d-b), & b \leq x \leq d \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۲)$$

که در آن a, d کران‌های پایین و بالا و b ، متوسط یا مرکز مجموعه فازی است. به‌عنوان مثال، مجموعه فازی "تقریباً ۵" را می‌توان به شکل زیر نشان داد.

$$\mu_{\text{nearly } 5}(x) = \begin{cases} (x-3)/(5-3), & 3 \leq x \leq 5 \\ (7-x)/(7-5), & 5 \leq x \leq 7 \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (۳)$$

۳. مدل‌سازی فازی

اولین کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی به‌وسیله مددانی^۱ و آسیلیان^۲ در طراحی یک کنترل کننده هوشمند برای کوره سیمان شکل گرفت. این کار اگر چه مربوط به طراحی یک کنترل کننده هوشمند

1. Mamdani

2. Assilian

بود، اما نظریه مجموعه‌های فازی را می‌توان به‌عنوان روشی برای مدل‌سازی یا تخمین هر نوع رابط تابعی و هر نوع سیستمی مورد استفاده قرار داد. (کاسکو ۱۳۷۷).

هر سیستم فازی سه جزء دارد: پایگاه قواعد فازی^۱، مجموعه‌های ورودی و خروجی فازی^۲ و موتور استنتاج فازی^۳. تعیین متغیرهای ورودی و خروجی سیستم اولین گام در طراحی سیستم فازی است. به‌عنوان مثال، در یک سیستم اقتصادی-خرید، قیمت، متغیر ورودی و تقاضا یا عرضه متغیر خروجی آن است. این سیستم ورودی - خروجی اقتصادی به شکل ریاضی $q^d = f(p)$ و یا قالب خطی آن که به‌طور عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد، یعنی $q^d = a + bp$ نمایش داده می‌شود. پس از تعیین متغیرهای ورودی - خروجی، نوبت به تعیین مجموعه‌های فازی می‌رسد. این کار مستلزم آن است که دامنه نوسان یا تغییر هر یک از متغیرها تعیین شوند. مجموعه‌های فازی همان مفاهیم مبهم و غیرکمی هستند که در باره سیستم مورد نظر بیان می‌شوند، مانند مجموعه‌های (خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم) و (سرد، خنک، متعادل، گرم، داغ). برای هر یک از عناصر این مجموعه‌ها لازم است محدوده آن‌ها براساس منحنی‌هایی با ارتفاع واحد و به شکل‌های مثلثی، نرمال، دوزنقه‌ای و امثال آن تعیین شوند. در عمل به‌طور معمول از منحنی‌های مثلثی که به‌خوبی کار می‌کنند، بیشتر استفاده می‌شود.

گام سوم در طراحی سیستم‌های فازی، به‌دست آوردن مجموعه‌ای از قواعد منطقی فازی با استفاده از دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی و ترکیب آن‌ها در یک چهارچوب مشخص برای نتیجه‌گیری از مجموعه قواعد است. مجموعه این قواعد را که به‌صورت "اگر... آنگاه" بیان می‌شوند را پایگاه قواعد فازی گویند. استنتاج مجموعه قواعد فازی از طریق آنچه که موتور استنتاج نامیده می‌شود، و براساس معیارهایی مثل، معنی‌داری شهودی، بازده محاسباتی، و ویژگی‌های خاص انتخاب می‌شوند، انجام می‌پذیرد. (لی وانگ ۱۳۷۸).

موتور استنتاج فازی، قواعد موجود در پایگاه قواعد فازی را به‌وسیله نگاشتی از یک مجموعه فازی مشخص به مجموعه فازی مشخص دیگری ترکیب می‌کند. از آنجایی که در اغلب کاربردها، ورودی و خروجی سیستم فازی اعداد حقیقی هستند، لازم است واسطه‌هایی بین موتور استنتاج فازی و محیط

-
1. Fuzzy Rule Base
 2. Fuzzy Input-Output
 3. Fuzzy Inference Engine

ایجاد شود. این واسطه‌ها عبارتند از فازی سازها^۱ و غیر فازی سازها^۲. در واقع، این واسطه‌ها نیز جزئی از سیستم فازی محسوب می‌شوند.

فازی ساز به‌عنوان نگاشتی از یک نقطه حقیقی مانند x به یک مجموعه فازی مانند A تعریف شده است. فازی سازهای مختلفی وجود دارند که در این مقاله از فازی ساز منفرد^۳ - استفاده خواهد شد. از سوی دیگر، غیر فازی ساز نگاشتی است از یک مجموعه فازی مانند B که خروجی موتور استخراج فازی را به یک نقطه قطعی حقیقی مانند y تبدیل می‌کند. در اینجا نیز همانند فازی سازها، انتخاب‌های مختلف و متعددی را می‌توان برای غیر فازی ساز انجام داد که در این مقاله، از غیر فازی ساز میانگین مراکز استفاده خواهد شد^۴.

در منطق فازی به‌طور معمول عبارت‌ها و گزاره‌ها به صورت "اگر ... آن‌گاه" بیان می‌شوند. این عبارت‌ها را قاعده‌های زبانی^۵ یا قاعده‌های گفتاری می‌نامند. یک قاعده گفتاری یک گزاره شرطی "اگر ... آن‌گاه" متکی به متغیرهای گفتاری است. به‌عنوان مثال، می‌توان قاعده زیر را برای یک سیستم اقتصادی تبیین کرد:

"اگر نرخ بهره تا حدودی زیاد و درآمد نسبتاً پایین باشد، آن‌گاه تقاضا برای پول کاملاً پایین است".

یا در مورد سیستم تقاضا، می‌توان رابطه قیمت و مقدار را به صورت فازی زیر بیان کرد:

"اگر قیمت زیاد است، آن‌گاه مقدار کم است". چنانچه به جای عبارت گفتاری کم از یک تابع خطی به شکل $q^d = a_i + b_i p$ استفاده کنیم، سیستم فازی ایجاد شده را سیستم فازی تاکاگی-سوکنو-کانگ^۶ می‌نامند. سیستم‌های فازی که در آن از عبارت‌های گفتاری به‌جای توابع خطی استفاده می‌شود، سیستم‌های فازی مددانی^۷ می‌نامند. در شکل (۱) نمونه‌ای از یک تابع تقاضای فازی براساس سیستم فازی مددانی نشان داده شده است.

1. Fuzzifier

2. Defuzzifier

۳. یک نقطه با مقدار حقیقی را به یک منفرد فازی می‌برد به طوریکه مقدار عضویت در نقطه حقیقی مورد نظر برابر واحد و در سایر نقاط برابر صفر است. (لی وانگ ۱۳۷۸).

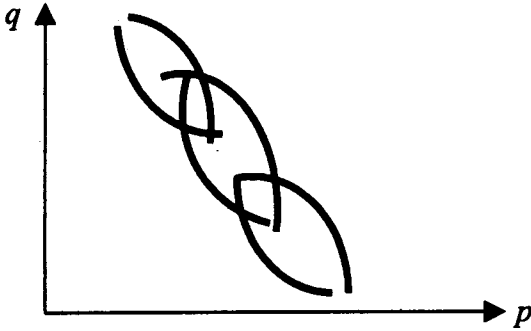
4. Zimmerman, H. (1996)

5. Linguistic Rules

6. Takagi-Sugeno-Kang

7. Mamdani Fuzzy System

شکل ۱- تابع تقاضای فازی



در عمل و به‌طور معمول، تعداد قواعد بیش از یک قاعده فازی بوده و خروجی سیستم (متغیر وابسته) نیز بیش از یک مجموعه فازی است. در این مقاله، تنها به سیستم‌های فازی چند ورودی-تک خروجی اشاره می‌شود. استلزام‌های مختلفی برای استخراج و نتیجه‌گیری منطقی از قواعد "اگر... آنگاه" فازی وجود دارد که در این میان استلزام مددانی به‌شکل وسیعی در سیستم‌های فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس این استلزام، قاعده "اگر... آنگاه" فازی (۱) را می‌توان به شکل رابطه فازی M_{ry} با تابع عضویت زیر نشان داد:

$$\mu_{M_{ry}}(r, y) = \text{Min}[\mu_A(r), \mu_B(y)] \quad (4)$$

$$\mu_{M_{ry}}(r, y) = \mu_A(r) \cdot \mu_B(y)$$

که در آن، r برای نرخ بهره و y ، درآمد است.

اکنون، چگونگی تبدیل مجموعه‌ای از قواعد منطقی "اگر... آنگاه" فازی به یک تابع غیر خطی تشریح می‌شود. فرض کنید هدف برآورد سیستمی با رابطه تابعی نامعلوم $y = f(x_1, \dots, x_n)$ باشد. هم‌چنین فرض کنید M قاعده "اگر... آنگاه" فازی به شکل زیر وجود دارد:

$M, \dots, j=1, \dots, n$: اگر x_1 در سطح F_1^j و \dots و x_n در سطح F_n^j باشد، آنگاه y در سطح G^j است.

که در آن، F_1^j یک متغیر گفتاری برای بیان مقدار تقریبی متغیر x_1 و G^j ، یک متغیر گفتاری برای بیان متغیر خروجی y است.

در منطق فازی هر قاعده به شکل R^j ، یک مجموعه فازی در فضای ورودی- خروجی ایجاد می‌کند. (رابطه ۵)

$$F_1^j \times \dots \times F_n^j \rightarrow G^j \quad (5)$$

بر اساس استلزام مددانی تابع عضویت این قاعده عبارت است از :

$$\mu_{F_1^j \times \dots \times F_n^j \rightarrow G^j}(x, y) = \min[\mu_{F_1^j \times \dots \times F_n^j}(x), \mu_{G^j}(y)] \quad (6)$$

فرض کنید مجموعه فازی G^j در قاعده فازی یادشده، دارای مرکزی برابر \bar{a} که یک مجموعه طبیعی است، باشد. یک سیستم فازی با پایگاه قواعد R^j ، موتور استنتاج ضرب، فازی ساز منفرد، و غیر فازی ساز میانگین مراکز به شکل زیر تعریف می‌شود (لی وانگ ۱۳۷۸).

$$f(x) = \frac{\sum_{l=1}^M a^l \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i) \right)}{\sum_{l=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i) \right)} \quad (7)$$

رابطه (۷) تبدیل کننده M قاعده "اگر... آنگاه" فازی به تابع غیر خطی $f(x)$ است. در حقیقت، سیستم فازی (۷) یک تقریب گر مناسب برای برآورد هر نوع تابع خطی یا غیر خطی است (کاسکو ۱۳۷۷). بنابراین، به جای استفاده مستقیم و جستجوی یک به یک قواعد، می‌توان از فرمول (۷) که امکان بررسی کل سیستم را فراهم می‌کند، استفاده کرد.

۴. الگوی فازی برآورد حجم اقتصاد سیاه

اکنون به معرفی الگوی برآورد حجم اقتصاد سیاه در ایران و شبیه‌سازی آن به صورت یک سری زمانی برای سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۷ می‌پردازیم. در الگویی که معرفی خواهد شد بر خلاف روش‌های رگرسیونی، استنباط آماری خاصی ارایه نمی‌شود. ما در اینجا براساس نظریه‌های اقتصادی و شواهد تجربی به دست آمده در مورد اقتصاد ایران، دو متغیر سببی را انتخاب کرده، و بر اساس این دو متغیر یک شاخص کمی محدود به فاصله [۱ و ۰] برای نشان دادن میزان اقتصاد سیاه در ایران به دست خواهیم آورد. به عبارت دیگر، بر خلاف روش‌های مرسوم در اندازه‌گیری حجم اقتصاد سیاه که در نهایت به یک رقم پولی می‌رسد، در الگوی مورد بحث به یک شاخص عددی محدود به فاصله [۱ و ۰] بسنده خواهد شد.

همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، سیستم‌های فازی، سیستم‌های مبتنی بر دانش افراد خبره هستند. بنابراین، در این مقاله، دو متغیر سببی "درآمد سرانه" و "بار مالیاتی" که از آنها در متون اقتصادی به‌عنوان متغیرهای سببی اقتصاد سیاه نام برده شده و در تحقیق عرب مازار یزدی نیز معنی‌دار بودن آنها از نظر آماری مورد تایید واقع شده‌اند، برای اندازه‌گیری حجم اقتصاد سیاه در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییرات درآمد سرانه با تغییرات حجم اقتصاد سیاه رابطه مثبت و مستقیم دارد. انتظار می‌رود هر قدر درآمد سرانه بیشتر باشد، انگیزه افراد برای روی آوردن به فعالیت‌های زیرزمینی و فرار از اظهار فعالیت و درآمد کمتر شود. اما یکی از علت‌های اصلی توسعه فعالیت‌های اقتصادی زیر زمینی، فرار از پرداخت مالیات است. هر اندازه میزان مالیات مستقیم بالاتر باشد، تمایل به اظهار فعالیت و میزان درآمد کاهش می‌یابد. البته برخی محدودیت‌های قانونی و فرهنگی نیز می‌توانند در توسعه و افزایش حجم فعالیت‌های زیر زمینی موثر باشند. در این مقاله، تنها به دو متغیر توضیحی درآمد سرانه و بار مالیاتی مستقیم برای تخمین اندازه اقتصاد سیاه در ایران اکتفا می‌شود. ممکن است متغیرهای توضیحی بیشتری را بتوان برای تخمین اقتصاد سیاه معرفی کرد. اما در مدل‌سازی فازی، همانند مدل‌سازی اقتصاد سنجی، افزایش تعداد متغیرهای توضیحی مدل را دچار مشکل کاهش درجه آزادی^۱ می‌کند. ضمن آن‌که ایجاد پایگاه قواعد فازی با بیش از دو متغیر توضیحی اگر چه ممکن اما مشکل خواهد بود. بنابراین، با توجه به این‌که متغیر درآمد سرانه بر اساس تحقیق عرب مازار یزدی اثر معنی‌داری بر افزایش حجم اقتصاد سیاه در ایران داشته و بار مالیاتی مستقیم نیز، به‌عنوان یکی از مهمترین متغیرهای توضیحی برای پدیده اقتصاد سیاه معرفی شده است، در این مقاله، از این دو متغیر استفاده شده است. البته، ممکن است از متغیرهای توضیحی دیگری برای تبیین پدیده اقتصاد سیاه در ایران استفاده شود و نتایج متفاوتی با نتایج این پژوهش به‌دست آید. آن‌چه که در مدل‌سازی فازی مهم است، اجماع بر سر معنی‌دار بودن متغیرهای توضیحی در تبیین پدیده مورد بررسی است. پس از استخراج نتایج، به مقایسه آنها با نتایج عرب مازار یزدی پرداخته خواهد شد.

مرحله اول) استخراج داده‌های زمانی (سالانه) متغیرهای سببی

آمارها و داده‌های سالانه مربوط به متغیرهای سببی "درآمد سرانه" و "بار مالیاتی" از سال ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۷ استخراج و مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از این داده‌ها، در فاصله زمانی موجود، دامنه نوسان متغیر را تعیین می‌کنند.

1. Cause Of Dimensionality

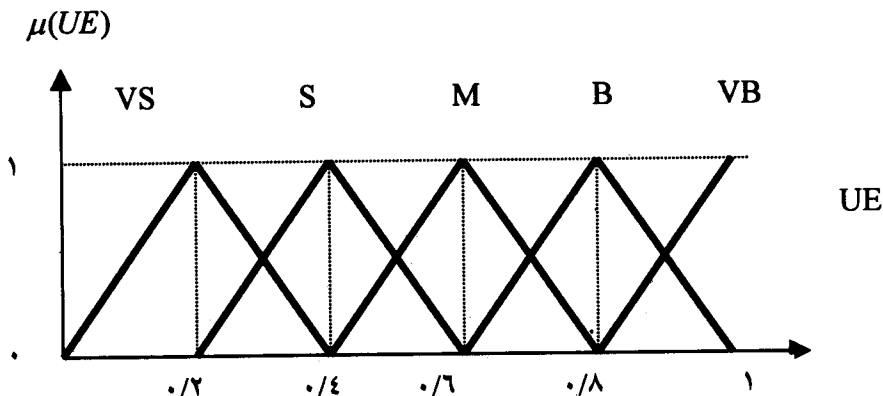
مرحله دوم) فازی سازی هر یک از متغیرهای سببی

همان‌طور که پیشتر عنوان شد، فازی سازی یک عمل تجربی است و بسته به نظر طراح سیستم و نوع نرم افزار محاسباتی در دسترس، می‌توان توابع مختلفی از نظر شکل و یا درجه پیچیدگی برای هر متغیر انتخاب کرد. در این مقاله، از توابع گوسی (نرمال) با پنج حالت {خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم} برای هر یک از متغیرهای سببی استفاده شده است. به عبارت روشن‌تر فرض می‌شود که دامنه نوسان متغیرهای سببی از خیلی کم تا خیلی زیاد تغییر می‌کند.

مرحله سوم) ایجاد پایگاه قواعد فازی بر اساس نظرات تجربی اشخاص خیره

این مرحله، مهمترین قسمت در برآورد حجم اقتصاد سیاه و یا به‌طور کلی در ایجاد سیستم فازی است. در این مرحله، معمولاً پرسشنامه‌ای تهیه و در اختیار شخص یا اشخاص خبره قرار گرفته و از راه نظرسنجی میزان تأثیرپذیری متغیر وابسته- در اینجا حجم اقتصاد سیاه- را از متغیرهای مستقل یا متغیرهای سببی به‌صورت تقریبی برآورد می‌شود. در حالتی که دو متغیر توضیحی مورد استفاده قرار گیرد، آرای دریافت شده از اشخاص به شکل یک ماتریس به نام ماتریس تصمیم‌گیری نشان داده می‌شود. در این مقاله، فرض شده است که دامنه نوسان اقتصاد سیاه در ایران را می‌توان با ۵ حالت یا تابع {خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم} بیان و توصیف کرد. حالات یادشده را در روی طیفی به اندازه بازه بسته [۰ و ۱] و بر اساس فازی ساز مثلثی به‌صورت زیر نشان می‌دهیم:

شکل ۱- توابع عضویت متغیر اقتصاد سیاه در ایران



بر اساس این تعریف، هر اندازه به عدد یک نزدیک‌تر شویم، به مفهوم افزایش حجم اقتصاد سیاه در ایران بوده، و برعکس، هر چه به صفر نزدیک‌تر شویم، معرف کمتر بودن آن است. حروف اختصاری انگلیسی در شکل یادشده، برای نمایش حالات ۵ گانه مقدار اقتصاد سیاه یا UE به کار رفته است. اکنون، بر اساس تعاریف یادشده، پایگاه قواعد تجربی را با دو متغیر سببی درآمد سرانه و بار مالیاتی مستقیم به شکل جدول زیر تشکیل می‌دهیم. تعداد قواعد موجود در پایگاه قواعد از رابطه n^t به دست می‌آید که در آن، n تعداد متغیرهای گفتاری و t تعداد متغیرهای سببی یا مستقل هستند. (در اینجا فرض شده است که تعداد متغیرهای گفتاری برای هر دو متغیر مستقل برابر هستند)^۱ بنابراین فرمول، می‌توانیم حداکثر تعداد ۲۵ قاعده ایجاد کنیم^۱.

جدول-۱: پایگاه قواعد فازی اقتصاد سیاه در ایران بر اساس دو متغیر سببی

حجم اقتصاد سیاه		درآمد سرانه				
		VS	S	M	B	VB
بار مالیاتی مستقیم	VS	M	S	S	S	VS
	S	M	M	S	S	S
	M	B	M	M	S	S
	B	B	B	M	M	M
	VB	VB	B	B	B	M

در جدول یادشده VB برای خیلی زیاد، B برای زیاد، M برای متوسط، S برای کم و VS برای خیلی کم به کار رفته است.

به عنوان مثال، اگر "درآمد سرانه" زیاد و "بار مالیاتی مستقیم" خیلی کم باشد، "اندازه اقتصاد سیاه" کم است.

۱. در حالت کلی حداکثر تعداد قواعد موجود در پایگاه فازی از رابطه $\prod_{i=1}^N n_i$ به دست می‌آید.

۲. از آنجا که تعداد قواعد یک سیستم فازی به نظر شخص خبره نیز بستگی دارد، می‌توان یک پایگاه قواعد با قواعد کمتری نیز تشکیل داد.

مرحله چهارم) ایجاد سیستم فازی مناسب برای تقریب روابط

برای پایگاه قواعد فازی یادشده باید یک سیستم فازی مناسب ایجاد کنیم. در اینجا، یک سیستم فازی با موتور استنتاج ضرب، فازی ساز منفرد، و غیر فازی ساز میانگین مرکز که در بیشتر کارهای تجربی مورد استفاده قرار می‌گیرد، طراحی شده و میزان اندازه اقتصاد سیاه در ایران را به کمک این سیستم تقریب می‌زنیم. بر اساس فرمول (۷) خواهیم داشت:

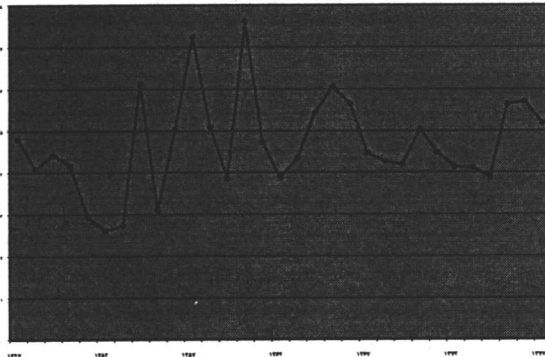
$$UE = \frac{\sum_{j=1}^{25} \overline{UE^j} \left(\prod_{i=1}^2 \mu_{A_i^j}(x_i) \right)}{\sum_{j=1}^{25} \left(\prod_{i=1}^2 \mu_{A_i^j}(x_i) \right)} = \frac{\sum_{j=1}^{25} \overline{UE^j} (\mu_{A_y^j}(y) \cdot \mu_{A_T^j}(T))}{\sum_{j=1}^{25} (\mu_{A_y^j}(y) \cdot \mu_{A_T^j}(T))} \quad (8)$$

که در آن، \overline{UE} ، حد وسط متغیر فازی "اقتصاد سیاه" و x_i ، برای متغیرهای سببی "درآمد سرانه" یعنی y ، و "بار مالیاتی مستقیم" یعنی T ، به کار رفته است.

۵. شبیه‌سازی سیستم فازی اقتصاد سیاه در ایران

با استفاده از داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۷ و به کمک بسته نرم افزاری **MATLAB6** سیستم یادشده را شبیه‌سازی کرده و داده‌های مربوط به سال‌های یادشده را برای دوره زمانی ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۷ به دست می‌آوریم. در شکل (۳) نمودار زمانی مربوط به شبیه‌سازی این سیستم نشان داده شده است.

شکل-۳. روند زمانی حجم اقتصاد سیاه در ایران



مقادیر عددی حاصل از تقریب حجم اقتصاد سیاه در ایران با استفاده از منطق فازی در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر عددی حاصل از تقریب حجم اقتصاد سیاه در ایران

سال	حجم اقتصاد سیاه	سال	حجم اقتصاد سیاه
۱۳۴۷	۰/۴۷۸۴	۱۳۶۳	۰/۴۳۳۶
۱۳۴۸	۰/۴۰۶۱	۱۳۶۴	۰/۵۴۲۱
۱۳۴۹	۰/۴۴۰۹	۱۳۶۵	۰/۶۰۵۲
۱۳۵۰	۰/۴۱۵۳	۱۳۶۶	۰/۵۶۴۵
۱۳۵۱	۰/۲۹۲۲	۱۳۶۷	۰/۴۴۵۴
۱۳۵۲	۰/۲۵۹۶	۱۳۶۸	۰/۴۲۵۵
۱۳۵۳	۰/۲۷۲۵	۱۳۶۹	۰/۴۲۸۶
۱۳۵۴	۰/۶۱۲۳	۱۳۷۰	۰/۵۰۲۶
۱۳۵۵	۰/۳۰۸۸	۱۳۷۱	۰/۴۴۵۹
۱۳۵۶	۰/۵۰۰۰	۱۳۷۲	۰/۴۱۲۸
۱۳۵۷	۰/۷۲۳۸	۱۳۷۳	۰/۴۱۰۸
۱۳۵۸	۰/۵۰۸۵	۱۳۷۴	۰/۳۸۸۲
۱۳۵۹	۰/۳۸۴۵	۱۳۷۵	۰/۵۶۳۵
۱۳۶۰	۰/۷۶۰۵	۱۳۷۶	۰/۵۶۹۹
۱۳۶۱	۰/۴۷۱۳	۱۳۷۷	۰/۵۱۶۸
۱۳۶۲	۰/۳۸۷۳		

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، روند پدیده اقتصاد سیاه در ایران، در فاصله سال‌های ۵۴ تا ۶۱ و همچنین از سال‌های ۷۵ به بعد صعودی است. البته در خلال سال‌های ۵۴ تا ۶۱ روند صعودی اقتصاد سیاه با نوسانات شدید همراه بوده که به‌طور عمده ناشی از نوسانات شدید بار مالیاتی مستقیم است. از سوی دیگر، بر اساس نتایج این پژوهش در طی سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۷ روند اقتصاد سیاه در ایران از پایداری نسبی برخوردار بوده است. درحقیقت، جدای از نوسانات مقطعی، روند حرکت اقتصاد سیاه در ایران در مقطع زمانی ۱۳۶۲ تا ۱۳۷۷ به شکل تابع $UE = ۰/۴۲۱۵ + ۰/۰۰۲۸t$ است، که هرچند حاکی

از صعودی بودن پدیده اقتصاد سیاه در ایران می‌باشد، اما دارای شبیهی تقریباً برابر با صفر است. این نتایج تا حدودی برخلاف نتایج به‌دست آمده به‌وسیله عرب مازار یزدی است که معنی‌دارترین متغیرهای تأثیرگذار بر پدیده اقتصاد سیاه در ایران را "درآمد سرانه" و "شاخص باز بودن اقتصاد" می‌داند. عرب مازار نشان داده است که حجم اقتصاد سیاه در دوره زمانی ۱۳۴۷ تا ۱۳۷۷ به‌طور معنی‌داری رو به افزایش بوده است. هم‌چنین بر اساس نتایج شکبایی، که از دو متغیر بار مالیاتی و شاخص درجه مقررات استفاده کرده است، پدیده اقتصاد سیاه در ایران، دارای روند صعودی با نوسانات زیاد است که با نتایج به‌دست آمده در این مقاله مطابقت چندانی می‌کند.

در مورد نتایج این پژوهش لازم است به نکات زیر توجه شود:

- مدل فازی اقتصاد سیاه ایران، متکی به پایگاه قواعدی است که به‌صورت تجربی و شواهد موجود به‌دست آمده است. ممکن است پژوهشگر دیگری با نگرشی متفاوت نسبت به پدیده اقتصاد سیاه، پایگاه قواعد دیگری که مبین علل پدیده اقتصاد سیاه و روابط بین متغیرها است، ایجاد کند و نتایج متفاوتی با آنچه که در بالا بیان شد، به‌دست آورد. از این رو به‌طور معمول در این گونه سیستم‌ها که تبیین روابط بین متغیرهای سببی و وابسته، به نظرات شخص خبره بستگی پیدا می‌کند، استفاده از روش دلفی^۱ در کسب نظرات مختلف مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد.
- بر خلاف الگوهای اقتصاد سنجی، مدل‌سازی فازی هیچ‌گونه کمکی به کشف رابطه علی و معلولی بین متغیرها نمی‌کند. در واقع، شرط لازم در طراحی مدل‌های فازی کسب اطمینان از جریان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متغیرها بریکدیگر است. به همین علت این مدل‌ها را مدل‌های مبتنی بر دانش افراد خبره می‌نامند.
- در مورد پدیده‌هایی که در آن‌ها هم متغیرهای مستقل و هم متغیرهای وابسته قابل مشاهده و اندازه‌گیری هستند، یکی از روش‌های انتخاب بهینه توابع عضویت و پایگاه قواعد، استفاده از روش‌های مبتنی بر تئوری شبکه‌های عصبی مصنوعی^۲ است. ترکیب دو نظریه فازی و شبکه‌های

1. Delphi Method

2. Artificial Neural Networks

عصبی مصنوعی که اصطلاحاً آن را سیستم‌های فازی عصبی^۳ می‌نامند، می‌تواند کارایی مدل‌های فازی را در پیش‌بینی و شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای اقتصادی افزایش دهد.^۱

• روش‌های اقتصادسنجی به طور کلی مبتنی بر رگرسیون هستند. در رگرسیون فرض اصلی این است که کمیت‌های عددی مربوط به متغیرها دقیق هستند. با ابداع نظریه فازی، برخی از پژوهشگرین در زمینه رگرسیون فازی به پژوهش پرداخته‌اند (طاهری ۱۳۷۸). نتیجه این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از اعداد فازی ابزار بسیار مناسبی برای تحلیل رگرسیونی بر مبنای مشاهده‌های غیر دقیق و مبهم است. بنابراین، امکان بررسی و تعمیم مسایل اقتصادسنجی کلاسیک به اقتصاد سنجی فازی^۲ که مبتنی بر رگرسیون فازی و استنباط‌های آماری خاص آن است، وجود دارد. با توجه به جدید بودن موضوع در ایران و دنیا، انجام پژوهش‌هایی در این زمینه در قالب پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد و یا دکتری می‌تواند ارزشمند باشد.

• ایجاد سیستم‌های فازی مبتنی بر دانش افراد خبره، در حالتی که تعداد متغیرهای توضیحی و مستقل محدود باشند، نسبت به مدل‌های آماری آسان‌تر هستند. این سیستم‌ها به‌ویژه در مورد پدیده‌هایی مانند اقتصاد سیاه که اندازه‌گیری آنها امکان پذیر نبوده و به‌طوراصولی غیر قابل مشاهده هستند، نسبت به مدل‌های آماری توجیه پذیرتر هستند. هرچند که در مدل‌های اقتصادسنجی و آماری از ابزاری مانند متغیرهای مجازی یا متغیرهای غیر قابل مشاهده برای بیان کمیت‌های غیر قابل اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

3. Neuro-Fuzzy Systems

۱. احمدی (۱۳۸۱) در یک مطالعه موردی برای پیش‌بینی صادرات غیر نفتی کشور، نتیجه گرفته است که توان پیش‌بینی مدل‌های مبتنی بر سیستم‌های فازی عصبی بیشتر از مدل‌های ساختاری و سری زمانی در اقتصاد سنجی می‌باشند.

2. Fuzzy Econometrics

۶. نتیجه گیری

علی‌رغم رشد نظریه مجموعه‌های فازی طی سال‌های اخیر، کاربرد های این نظریه در اقتصاد محدود باقی مانده است. این مسأله نه به این علت که امکان به‌کارگیری نظریه فازی در اقتصاد وجود ندارد، بلکه به‌طور عمده ناشی از ناشناخته ماندن آن در میان اقتصاددانان است. نظریه فازی به مسایلی می‌پردازد که اولاً، با ابهام و نااطمینانی مواجه‌اند و ثانیاً، صحت استفاده از بنیان‌های ریاضی دقیق برای توصیف آنها با تردید همراه است. به‌عبارت دیگر، هر جا که مرز روشنی میان کلمات و مجموعه‌ها وجود نداشته باشد. و تعریف آنها از طریق ساختار ریاضیات کلاسیک امکان پذیر نباشد، نظریه مجموعه‌های فازی می‌تواند راهگشا باشد. در رشته های علوم انسانی و به‌ویژه اقتصاد که بخش اعظمی از پیشرفت‌های آنها در مدل‌سازی رفتارهای اجتماعی انسان‌ها در گرو به‌کارگیری ابزارهای ریاضی و آماری هستند، به‌کارگیری این نظریه بیش از سایر رشته‌های دیگر توجیه پذیر است. وقتی امکان خطا در داده‌های آماری مربوط به فعل و انفعالات اقتصادی جامعه وجود دارد، و وقتی که پیچیدگی‌های رفتار آدمی با کمک جملات مبهم و کلی بهتر وصف می‌شوند، دلیلی برای به‌کار نگرفتن این نظریه در مقایسه با روش‌های ریاضیات کلاسیک وجود ندارد.

در این مقاله، براساس نظریه مجموعه‌های فازی یک الگوی جدید برای مدل‌سازی و اندازه‌گیری اقتصاد سیاه در ایران بر اساس نظریه سیستم‌های فازی معرفی شد. هدف این مقاله به‌طور عمده معرفی الگوی فازی اندازه‌گیری اقتصاد سیاه بود، که در نوع خود یک روش جدید است. به‌همین علت تأکید بیشتری بر مفاهیم نظریه مجموعه‌ها و سیستم‌های فازی شد و از پرداختن به تاریخچه و مقایسه روش‌های کلاسیک اندازه‌گیری اقتصاد سیاه اجتناب شد.^۱

۱. کلیه محاسبات مربوطه در محیط MATLAB انجام شده است. اما نرم افزارهای دیگری مانند FuzzyTECH، SHAZAM۲۰۰۰ و یا کمی حوصله EXCEL نیز قابلیت انجام این محاسبات را دارند. مجله Fuzzy Sets and Systems که در اغلب دانشکده های برق و الکترونیک دانشگاه‌های کشور موجود است، حاوی مطالب و مقاله‌های بسیار ارزنده ای در زمینه های نظری و کاربردی منطق فازی بوده و علاقمندان می‌توانند برای آشنایی بیشتر با این منطق به مجله یادشده مراجعه کنند.

منابع

- احمدی، اکبر. (۱۳۸۱). آشنایی با سیستم‌های فازی عصبی: مطالعه موردی پیش بینی صادرات غیر نفتی کشور. ارائه شده در اولین همایش مدل‌های ناخطی و محاسباتی در اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی
- الهی، شعبان و آذر، عادل. (۱۳۷۷). منطق فازی رویکردی نوین به سیستم‌های مدیریت. مدرس علوم انسانی، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دوره دوم، شماره ششم، صفحات ۶۰-۱۳۱
- شکیبایی، علیرضا (۱۳۸۱). معرفی منطق فازی برای اندازه‌گیری سریهای زمانی مبهم ارائه شده در اولین همایش مدل‌های ناخطی و محاسباتی در اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی
- طاهری، سید محمود (۱۳۷۸). آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی. چاپ دوم، مشهد، جهاد دانشگاهی مشهد
- عرب مازار یزدی، علی. (۱۳۸۰). اقتصاد سیاه در ایران: اندازه، علل و آثار آن در سه دهه اخیر. مجله برنامه و بودجه، سال ششم، شماره ۶۲ و ۶۳
- کاسکو، بارت. (۱۳۷۷). تفکر فازی. (ترجمه: علی غفاری، عادل مقصودپور، علی رضا پور ممتاز و جمشید قسیمی). تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی.
- لی وانگ. (۱۳۷۸). سیستم‌های فازی و کنترل فازی. (ترجمه: محمد تشنه لب، نیما صفارپور، داریوش افیونی). تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی.
- Copejans, M. (2000). *Breaking the curse of Dimensionality*, mimeo, department of Economics, Duke University.
- Draeseke, R. and D.E.A. Giles. (1999). A Fuzzy Logic Approach to Modelling the Underground Economy, *proceedings of the International conference on Modelling and Simulation*. Vol.2, pp. 453-58
- Schnider, F. and Enste, D. (2000). Shadow Economies: Sizes, Causes and Consequences. *The Journal of Economic Literature*. Vol, 38 no.1
- Silverman, B.W. (1986). *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman and Hall, London.

Wang L. (1997). Combining mathematical model and heuristics into controllers: An adaptive fuzzy control approach. *Fuzzy Sets and Systems*, VOL. 89, pp.151-156.

Yager, R. (1998), Simultaneous solution of fuzzy models: an application to economic equilibrium analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, VOL.115, pp.339-49.

Zimmerman, H. (1996), *Fuzzy set Theory and its applications*, 3rd ed. Kluwer Academic Publishers, London.