دانشگاه شهید بهشتی، فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی، دوره ۱۳، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۱، ۱۳٤-۱۰۱، مقاله پژوهشی
Shahid Beheshti University, Quarterly Journal of Economics and Modelling Vol. 13, No. 4, Winter 2023, 101-134, Research Article

تجزیه و تحلیل و شناسایی اثر نوسان‌های قیمت نفت، طلا و ارز بر تراز تجاری در ایران: رویکرد رگرسیون‌های فازی و روش تاپسیس تعمیم‌یافته

سمیرا رضائی میرزا*، ابراهیم انواری، عبدالمجید آهنگری***، احمد کاظمی فرد*****

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۹/۲۲ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

چکیده:

نفت، طلا و نرخ ارز متغیرهای مهم اقتصادی هستند که تحولات اقتصاد جهانی را تحریک می‌کنند. در مطالعه‌ی حاضر به تجزیه و تحلیل و شناسایی روابط قیمت نفت، طلا و ارز بر تراز تجاری در ایران با استفاده از رهیافت نوین ترکیبی رگرسیون‌های فازی و تصمیم‌گیری‌های چند معیاره پرداخته شده است. بدین منظور، با بکارگیری داده‌های سالانه طی دوره‌ی ۹۹ -۱۳۵۷ از پنج الگوی رگرسیون فازی فرآرو و همکاران استفاده و الگوها با استفاده از روش تاپسیس تعمیم‌یافته رتبه‌بندی و از بین آن‌ها، الگوی رگرسیون وزنی فازی به عنوان الگوی منتخب معرفی شد. مطابق نتایج از بین متغیرهای قیمت نفت، طلا و ارز متغیر نرخ ارز دارای بیشترین اثرگذاری بر تراز تجاری کشور در طی دوره مورد بررسی بوده است. علاوه‌براین نتایج نشان داد استفاده از رویکردهای رگرسیونی با منطق‌های متنوع در طراحی تابع خطا برآوردهای دقیق‌تری از ضرایب را ایجاد می‌کند. محدوده حداقل و حداکثر تاثیر نرخ ارز بر تراز تجاری به صورت (۱.۴۷۴ و ۱.۳۸۲-) استخراج شد. این ضرائب رگرسیونی تجمیعی فازی نشان می‌دهد که اولویت اثرگذاری بر مقوله تراز تجاری به ترتیب عبارت از نرخ ارز، قیمت نفت و سپس قیمت طلا است. لذا به منظور بهبود تراز تجاری باید سیاست‌گذاری‌ها به اولویت نرخ ارز سپس قیمت نفت و در نهایت به قیمت طلا معطوف گردد.

کلید واژه‌ها: *قیمت نفت، طلا، نرخ ارز، تراز تجاری، رگرسیون فازی، روش تاپسیس تعمیم‌یافته.*
طبقه‌بندی JEL: *F19، G15، N20، Q30.*

* دانشجوی دکتری اقتصاد دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، Samira-Rezaeimirza@stu.scu.ac.ir
** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران (نویسنده مسئول) e.anvari@scu.ac.ir
*** دانشیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، a.ahangari@scu.ac.ir
**** استادیار گروه ریاضی دانشکده علوم ریاضی و کامپیوتر دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، a.kazemifard@scu.ac.ir

۱. مقدمه

بررسی آمار تجارت خارجی ایران طی چند دهه گذشته نشان می‌دهد، ایران همواره با کسری تراز تجاری روبرو بوده است. وضعیت تراز تجاری از مهم‌ترین متغیرهای کلان و استراتژیک در کشور است. از آنجا که با وجود تحریم‌های اقتصادی علیه کشور در دهه‌های گذشته، امکان استقراض از بازار جهانی به منظور تامین کسری تراز تجاری در کشور وجود نداشته است، برای بهبود تراز تجاری، توسعه صادرات غیر نفتی و رهایی از اقتصاد تک محصولی، سیاست‌گذاری‌های مناسبی لازم است (کازرونی و همکاران، ۱۳۹۸).

بارزترین ویژگی اقتصاد ایران وابستگی شدید به درآمدهای نفتی است. ساختار اقتصاد ایران به گونه‌ای است که تغییرات درآمدهای نفتی علاوه بر متغیر رشد اقتصادی، به طور غیر مستقیم روابط بین متغیرهای اقتصادی را نیز دچار تغییر می‌کند. بنابراین تجزیه و تحلیل روابط بین متغیرهای اقتصادی به منظور سیاست‌گذاری در کشور با توجه به ویژگی بارز اقتصاد کشور می‌تواند موفقیت قابل توجهی را به دنبال داشته باشد.

نفت، طلا و نرخ ارز متغیرهای برجسته اقتصادی هستند که تحولات اقتصاد جهانی را تحریک می‌کنند و تغییرات آن‌ها تأثیر عمیقی بر فعالیت‌های اقتصادی و تجارت بین‌الملل در همه کشورها می‌گذارد (بامس[1] و همکاران، ۲۰۱۷). قیمت نفت خام برای سیاست گذاران اقتصادی کشورهایی که این کالا به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی آن‌ها و همچنین در کشورهایی که قیمت نفت خام بخشی از ماتریس انرژی آن‌ها است، یک متغیر مهم و گاه تعیین کننده است. قیمت نفت به عنوان محرکه‌ی مهم نرخ ارز در اقتصاد جهانی در نظر گرفته می‌شود زیرا حجم بالایی از معاملات بین‌المللی نفت به دلار انجام شـــده و از این رو نوســـان قیمت نفت به طور قابل توجهی عملکرد متغیرهـــای کلیدی کلان اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (سینگال و همکاران[2]، ۲۰۱۹). بی‌ثباتی درآمدهای نفتی با اثرگذاری نرخ ارز و اجزای تراز تجاری می‌تواند

[1]. Bams
[2]. Singhal et al.

موجب تضعیف اثرگذاری نرخ ارز بر اجزای تراز تجاری شود. بی‌ثباتی درآمدهای نفتی موجب بی‌ثباتی نرخ ارز می‌شود و در نهایت بی‌ثباتی نرخ ارز با افزایش نااطمینانی در اقتصاد منجر به کاهش صادرات می‌گردد. از سوی دیگر بی‌ثباتی درآمدهای نفتی با ایجاد بی‌ثباتی در اقتصاد کلان و با کاهش انگیزه جذب هزینه‌ها در حاشیه سود بنگاه‌های وارد کننده، موجب افزایش شدید قیمت و ارزش کالای وارداتی می‌شود؛ بنابراین بی‌ثباتی درآمدهای نفتی با کاهش صادرات و افزایش واردات می‌تواند موجب تضعیف اثر نرخ ارز بر اجزای تراز تجاری شود. نفت و طلا دو کالایی هستند که به دلیل قابل معامله بودن مکرر، تجارت‌های بزرگ، نقدینگی بالا و همگام سازی حرکت آن‌ها، نقش بی بدیلی در اقتصاد دارند. نفت بیشترین کالای مورد معامله در جهان است که قیمت آن پرنوسان محسوب می‌شود (تیواری و سحادودین[1]، ۲۰۱۵). طی ۵۰ سال گذشته، طلا و نفت عموما از نظر قیمت با همبستگی مثبت ۸۰ درصد با هم حرکت کرده‌اند (ساری[2] و همکاران، ۲۰۱۰).

در این راستا در تحقیق حاضر، اثر نوسانات متغیرهای نفت، طلا و ارز بر تراز تجاری در ایران با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی و روش تاپسیس تعمیم‌یافته بررسی و نهایتاً نرخ ارز به عنوان اثرگذارترین متغیر بر تراز تجاری، شناسایی شده است. مطابق برخی از نتایج نرخ ارز به عنوان اثرگذارترین متغیر در این زمینه بوده است. در این تحقیق از داده‌های سالانه نرخ ارز، قیمت نفت و قیمت طلا با بکارگیری ۵ الگوی رگرسیون فازی فرآرو و همکاران، الگوی M- برآوردگر، الگوی کمترین انحرافات، الگوی رگرسیون وزنی فازی و الگوی کمترین مربعات فازی در مرحله اول با استفاده از سه متغیر و در مرحله دوم از متغیر نرخ ارز جهت اجرای الگو استفاده شده است. در مرحله آخر جهت رتبه بندی و شناسایی بهترین الگو از رویکرد نوین تصمیم‌گیری‌های چند معیاره و بکارگیری روش تاپسیس تعمیم‌یافته استفاده شده است. رگرسیون فازی در حالتی که ابهام در نوع

[1]. Tiwari and Sahadudheen
[2]. Sari

ارتباط بین متغیرهای مستقل و تابع وجود داشته باشد و یا فرضیات خطی‌سازی صدق نکند دارای مزیت مناسبی نسبت به رگرسیون کلاسیک است.

در ادامه قسمت دوم مبانی نظری و در ادامه مطالعات تجربی انجام گرفته ارائه شده است. قسمت سوم به روش شناسی تحقیق و معرفی الگو اختصاص دارد. قسمت چهارم به برآورد الگو و تجزیه و تحلیل داده‌ها اختصاص یافته و در انتهای مقاله نتیجه‌گیری و سیاست‌گذاری ارائه شده است.

۲. ادبیات موضوع

۲-۱. مبانی نظری

تغییر در نرخ ارز صادرات و واردات را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تضعیف یا تقویت نرخ ارز تأثیر مستقیمی بر تراز تجاری دارد (ارایز و همکاران[۱]، ۲۰۱۸). رابطه بین نرخ ارز و تراز تجاری از طریق نظریه‌های مختلفی همانند روش کشش[۲]، روش جذب[۳]، شرط مارشال لرنر[۴]، روش پولی[۵]، روش منحنی جی[۶]و الگوی دو کشور با جانشینی ناقص[۷] شرح داده شده است.

روش کشش اولین بار توسط بیکردیک[۸] (۱۹۲۰) معرفی و توسط رابینسون[۹] (۱۹۴۷) و متزلر [۱۰](۱۹۴۸) توسعه داده شد. این رویکرد بر مبنای اثرات جانشینی در مصرف و تولید است که از تغییرات در قیمت نسبی ناشی از نوسانات در نرخ ارز حاصل می‌شود. مطابق این روش واکنش حجم و ارزش صادرات و واردات به تغییرات در نرخ ارز بررسی

---

1. Arize et al.
2. Elasticity Approach
3. Absorption Approach
4. Marshall-Lerner Condition
5. Monetary Approach
6. J-Curve Approach
7. Two Country Imperfect Substitute Model
8. Bickerdike
9. Robinson
10. Metzler

می‌شود (علی و همکاران[1]، ۲۰۱۴).

مطابق شرط مارشال-لرنر[2] (مارشال، ۱۹۲۳؛ لرنر، ۱۹۴۴) تضعیف ارزش پول، تراز تجاری را بهبود می‌بخشد. اگر حجم صادرات و واردات به اندازه کافی نسبت به تغییرات نرخ ارز حقیقی کشش‌پذیر باشد یا به تعبیر بهتر اگر مجموع قدرمطلق کشش قیمتی تقاضای صادرات و واردات بزرگتر از یک باشد آنگاه در بلندمدت تضعیف ارزش پول، تراز تجاری کشور را بهبود خواهد داد (دونگ[3]، ۲۰۱۷).

روش جذب توسط الکساندر[4] (۱۹۵۲) و به عنوان جایگزینی برای رویکرد کشش توسعه داده شد. در این روش تراز تجاری به صورت تفاوت بین مجموع درآمد داخلی و مجموع مخارج داخلی تعریف شده است.

$$Y= C+I+G+(X-M) \qquad (۱)$$

در رابطه فوق C مصرف، I سرمایه‌گذاری، G مخارج دولت، X صادرات و M واردات است. اگر ($C+I+G$) یا جذب را با A و تراز تجاری کالاها و خدمات یا صادرات خالص را با $B= X-M$ نشان دهیم، در این‌صورت خواهیم داشت.

$$Y= A+B \quad \text{یا} \quad B=Y-A \qquad (۲)$$

اگر تولید داخلی کل (Y) بیشتر از جذب (مخارج کل) باشد، در این صورت کشور مازاد تولید داخلی را صادر خواهد کرد و در نتیجه مازاد تراز تجاری ایجاد می‌شود. در مقابل، اگر جذب بیشتر از تولید داخلی باشد، $Y-A$ منفی خواهد شد و با توجه به رابطه (۲) تراز تجاری نیز منفی خواهد شد، در نتیجه به راحتی می‌توان دید که اگر تقاضای داخلی بیشتر از تولید داخلی باشد منجر به واردات خواهد شد.

روش جذب به‌طور معمول مربوط به اثرات تضعیف ارزش پول داخلی روی تراز تجاری است. با فرض وجود منابع بیکار در اقتصاد و با فرض مقدار ثابت جذب، اگر

---

1. Ali et al.
2. Marshal-Lerner
3. Dong
4. Alexander

تضعیف ارزش پول داخلی (با برقراری شرط مارشال-لرنر) منجر به افزایش در صادرات خالص گردد، تولید داخلی (Y) می‌تواند افزایش یابد. در مقابل در شرایط اشتغال کامل امکان افزایش تولید کالاها و خدمات وجود ندارد. در این شرایط اگر تضعیف ارزش پول انجام شود، صادرات خالص افزایش خواهد یافت (ملوین [1]، ۲۰۱۲).

روش پولی، تراز تجاری را از طریق عرضه و تقاضای پول توضیح می‌دهد، در این روش عرضه پول توسط دولت و از طریق بانک مرکزی مدیریت می‌شود. بر اساس این رویکرد، در شرایطی که تقاضای داخلی پول بیشتر از عرضه پول توسط بانک مرکزی باشد، برای پرکردن شکاف مازاد تقاضای پول نیاز به تأمین پول از کشورهای خارجی خواهد بود و در نتیجه ممکن است وضعیت تراز تجاری بهبود یابد. برعکس، در شرایطی که توسط مقامات پولی مازاد عرضه پول در اقتصاد داخلی ایجاد گردد این مسأله می‌تواند منجر به خروج پول از اقتصاد شده و در نتیجه وضعیت تراز تجاری بدتر شود (دوسا [2]، ۲۰۰۷).

روش دیگر برای تعریف رابطه بین نرخ ارز و تراز تجاری الگوی دو کشور با جانشینی ناقص رز و یلن[3] (۱۹۸۹) است. این روش نشان‌دهنده رابطه نرخ ارز حقیقی و تراز تجاری در کوتاه‌مدت و بلندمدت است. در این روش مانند تحلیل تقاضای مارشالی، مقدار کالاهای وارداتی تقاضا شده توسط مصرف‌کنندگان داخلی(خارجی) تابعی مثبت از درآمد واقعی کشور داخلی(خارجی) و تابعی منفی از قیمت نسبی کالاهای وارداتی است.

$$D_m = D_m(Y, p_m) \qquad D_m^* = D_m^*(Y^*, p_m^*) \qquad (۳)$$

در رابطه فوق D_m وD_m^* به‌ترتیب مقدار کالاهای وارداتی توسط کشور داخلی و خارجی، Y و Y^* به ترتیب سطح درآمد واقعی کشور داخلی و خارجی، p_m قیمت نسبی کالاهای وارداتی بر حسب پول داخلی به کالاهای تولید شده در داخل کشور بر حسب

1. Melvin
2. Duasa
3. Rose and Yellen

پول داخلی و p^*_m به‌طور مشابه قیمت نسبی کالاهای وارداتی به کشور خارجی را نشان می‌دهد. همچنین با فرض بازار رقابت کامل بر اساس این الگوی تابع عرضه کالاهای صادراتی به‌صورت زیر است.

$$S_x = S_x(P_x) \qquad S_x^* = S_x^*(P_x^*) \tag{۴}$$

در رابطه فوق S_x و S_x^* به ترتیب عرضه کالاهای صادراتی کشور داخلی و خارجی، P_x قیمت نسبی کالاهای صادراتی کشور داخلی، به‌صورت نسبت قیمت کالاهای صادراتی به پول داخلی(P_x) به سطح قیمت داخلی (P) و P_x^* قیمت نسبی کالاهای صادراتی کشور خارجی که به‌صورت قیمت کالاهای صادراتی به پول خارجی (P_x^*) تقسیم بر سطح قیمت خارجی (P^*) تعریف می‌شود.

بنابراین قیمت نسبی کالاهای وارداتی داخلی به‌صورت زیر است:

$$P_m = EP_x^*/P = (EP^*/P)(P_x^*/P^*) = REXP_x^* \tag{۵}$$

به طوری که E نرخ ارز اسمی و $REX = EP^*/P$ نرخ ارز حقیقی است. بر این اساس در حالت تعادل مقدار تجارت و قیمت نسبی کالاهای صادراتی در هر کشور از طریق دو شرط تعادل زیر تعیین می‌گردد.

$$D_m = S_x^* \qquad S_x = D_m^* \tag{۶}$$

همچنین ارزش تراز تجاری کشور داخلی برابر تفاوت بین ارزش صادرات و ارزش واردات برحسب پول داخلی است.

$$B = P_x.D_m^* - REX.P_x^*.D_m \tag{۷}$$

در نهایت تراز تجاری مطابق معادلات (۳) تا (۷) به صورت خلاصه زیر است (بهمنی اسکویی و راتا[1]، ۲۰۰۴).

$$B = B(REX, Y, Y^*) \tag{۸}$$

(لی و و چانگ[2]، ۲۰۱۵). بررسی تحولات قیمت نفت بر بازارهای مالی از آن جهت

[1]. Bahmani-Oskooee and Ratha
[2]. Le and Chang

اهمیت دوچندان دارد که عوامل تأثیرگذار بر این بازار، به شدت سایر بازارهای مالی را متأثر می‌سازند. طی سال‌های اخیر نوسانات قیمت جهانی نفت در مقایسه با نوسانات سایر کالاها حداقل دو برابر بوده است. مفهوم نوسانات بیشتر قیمت جهانی نفت این است که ادوار تجاری و نیز عملکرد سایر بازارهای مالی دائماً تحت تأثیر نوسانات قیمت جهانی نفت قرار دارد (فیلیز و همکاران[1]، ۲۰۱۱).

۲-۲. پیشینه تحقیق

بهمنی اسکویی و هیگرتی[2] (۲۰۱۰) در تحقیقی به بررسی رابطه تلاطم نرخ ارز و تجارت کالایی آمریکا با سایر نقاط جهان در سطح صنعت با استفاده از داده‌های ماهانه ژانویه۱۹۹۱ تا دسامبر ۲۰۰۷ و روش هم‌جمعی و الگوی تصحیح خطا پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تنها ۳۶ درصد از صنایع وارداتی و ۳۰ درصد از صنایع صادراتی مورد مطالعه به‌طور معناداری از طریق تلاطم نرخ ارز تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. همچنین در بلندمدت تنها تراز تجاری ۲۰ درصد از صنایع در اثر تضعیف ارزش دلار بهبود پیدا کرده‌اند. وانگ و همکاران[3] (۲۰۱۲) به بررسی وجود منحنی جی کوتاه‌مدت و اثرات بلندمدت نرخ واقعی ارز روی تراز تجاری چین با ۸ شریک تجاری این کشور با استفاده از داده‌های دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۵ و روش هم‌جمعی و تصحیح خطای برداری الگوی داده‌های تابلویی پرداختند. نتایج نشان‌دهنده منحنی جی معکوس بین چین و شرکای تجاری این کشور بوده است. بنرجی و همکاران[4] (۲۰۱۷) به مطالعه و بررسی رابطه همزمان نرخ ارز و عوامل ساختاری بر تراز تجاری چین در برابر کشورهای طرف تجاری منتخب چین با استفاده از داده‌های سالانه دوره ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۴ و الگوی خودبازگشت برداری از نوع داده‌های تابلویی پرداختند. نتایج نشان داد نرخ ارز حقیقی و

---

1. Filis et al.
2. Bahmani-Oskooee and Hegerty
3. Wang et al.
4. Banerjee et al.

تغییرات ساختاری در ترکیب صادرات مؤلفه‌های اصلی برای ایجاد تحرک در تراز تجاری کشور چین بوده و افزایش نرخ ارز حقیقی مازاد تجاری را کاهش داده است.

آریزا و همکاران[1] (۲۰۱۸) در مقاله‌ای به بررسی تاثیر نرخ ارز موثر واقعی بر تراز تجاری هشت کشور با رویکرد تکنیک‌های غیرخطی، به ویژه الگوی غیرخطی اتورگرسیو با تاخیر توزیعی[2] پرداختند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل انباشتگی بلند مدت، تجزیه و تحلیل کوتاه‌مدت و نیمه عمر نشان داد هنگامی که استهلاک از ارزش افزوده جدا شود، اثرات قابل‌توجهی بر تراز تجاری در یک الگوی نامتقارن داشته است. شان لین و همکاران[3] (۲۰۱۸) به بررسی نقش محدودیت‌های اعتباری در تعیین اثر تجاری و بی‌ثباتی نرخ ارز با استفاده از الگوی تعادل عمومی و داده‌های دوره ۲۰۰۰- ۱۹۷۰ مجموعه‌ای از ۱۳۲ کشور پرداخته و یک الگوی تعادل عمومی اقتصاد باز کوچک را با محدودیت‌های اعتباری توسعه دادند. مطابق نتایج تفاوت قابل‌توجه اثرات تجاری برآورد شده با بی‌ثباتی نرخ ارز در بخش‌های مختلف وجود داشته است و بسته به درجه محدودیت‌های اعتباری می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

بهمنی اسکویی و گلان[4] (۲۰۱۹) در تحقیقی نمونه‌ای از دوازده کشور آفریقایی را برای بررسی تاثیر بی‌ثباتی نرخ واقعی بر جریان‌های تجاری آن‌ها مورد مطالعه قرار دادند. همچنین به منظور تشخیص تاثیر متمایز بی‌ثباتی نرخ ارز حقیقی بر صادرات و واردات آن‌ها، هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت، از رویکرد آزمون کرانه‌ها استفاده کردند. مطابق نتایج در حالی که بی‌ثباتی نرخ ارز بر جریان‌های تجاری بسیاری از کشورهای نمونه در کوتاه‌مدت تاثیر می‌گذارد، اثرات بلندمدت تنها بر صادرات پنج کشور و بر واردات تنها یک کشور محدود شده‌است و سطح فعالیت اقتصادی در جهان و در داخل به ترتیب به عنوان عوامل اصلی تعیین‌کننده صادرات و واردات شناسایی

1. Ariza et al.
2. NARDL
3. Shu Lin et al.
4. Bahmani-Oskooee and Gelan

شدند.

افیونگ و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی تأثیر تراز تجاری و حرکت نرخ ارز بر رشد اقتصادی در نیجریه با استفاده ازیک رویکرد تفکیک شده پرداختند. نتایج نشان داد که ذخایر خارجی، تورم و کل تراز تجاری، تأثیر قابل‌توجهی بر رشد اقتصادی دارند و محرک‌های اصلی نرخ ارز در نیجریه هستند. همچنین یافته‌ها نشان داد که تحریک تولید داخلی برای تقویت صادرات غیرنفتی به تضمین ثبات نرخ ارز کمک می‌کند که باعث رشد اقتصادی در نیجریه می‌شود.

چکیلی(۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی پیوندهای بین طلا، قیمت نفت و بازارهای سهام اسلامی در یک محیط تغییر رژیم با استفاده از الگوی VAR استاندارد و مارکوف سوئیچینگ پرداخت. که نتایج تجربی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: روابط معناداری بین بازارهای در نظر گرفته شده وجود دارد علامت پیوندها بسته به بازارها و رژیم‌ها به طور قابل توجهی متفاوت است. بین نفت و بازارهای سهام اسلامی رابطه مثبت و معناداری وجود دارد، منفی بودن یا نبودن رابطه بین بازار طلا و هر دو بازار نفت و بورس اسلامی نشان می‌دهد که طلا می‌تواند به‌عنوان یک محافظ و پناهگاه امن در شرایط شدید بازار عمل کند.

سعادت و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر نوسانات نرخ ارز بر صادرات ایران به ونزوئلا با استفاده از داده‌های سالانه ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲ و روش خودبازگشت با وقفه‌های توزیعی و الگوی تصحیح خطا پرداخته‌اند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که ضریب نااطمینانی نرخ ارز در کوتاه‌مدت تأثیر معنادار و منفی بر صادرات ایران به ونزوئلا داشته ولی در بلندمدت اثر معناداری بر صادرات مشاهده نشده است.

الیاس‌پور و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر نرخ ارز حقیقی و نااطمینانی آن بر تجارت ایران با استفاده از داده‌های فصلی دوره ۱۳۹۵-۱۳۷۴ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در بلندمدت و در هر سه الگوی برآوردی، نرخ ارز حقیقی تأثیر

منفی و معناداری بر صادرات غیرنفتی، واردات و تراز تجاری ایران و همچنین نااطمینانی نرخ ارز حقیقی تأثیر مثبت بر صادرات غیرنفتی و تراز تجاری ایران و تأثیر منفی بر واردات ایران داشته است.

ابوالحسن بیگی و مهدوی (۱۳۹۸) در تحقیقی به بررسی اثر غیرخطی نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری غیرنفتی تحت شرایط نااطمینانی اقتصاد کلان ایران طی دوره ۱۳۵۲ -۱۳۹۶پرداختند. برای این منظور ابتدا شاخص ترکیبی نااطمینانی اقتصادی را با استفاده از متغیرهای شاخص قیمت مصرف کننده، ذخایر ارزی، نرخ ارز، کسری بودجه و نرخ سود سپرده‌های بلندمدت محاسبه نموده و سپس الگوی پژوهش را با استفاده از رهیافت مارکوف- سوئیچینگ برآورد کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نااطمینانی اقتصاد کلان در ایران، قابل تفکیک به دو رژیم شامل نااطمینانی بالا و پایین بوده است. اثر مستقیم نرخ ارز حقیقی بر تراز تجاری در هر دو رژیم مثبت و معنادار بوده است.

فتاحی و کیان‌پور (۱۳۹۹) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر گسترش ویروس کووید ۱۹ بر وابستگی بین بازدهی بورس، بازدهی طلا در ایران با رویکرد توابع کاپیولا با استفاده از روش توابع کاپولا و شبیه‌سازی مونت کارلو با زنجیره مارکوف پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بین بازدهی بازار بورس و بیماری کووید ۱۹ وابستگی دنباله‌ای بالایی و پایینی مشابه وجود دارد همچنین در زمان بازدهی شدید مثبت و منفی، وابستگی آن‌ها بیشتر خواهد شد و به عبارت دیگر سرایت و بین بازارهای طلا و بیماری کووید ۱۹ وابستگی دنباله‌ای متقارن وجود دارد. بنابراین با گسترش شیوع کووید ۱۹، بازدهی بازار طلا ثابت باقی مانده است. دادگر وهمکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به بررسی همزمانی سیکل‌های نرخ ارز با قیمت نفت، قیمت طلا و ارزش سهام در ایران بر اساس الگوی مارکف-سوئیچینگ با ساختار مؤلفه‌ای پرداختند. مطابق نتایج میان نرخ ارز با طلا، نفت و سهام رابطه مثبت و موافق چرخه‌ای وجود داشته است.

یکی از ویژگی متفاوت این مطالعه در مقایسه با مطالعات مشابه، تجزیه و تحلیل و

شناسایی روابط بین بازارهای نفت و طلا و ارز و اثر آن بر تراز تجاری با استفاده از رهیافت جدیدی از بهینه‌سازی رگرسیونی فازی در پیوند با نظریه تصمیم گیری‌های چندمعیاره است. این رویکرد در حقیقت به دنبال یافتن بهترین روابط بین این متغیرها در نسبت با تراز تجاری است که مبتنی بر یکی از جدیدترین رویکردهای بهینه سازی رگرسیونی و علاوه بر آن یکی از جدیدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، یعنی تاپسیس تعمیم‌یافته که توسط کاظمی‌فرد (۲۰۲۰) انجام شده است است. یکی از چالش‌های مهم استفاده از روش‌های رگرسیونی آن است که تا کنون ملاک مشخصی برای انتخاب مناسب‌ترین الگو برازش توسط الگوهای رگرسیونی وجود نداشته است لذا در مقالات مربوطه صرفا بر اساس یک معیار نیکویی برازش دلخواه، الگوی رگرسیونی مطلوب انتخاب شده است. اما این چالش در یکی از مقالات بسیار جدید توسط کاظمی‌فرد و چاچی[1] (۲۰۲۲) که از مراجع عمده این مقاله است و در یکی از معتبرترین مجلات حوزه الگوسازی انتشار یافته است حل و فصل گردیده و مطالعه‌ی ما در حقیقت نخستین پژوهشی است که مبتنی بر این دستاورد انجام شده است.

۳. روش‌شناسی تحقیق (رگرسیون‌های فازی و تنوع معیارهای نیکویی برازش)

تحلیل الگوهای آماری به ویژه الگوهای رگرسیونی جایگاه مهمی در مطالعات داده محور دارد. از طرفی تعمیم تحلیل‌های رگرسیونی کلاسیک به داده‌هایی که ماهیتا دارای ابهام هستند به همراه ضعف دقت ابزارهای اندازه‌گیری، منجر به ابداع الگوهای متنوع و مختلفی در قالب رگرسیون‌های فازی شده است. این نوع از الگوهای رگرسیون که به طور عمده دارای دسته‌بندی‌هایی مانند رویکردهای امکانی و رویکردهای کمترین توان دوم خطا در تحلیل داده‌های فازی یا داده‌های با مقادیر بازه‌ای هستند، در ابتدا توسط تاناکا و همکاران[2] (۱۹۸۹) ابداع شدند. پس از آن تحقیقات گسترده در این زمینه منجر

[1]. Kazemifard and Chachi
[2]. Tanaka et al.

به دست آوردهای متنوعی در زمینه الگوسازی‌های رگرسیونی فازی شده است. اهمیت مطالعات الگوسازی‌های رگرسیونی در تحقیق چوخوروا و یوهانسون[1] (۲۰۱۹) بررسی شده است.

رگرسیون‌های فازی که برای تحلیل برازش داده‌ها در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند نسبت به رگرسیون‌های کلاسیک، دارای مزیت‌های متعددی هستند. بویژه آنکه در شرایطی مانند ناکافی بودن داده‌های مشاهده‌ای، عدم تبعیت خطاها از توزیع نرمال، ابهام در نوع ارتباط بین متغیرهای مستقل و تابع و عدم صدق فرضیات خطی سازی که در آن‌ها نمی‌توان از رگرسیون‌های کلاسیک استفاده کرد، می‌توان از رگرسیون‌های فازی بهره برد.

از طرفی همانگونه که می‌دانیم برای ارزیابی تناسب هر الگوی رگرسیونی فازی مشابه با الگوهای رگرسیونی کلاسیک، در برازش بر مجموعه‌ای از داده‌ها، از یک معیار برازش خاص ارزیابی می‌شود که بیانگر میزان مطلوبیت برازش است اما تنوع معیارهای نیکویی برازش نیز به نوبه خود یک چالش آماری محسوب می‌شود. در این تحقیق با هدف انتخاب بهترین رگرسیون فازی برای برازش داده‌ها از رویکردی جدید با در نظر گرفتن روش نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس تعمیم‌یافته استفاده شده است.

۱-۳. رگرسیون‌های فازی

شکل کلی یک الگوی رگرسیون فازی برای داده‌های ورودی فازی و داده‌های خروجی فازی به صورت زیر است.

$$\tilde{y} = \widetilde{f_{\alpha(x)}} \qquad (۹)$$

در رابطه فوق $\tilde{y} = [\widetilde{y_1}, \dots, \widetilde{y_n}]$ مقدار برداری فازی متغیر خروجی، α یا$(\tilde{\alpha})$ یک پارامتر برداری دقیق (یا فازی) و $f_\alpha(0)$ رابطه بین متغیرهای ورودی–خروجی است.

[1]. Chukhorova and Johanson

روش‌های برآورد حداقل مربعات (LS) و حداقل انحرافات مطلق (LAD) در الگوسازی رگرسیون فازی در ادبیات تحقیق فرمول‌بندی شده‌اند. در هر دو رویکرد، الگوهای بهینه عمدتاً با به حداقل رساندن مجموع مجذورات انحرافات بین $\tilde{y}$ (مقادیر مشاهده‌شده فازی متغیر پاسخ) و همتای نظری آن $\widetilde{f_{\alpha(x)}}$ با توجه به فاصله مناسب D بین اعداد فازی قابل استخراج است.

$$\min_{\alpha} \sum_{i=1}^{n} D^2\left(\tilde{y}_i, \widetilde{f_a(X_i)}\right), \quad \text{یا} \quad \min_{\alpha} \sum_{i=1}^{n} D\left(\tilde{y}_i, \widetilde{f_a(X_i)}\right). \qquad (۱۰)$$

در این راستا با استفاده از عملگرهای وزنی و تجمع وزنی مجذور خطاها یا انحرافات، بسیاری از انواع تجمع ساده و طبیعی را در الگوسازی رگرسیون فازی، مانند میانگین حسابی مورد استفاده در روش‌های LS و LAD به شرح زیر تعمیم داده شده‌اند.

$$min_{\alpha} \sum_{i=1}^{n} \omega_i D^2\left(\tilde{y}_i, \widetilde{f_a(X_i)}\right), \quad \text{یا} \quad min_{\alpha} \sum_{i=1}^{n} \omega_i D\left(\tilde{y}_i, \widetilde{f_a(X_i)}\right). \qquad (۱۱)$$

از آن جا که $i = 1, \dots, n, w_i$ مقادیر وزنی منحصر بفرد هستند i^{th} باید به درستی تعیین شود. بنابراین، با استفاده از فاصله شناخته شده D بین اعداد فازی، می‌توان مطالعات زیادی را در چارچوب الگوسازی رگرسیون فازی پیشنهاد کرد که در آن هر ترکیبی از متغیرهای ورودی، ضرایب و متغیر خروجی می‌تواند فازی یا دقیق باشد. در این راستا، در ادبیات تحقیق چندین روش تخمین فرموله و تکنیک‌های زیادی برای تحلیل چنین مسئله‌ای در محیط‌های فازی استفاده شد. بسیاری از تحقیقات کلیدی و مقالات کاربردی در مورد این موضوع توسط چوخورا و یوهانسن[1] (۲۰۱۹) ذکر شده است. در نمونه‌ای از رویکردهای رگرسیونی جدید تخمینی که در این مقاله برای تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند ارائه می‌گردد. این رویکردها واجد دو ویژگی مهم هستند، نخست این که پیشرو بوده و در سال‌های اخیر منتشر شده‌اند و دیگری این که دارای منطق‌های متنوعی در طراحی تابع خطا هستند.

[1]. Chukhrova and Johannssen

عارف[1] (۲۰۲۰) برای تخمین و تحلیل داده‌های فازی از الگوی زیر استفاده کرده است.

$\widetilde{f_{\alpha(x)}} = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p) = (\hat{y}_i, \hat{l}_i, \hat{r}_i)_{LL}$.

تخمین پارامترها $\widetilde{\alpha_j} = (\alpha_j, \sigma_j, \theta_j)$ و $j=0,1 \dots, p$ بر اساس مینیمم کردن تابع هدف زیر است:

$$\sum_{i=1}^{n}[p_\tau(y_i - \widehat{y_i}) + p_\tau((y_i - \hat{y}_i) - c(l_i - \hat{l}_i)) + p_\tau((y_i - \hat{y}_i) + c(r_i - \hat{r}_i))] \quad (۱۲)$$

که در آن c یک تابع هزینه است و برای محاسبه چندک از داده‌های فازی تعریف شده است و می‌نیمم سازی تابع هدف زیر ملاک عمل است.

$$\sum_{i=1}^{n}[(1-\tau)(e_i^- + v_i^- + w_i^-) + \tau(e_i^+ + v_i^+ + w_i^+)] \quad (۱۳)$$

خمر[2] (۲۰۲۰) برای تخمین و تحلیل داده‌های فازی از الگوی زیر استفاده شده است.

در *رگرسیون وزنی فازی*[3] معرفی شده توسط چاچی[4] (۲۰۱۹) برای تخمین و تحلیل داده‌های فازی از الگوی زیر استفاده شده است.

$$\widetilde{f_\alpha(x)} = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p), \quad (۱۴)$$

برای مقابله با محدودیت‌های غیرمنفی گسترش متغیر پاسخ، از تبدیل لگاریتمی گسترشی زیر استفاده می‌شود.

$$((y, \log(l), \log(r)) = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p) \quad (۱۵)$$

که در آن از تابع بهینه سازی زیر برای کنترل خطاها و تخمین ضرایب $\widetilde{\alpha_0} = (\alpha_j, \sigma_j, \theta_j)_{LR}$ استفاده می‌شود.

$$E = \sum_{i=1}^{n} w_i \left(\left(y_i - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \alpha_j \right)^2 + c_1 \left(\log(l_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \sigma_j \right)^2 + c_1 \left(\log(r_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \theta_j \right)^2 \right) \quad (۱۶)$$

---

1. Aaref
2. Khammar
3. Weghited Fuzzy
4. Chachi

فرآرو و همکاران[1] (۲۰۱۰) نیز جهت تخمین و تحلیل داده‌های فازی از الگوی زیر استفاده کرده است.

$$\widetilde{f_\alpha(x)} = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p) \quad (۱۷)$$

به منظور بهینه‌سازی برای کنترل خطاها و تخمین ضرایب $\widetilde{\alpha_0} = (\alpha_j, \sigma_j, \theta_j)_{LR}$ از تابع بدون وزن زیر استفاده می‌شود.

$$E = \sum_{i=1}^{n} \left(\left(y_i - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \alpha_j \right)^2 + c_1 \ \left(log\,(l_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \sigma_j \right)^2 + c_1 \ \left(log\,(r_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \theta_j \right)^2 \right)$$

$$\widetilde{f_\alpha(x)} = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p) \quad (۱۸)$$

ژو و لی[2] با اعمال روش کمترین مربعات[3] فازی به برآورد الگوی رگرسیون فازی پرداختند. در این رویکرد از الگوی زیر جهت تخمین و تحلیل داده‌های فازی استفاده کرده است.

$$\widetilde{f_\alpha(x)} = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p) \quad (۱۹)$$

از تابع بهینه سازی زیر برای کنترل خطاها و تخمین ضرایب $\widetilde{\alpha_0} = (\alpha_j, \sigma_j, \theta_j)_{LR}$ استفاده می‌شود:

$$E = \sum_{i=1}^{n} \left(\left(y_i - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \alpha_j \right)^2 + c_1 \ \left(l_i \right) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \sigma_j \right)^2 + c_1 \ \left((r_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \theta_j \right)^2 \right) \quad (۲۰)$$

چاچی و همکاران[4] (۲۰۲۲) با استفاده از رویکرد M-Estimation برای تخمین و تحلیل داده‌های فازی از الگوی زیر استفاده کرده است.

$$\widetilde{f_\alpha(x)} = \widetilde{\alpha_0} \oplus (\widetilde{\alpha_1} \otimes x_1) \oplus \dots \oplus (\widetilde{\alpha_p} \otimes x_p) \quad (۲۱)$$

در این روش از تابع بهینه سازی $E = \sum_{i=1}^{n} \rho(E_i)$ برای کنترل خطاها و تخمین

---

1. Ferraro et al.
2. Xu and Li
3. LA-Method
4. Chachi et al.

ضرایب $\widetilde{\alpha_0} =(\alpha_j , \sigma_j , \theta_j)_{LR}$ استفاده می‌شود که در آن

$$E = \sum_{i=1}^{n} \left(\left(y_i - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \alpha_j \right)^2 + c_1 \ \left(log\,(l_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \sigma_j \right)^2 + c_1 \ \left(log\,(r_i) - \sum_{j=0}^{p} x_{ij}\, \theta_j \right)^2 \right) \quad (۲۲)$$

و به ازای پارامتر توافقی k:

$$\rho(E_i) = \begin{cases} {E_i}^2 & E_i \ < 1.345 \\ k\left(|E_i \ | - \frac{k}{2} \right) & E_i \ \geq 1.345 \end{cases} \quad (۲۳)$$

۲-۳. الگوی تاپسیس

هر مسئلهٔ تصمیم‌گیریِ چندمعیاره انتخاب یک یا چند گزینه از بین تعدادی گزینهٔ در دسترس بر اساس تعدادی شاخص است(کاظمی‌فرد و صادقیان ۱۳۹۹). معمولاً اطلاعات مربوط به هر مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره که در آن گزینه‌ها عبارتند از $A_1,...,A_m$ و شاخص‌ها نیز $X_1,...,X_n$، در قالب یک ماتریس مانند $[\mathrm{r_{ij}}]_{\substack{1\le i\le m \\ 1\le j\le n}}$ که اصطلاحاً ماتریس تصمیم‌گیری نام دارد ساماندهی می‌شود. در این ماتریس (برای هر $1 \le i \le m$ و $1 \le j \le n$)، r_{ij} به معنای ارزش یا وضعیت گزینهٔ i ام در رابطه با شاخص jام و هدف نهایی آن است که بین گزینه‌های مسئله، رتبه‌بندیِ مطلوبیت مشخص گردد از آنجا که الگوی تاپسیس، الگویی شناخته شده است (کاظمی‌فرد و صادقیان، ۱۳۹۹) از معرفی آن صرفنظر کرده و بحث را با معرفی یکی از جدیدترین تعمیم‌های آن ادامه می‌دهیم.

۳-۲-۱- الگوریتم الگوی تاپسیس تعمیم‌یافته

بواسطه اهمیت چشمگیر الگوی تاپسیس، ایجاد تعمیم‌هایی از الگوریتم آن همواره در دستور کار محققان ذیربط بوده است. از جمله چنین تلاش‌هایی ابداع الگوی تاپسیس تعمیم‌یافته است که در مقاله حاضر نیز مورد استفاده قرار گرفته است

خلاصه‌ای از الگوریتم این الگوی از قرار زیراست. فرض کنیم مطلوبیت متناظر با

شاخص jام توسط تابع عضویت فازی $\mu_{C_j}(x)$ مشخص شده باشد. رابطه هم‌ارزی $\sim$ را روی $\mathrm{Supp}(C_j)$ به‌صورت‌زیر تعریف می‌کنیم:

$$\forall a,b \in \mathrm{Supp}(C_j), a \sim b \Leftrightarrow \mu_{C_j}(a) = \mu_{C_j}(b) \quad (۲۴)$$

که در اینجا مجموعه فازی مانند C_j با مجموعه‌ی مرجع U عبارت است از:

$$\mathrm{Supp}(C_j) = \left\{x \in U \mid \mu_{C_j}(a) > 0\right\} \quad (۲۵)$$

اکنون فرض کنیم افراز حاصل از این رابطه هم‌ارزی بصورت زیر باشد.

$$\mathrm{Supp}(C_j)/\sim = \{P_\gamma^j | \gamma \in \Omega^j\} \quad (۲۶)$$

که در آن $\boldsymbol{\Omega^j}$ یک مجموعه اندیس‌گذار است.

اگر $\mathbf{r_{ij}} \in \mathbf{P_\gamma^j}$ آنگاه با نگاشت

$$\left([r_{ij}]_{i=1}^m\right)^T \to \left([\hat{r}_{ij}]_{i=1}^m\right)^T \quad (۲۷)$$

باشد که در آن

$$\hat{r}_{ij} := \inf(P_\gamma^j) \quad (۲۸)$$

مجموعه داده‌های متناظر با شاخص C_j به عنوان ورودی الگوی تاپسیس در نظر گرفته خواهد شد. با انجام این فرایند برای تمامی شاخص‌ها، مسأله قابل تحلیل توسط الگوی TOPSIS خواهد بود. در این راستا لازم است که از اعداد فازی LR استفاده شود که با توابع عضویت چپ (L) و تابع راست (R) بصورت زیر معرفی می‌شوند:

$$\underset{\tilde{C}}{\mu}(x) = (\eta_1, \eta_2, \xi_1, \xi_2)_{LR} = \begin{cases} L\left(\frac{\xi_1 - x}{\xi_1 - \eta_1}\right) & \eta_1 \le x \le \xi_1 \\ 1 & \xi_1 \le x \le \xi_2 \\ R\left(\frac{x - \xi_2}{\eta_2 - \xi_2}\right) & \xi_2 \le x \le \eta_2 \end{cases} \quad (۲۹)$$

که در آن $\mathrm{Supp}(\tilde{C}) = (\eta_1, \eta_2)$ محمل $\tilde{C}$ بوده و توابع چپ و راست دارای ویژگی‌های عمومی زیر هستند.

توابع $L(x)$ $(R(x))$: $[0,\infty) \to [0,1]$ ، توابعی نزولی (و مشتق پذیر) هستند، به‌طوری‌که:

اگر در ماتریس تصمیم‌گیری A، تبدیل $C_j \longrightarrow \varphi^j(C_j)$ را انجام دهیم، شاخص j ام با حفظ مقیاس، ورودی مناسب برای استفاده در الگوی تاپسیس خواهد بود زیرا تابع $L^{(j)}(x)$ نزولی و لذا تابع $L^{(j)}\left(\frac{\xi_1^j - x}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right)$ در دامنه خود صعودی و دارای مشتق مثبت و تابع $\varphi^j(x)$ در بازه ی $\xi_2^j \le x \le \eta_2^j$ نزولی و لذا دارای مشتق منفی بوده و در نتیجه با توجه به این که $\eta_1^j \le \varphi^j(x) \le \xi_1^j$ و نیز نامنفی بودن $\eta_2^j - \xi_2^j$ با مشتق گیری از تابع $U_{C_j}(\varphi^j(x))$ داریم:

$$\frac{d(U_{C_j}(\varphi^j(x)))}{dx} = \frac{d(L^{(j)}\left(\frac{\xi_1^j - \varphi^j(x)}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right))}{dx} = \frac{d(\left(\frac{\xi_1^j - \varphi^j(x)}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right))}{dx}\ \frac{d(L^{(j)})}{dx}\left(\frac{\xi_1^j - \varphi^j(x)}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right) \quad =$$

$$\frac{-1}{\xi_1^j - \eta_1^j}\frac{d(\varphi^j(x))}{dx}\frac{d(L^{(j)})}{dx}\left(\frac{\xi_1^j - \varphi^j(x)}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right) 0 \qquad (۳۰)$$

به طور مشابه اگر $C_j = \left[r_{1\,j}, \dots, r_{mj}\right]^T$ انگاه با فرض:

$$\left(\left[\hat{r}_{ij}\right]_{i=1}^{m}\right)^T = \left[\omega^j(r_{1\,j}), \dots, \omega^j(r_{mj})\right]^T \qquad (۳۱)$$

قرار می‌دهیم:

$$\omega^j(C_j) = \left[\omega^j(r_{1\,j}), \dots, \omega^j(r_{mj})\right]^T \qquad (۳۲)$$

و لذا اگر در ماتریس تصمیم‌گیری A، تبدیل $C_j \longrightarrow \omega^j(C_j)$ را انجام دهیم، شاخص j ام با حفظ مقیاس، ورودی مناسب الگوی تاپسیس خواهد بود زیرا در فاصله‌ی $\eta_1^j \le x \le \xi_1^j$ خواهیم داشت:

$$\frac{d(U_{C_j}(\omega^j(x)))}{dx} = \frac{d(R^{(j)}\left(\frac{\omega^j(x) - \xi_1^j}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right))}{dx} \ = \frac{d(\left(\frac{\omega^j(x) - \xi_1^j}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right))}{dx}\ \frac{d(R^{(j)})}{dx}\left(\frac{\omega^j(x) - \xi_1^j}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right) =$$

$$\frac{1}{\xi_1^j - \eta_1^j}\frac{d(R^{(j)})}{dx}\left(\frac{\omega^j(x) - \xi_1^j}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right) < 0 \qquad (۳۳)$$

۴. برآورد الگو و تجریه و تحلیل داده‌ها

۴-۱. برآورد الگو

در ادامه، تحلیلی از روابط بین تراز تجاری و متغیرهای نرخ ارز، قیمت نفت و قیمت طلا مبتنی بر داده‌های سالانه دوره زمانی ۱۳۹۹-۱۳۵۷ ارائه شده است. آمار و اطلاعات از بانک اطلاعات سری زمانی بانک مرکزی استخراج شده و با استفاده از رویکرد کاظمی‌فرد و چاچی (۲۰۲۲) و محور قراردادن روش تاپسیس تعمیم‌یافته، به انتخاب بهترین الگوی برآوردی از بین الگوهای فازی معرفی شده در بخش ۳-۱ مبادرت شده است. به منظور بررسی رفتار متغیر تابع تراز تجاری (y) نسبت به سه متغیر نرخ ارز (x_1)، قیمت طلا (x_2)و قیمت نفت (x_3) پراکنش این متغیرها در مقابل یکدیگر در نمودار (۱) منعکس شده است. مطابق با اطلاعات نمودار پراکنش رابطه خطی نسبتا ضعیفی بین متغیر تراز تجاری با قیمت طلا و نفت و بین متغیر تراز تجاری و نرخ ارز ارتباط خطی قوی‌تر وجود دارد. این موضوع را می‌توان از منظرهای دیگری نیز بررسی نمود. به عنوان نمونه می‌توان به بررسی میزان همبستگی بین متغیرها پرداخت که در جدول (۱) نمایش داده شده است.

جدول (۱). نتایج همبستگی بین متغیرها

	نرخ ارز	قیمت طلا	تراز تجاری	قیمت نفت
نرخ ارز	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۷۴۷۰۳۶۶	۰/۶۸۸۰۵۲۸	۰/۵۸۳۹۲۰۱
قیمت طلا	۰/۷۴۷۰۳۶۶	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۵۴۸۴۶۲۷	۰/۳۴۲۸۰۵۷
تراز تجاری	۰/۶۸۸۰۵۲۸	۰/۵۴۸۴۶۲۷	۱/۰۰۰۰۰۰۰	۰/۳۰۷۰۰۵۶
قیمت نفت	۰/۵۸۳۹۲۰۱	۰/۳۴۲۸۰۵۷	۰/۳۰۷۰۰۵۶	۱/۰۰۰۰۰۰۰

منبع:یافته‌های پژوهش

همانگونه که در جدول (۱) و نمودار (۱) مشاهده می‌شود بالاترین نرخ همبستگی تراز تجاری و سایر متغیرها با متغیر نرخ ارز است و نتایج نشانگر همبستگی قوی‌تر بین تراز تجاری و نرخ ارز بوده است.

نمودار(۱). نرخ همبستگی بین تراز تجاری، نرخ ارز، قیمت نفت و قیمت طلا به صورت زوجی

منبع: یافته‌های پژوهش توضیح:(e_rate (نرخ ارز)، gold (قیمت طلا)، oil(قیمت نفت)، trad_b(تراز تجاری)

همانگونه که بیان شد، یکی از چالش‌های مهم در الگوسازی‌های آماری که مبتنی بر برازش‌های داده‌هایی است که روابط علّی و معلولی دارند، انتخاب رویکردهای رگرسیونی مناسب (اعم از فازی یا کلاسیک) است و تناسب هر یک از این الگوهای رگرسیونی نیز بر اساس معیارهای نیکویی برازش مخصوص به خود سنجیده می‌شود. در این راستا مساله عمده آن است که این معیارهای مختلف نیکویی برازش در هر الگو، متناسب با منطق طراحی آن الگو تعریف می‌شوند. لذا وجود معیاری جامع که بتواند علیرغم تنوع این شاخص‌ها مطلوب‌ترین الگوی رگرسیون از بین مجموعه‌ای از الگوهای کاندید را مشخص نماید چالش برانگیز است. از جمله عواملی که این چالش را تشدید می‌کنند عبارتند از این که؛

۱. برخی از معیارهای نیکویی برازش دارای مطلوبیت افزایشی و برخی نیز دارای مطلوبیت کاهشی هستند

۲. در برخی موارد، معیارهای نیکویی برازش فاقد کران پایین یا بالا هستند

۳. معیارهای نیکویی برازش دارای تنوع بالایی هستند

در کاظمی‌فرد و چاچی (۲۰۲۲) با استفاده از رویکرد MADM به حل و فصل این

چالش پیش گفته پرداخته‌اند. در تحقیق حاضر نیز این رویکرد نوین را بعنوان بستر ارزیابی تناسب مجموعه ای از کاندیداهای اولیه برای برازش رابطه بین متغیرها به کار برده‌ایم با این تفاوت که در چارچوب تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره بجای استفاده از الگوی نوین تاپسیس تعمیم‌یافته بهره گرفته‌ایم. برای این منظور از بین مجموعه‌ای از رگرسیون‌های فازی در قالب کلی $\widetilde{f_{\beta}}(\tilde{x}) = \widetilde{\beta_0} \oplus \sum_{l=1}^{p} \widetilde{\beta_l} \otimes \tilde{x_l}$ که پیشتر معرفی شدند در یک غربالگری اولیه و با توجه به تنوع معیارهای نیکویی برازش، الگوهای الف) کمترین مربعات فازی ژو و لی[1](*Fuzzy_ ls*) ب) روش فرآرو (*Ferraro*) ج) روش چاچی[2] (*M- Estimation*) د) رویکردکمترین قدر مطلق انحرافات(*LA-Method*) ه) رگرسیون وزنی فازی(*Weighted Fuzzy*) که همگی از جدیدترین الگوهای رگرسیون فازی هستند برای تحلیل داده‌ها یکبار با در نظر گرفتن سه متغیر نرخ ارز، قیمت نفت و قیمت طلا و یکبار نیز با توجه به همبستگی بالای تراز تجاری و نرخ ارز، صرفا با در نظر گرفتن نرخ ارز استفاده شده‌اند. در این راستا از سه شاخص‌های نیکویی برازش به صورت زیر استفاده شده است.

$$G_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{\int min\{\tilde{y}_i(t), \widehat{\tilde{y}_i}(t)\}dt}{\int max\{\tilde{y}_i(t), \widehat{\tilde{y}_i}(t)\}dt}$$

$$G_2 = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \int |\tilde{\mathrm{y}}_{\mathrm{i}}(\mathrm{t}) - \widehat{\tilde{\mathrm{y}}_{\mathrm{i}}}(\mathrm{t})|\mathrm{dt} \qquad (۳۴)$$

$$\mathrm{G}_3 = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \int \frac{|\tilde{\mathrm{y}}_{\mathrm{i}}(\mathrm{t}) - \widehat{\tilde{\mathrm{y}}_{\mathrm{i}}}(\mathrm{t})|}{\int \tilde{\mathrm{y}}_{\mathrm{i}}(\mathrm{t})\mathrm{dt}}\mathrm{dt}$$

معیارهای نیکویی برازش به عنوان ملاک‌های ارزیابی تناسب الگوهای رگرسیونی در برازش داده‌ها در راستای تطابق نتایج حاصل از برآوردهای رگرسیونی با داده‌های مشاهده‌ای است. در الگوی رگرسیونی منتخب، تمامی ضرایب متغیرها اعداد فازی مثلثی و به تبع آن خروجی‌های الگوی نیز اعداد فازی مثلثی هستند. از طرفی داده‌های مشاهده‌ای نیز اعداد فازی مثلثی هستند. اکنون در معیار نیکویی برازش G_1 مجموع

[1]. Xu and Li
[2]. Chachi

میزان تطابق هندسی اعداد فازی مثلثی برآوردی با اعداد فازی مثلثی مشاهده‌ای محاسبه می‌شود. از آنجا که تعداد متغیرها n فرض شده است ضریب $\frac{1}{n}$ موجب آن می‌شود که نتیجه حاصل همواره بین صفر(عدم همپوشانی) و یک(همپوشانی کامل) قرار گرفته و مطلوبیت مربوط به این شاخص افزایشی است. در مقابل، معیار نیکویی برازش G_2 مبتنی بر حداقل‌سازی اختلاف بین مکمل‌های ضرایب مثلثی فازی برآوردی و داده‌های مشاهده‌ای فازی مثلثی است. به طوری که مطلوبیت مربوط به آن بر خلاف معیار قبلی، نزولی و در بهترین حالت، اختلاف حداقل یعنی اختلاف به میزان صفر بین این مکمل‌ها و در بدترین حالت، اختلاف حداکثر یعنی اختلاف به میزان یک بین این مکمل‌ها (با توجه به ضریب $\frac{1}{n}$)خواهد بود. معیار نیکویی برازش G_3 مجموع حالات نرمالیزه شده ظاهر شده در معیار دوم است. این معیار نیز دارای مطلوبیت نزولی است. از منظر مقایسه، با عنایت به توضیحات فوق، هر یک از این معیارها وجهی از تمایز یا همپوشانی ضرایب و داده‌های مشاهده‌ای را مشخص می‌کنند. اوزان این معیارها در الگوسازی مربوط به مقوله تصمیم‌گیری نیز در این تحقیق بر اساس روش آنتروپی لحاظ شد که اهمیت هر یک از این معیارها را بر اساس تمایزی که در ارزیابی‌های حاصل از الگوها ایجاد می‌نمایند، اندازه‌گیری می‌کند.

در روش آنتروپی، به توزیع احتمال گسسته $\{p_1, p_2, \dots, p_k\}$ ارزش $\frac{-1}{ln}\left(\sum_{i=1}^{k} p_i \, ln \, p_i\right)$ نسبت داده می‌شود. این مقدمات منجر به طراحی یک ماتریس تصمیم‌گیری با پنج گزینه و سه شاخص می‌شود که بر اساس روش تصمیم‌گیری چند شاخصه تاپسیس تعمیم‌یافته تحلیل شده است.

۴-۲- ارزیابی بهترین برازش برای داده‌ها

در ادامه، بکارگیری این چارچوب منجر به گام‌های زیر در رابطه با داده‌های مربوط به این تحقیق شده است. جدول (۲) ماتریس تصمیم گیری با ده الگوی رگرسیونی بعنوان

گزینه‌ها و سه معیار نیکویی برازش (G_1, G_2, G_3) بعنوان شاخص‌های تصمیم است که بر داده‌های سری زمانی ۹۹-۱۳۵۷ الگوسازی شده‌اند. جدول (۳) نرمالسازی داده‌های جدول (۲) به روش بی مقیاسی نرم است. جدول (۴) شامل تبدیل داده‌های جدول (۳) در الگوریتم تاپسیس تعمیم‌یافته است. جدول(۵) عبارتست از ماتریس حاصل از جدول (۴) که به کمک الگوریتم آنتروپی وزین شده است. نهایتاً جدول (۶) شامل رتبه بندی رگرسیون‌های ده گانه در قالب الگوریتم تاپسیس تعمیم‌یافته است.

جدول (۲). ماتریس تصمیم

روش‌های رگرسیون فازی جدید	شاخص G_1	شاخص G_2	شاخص G_3
برآورد الگوها به صورت کلی			
FUZZY_LS	۰/۰۰۹۱۱۰۸۲۲	۴۴۹/۸۳۰۱	۲/۷۸۶۹۸۸
FERRARO	۰/۰۰۸۳۸۰۵۷	۴۱۹/۵۱۷۸	۲/۲۸۹۸۶۷
M_ESTIMATION	۰/۰۰۱۰۰۰۱۸۵	۴۱۵/۲۳۳۸	۲/۲۲۸۲۷۳
LA_FUZZY	۰/۰۰۳۲۵۲۵۴۷	۴۴۶/۵۹۷۶	۳/۳۹۸۷۲۷
WEGHTED FUZZY RWGRWSSION	۰/۰۱۷۰۵۴۹۳۷	۴۷۲/۲۴۴۷	۴/۸۳۲۴۶۸
الگوها با تاکید بر نرخ ارز			
FUZZY_LS (on x_1)	۰/۰۰۹۴۳۰۷۵۹	۴۴۹/۶۵۶	۲/۷۶۱۱۴۱
FERRARO (on x_1)	۰/۰۰۸۷۲۶۳۲۸	۴۱۹/۵۱۴۲	۲/۲۸۳۶۲۷
M_ESTIMATION (on x_1)	۰/۰۰۱	۴۱۴/۲۹۳۶	۲/۲۲۴۴۹۴
LA_FUZZY (on x_1)	۰/۰۰۱۷۲۹۰۷۲	۴۴۷/۲۶۴۶	۳/۳۹۸۷۲۷
WEGHTED FUZZY RWGRWSSION (on x_1)	۰/۰۰۱	۴۰۹/۹۷۲۳	۲/۱۷۵۴۲۳

منابع: یافته‌های پژوهش

در جدول (۲) تناسب ۱۰ الگوی رگرسیون فازی برای برازش داده‌های تحقیق بر اساس سه معیار نیکوئی برازش محاسبه و نشان داده شده است.

جدول (۳). ماتریس بی مقیاس

روش‌های رگرسیون فازی جدید	شاخص G_1	شاخص G_2	شاخص G_3
برآورد الگوها به صورت کلی			
FUZZY_OLS	۰/۱۵	۰/۱۰۴	۰/۰۹۸
FERRARO	۰/۱۳۸	۰/۰۹۷	۰/۰۸۱

روش‌های رگرسیون فازی جدید	شاخص G_1	شاخص G_2	شاخص G_3
M_ESTIMATION	۰/۰۱۶	۰/۰۹۶	۰/۰۷۹
LA_FUZZY	۰/۰۵۴	۰/۱۰۳	۰/۱۲
WEGHTED FUZZY RWGRWSSION	۰/۲۸۱	۰/۱۰۹	۰/۱۷
الگو با تاکید بر نرخ ارز			
FUZZY_OLS (on x_1)	۰/۱۵۵	۰/۱۰۴	۰/۰۹۷
FERRARO (on x_1)	۰/۱۴۴	۰/۰۹۷	۰/۰۸
M_ESTIMATION (on x_1)	۰/۰۱۶	۰/۰۹۵	۰/۰۷۸
LA_FUZZY (on x_1)	۰/۰۲۸	۰/۱۰۳	۰/۱۲
WEGHTED FUZZY RWGRWSSION (on x_1)	۰/۰۱۶	۰/۰۹۴	۰/۰۷۷

منابع: یافته‌های پژوهش

در جدول (۳) داده‌های جدول (۲) بـه کمـک تبـدیل $r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} r_{ij}^2}}$ بی‌مقیـاس شـده است. این که کدام الگو بر اساس معیار خوبی برازش بهتر اسـت قابـل اسـتخراج نیسـت. چون که هر کدام از راه حل‌ها دارای دامنه و حد متفـاوت هسـتند. ایـن نشـانگر چـالش برای انتخاب بهترین الگوی فازی برآورد کننده است. بـر ایـن اسـاس می‌تـوان از معیـار تصمیم‌گیری چند معیاره جدید برای پاسخ به این چالش استفاده کرد.

جدول (۴). ماتریس تبدیل یافته

روش‌های رگرسیون فازی جدید	شاخص G_1	شاخص G_2	شاخص G_3
برآورد الگوها به صورت کلی			
FUZZY_OLS	۰/۳۶۴۲۰۸۸۷	۰/۳۲۷۱۰۱۹	۰/۲۹۸۸۸۰۴
FERRARO	۰/۳۳۵۰۱۶۷۵	۰/۳۰۵۰۵۹۸	۰/۲۴۵۵۶۸۵
M_ESTIMATION	۰/۰۳۹۹۸۲۸۲	۰/۳۰۱۹۴۴۶	۰/۲۳۸۹۶۳
LA_FUZZY	۰/۱۳۰۰۲۱۹۲	۰/۳۲۴۷۵۱۴	۰/۳۶۴۴۸۴۲
WEGHTEDFUZZY RWGRWSSION	۰/۶۸۱۷۷۸۱۵	۰/۳۴۳۴۰۱۱	۰/۵۱۸۲۴۰۶
براورد الگوها با تاکید بر نرخ ارز			
FUZZY_OLS (on x_1)	۰/۳۷۶۹۹۸۵	۰/۳۲۶۹۷۵۴	۰/۲۹۶۱۰۸۵
FERRARO (on x_1)	۰/۳۴۸۸۳۸۵۶	۰/۳۰۵۰۵۷۲	۰/۲۴۴۸۹۹۳
M_ESTIMATION (on x_1)	۰/۰۳۹۹۷۵۴۱	۰/۳۰۱۲۶۱	۰/۲۳۸۵۵۷۸
LA_FUZZY (on x_1)	۰/۰۶۹۱۲۰۳۸	۰/۳۲۵۲۳۶۴	۰/۳۶۴۴۸۴۲

WEGHTED FUZZY RWGRWSSION (on x_1)	۰/۰۳۹۹۷۵۴۱	۰/۲۹۸۱۱۸۷	۰/۲۳۳۲۹۵۴

منابع: یافته‌های پژوهش

در جدول شماره (۴) داده‌های جدول شماره (۳) برای ورود به الگوی تاپسیس تعمیم‌یافته مطابق روابط (۲۸) و (۲۹) تبدیل شده‌اند.

جدول (۵). نتایج ماتریس بی مقیاس وزین

روش‌های رگرسیون فازی جدید	شاخص G_1	شاخص G_2	شاخص G_3
برآورد الگوها به صورت کلی			
FUZZY_OLS	۰/۳۲۹۹۸۵۵۴	۰/۰۰۰۸۷۸۳۸	۰/۰۲۷۲۸۲۰۷
FERRARO	۰/۳۰۳۵۳۶۵	۰/۰۰۰۸۱۹۱۸۹	۰/۰۲۲۴۱۵۷۱
M_ESTIMATION	۰/۰۳۶۲۲۵۷۸	۰/۰۰۰۸۱۰۸۲۴	۰/۰۲۱۸۱۲۷۶
LA_FUZZY	۰/۱۱۷۸۰۴۲۵	۰/۰۰۰۸۷۲۰۶۸	۰/۰۳۳۲۷۰۴۴
WEGHTEDFUZZY RWGRWSSION	۰/۶۱۷۷۱۴۰۳	۰/۰۰۰۹۲۲۱۴۹	۰/۰۴۷۳۰۵۴۶
الگوها با تاکید بر نرخ ارز			
FUZZY_OLS (on x_1)	۰/۳۴۱۵۷۳۳۷	۰/۰۰۰۸۷۸۰۴	۰/۰۲۷۰۲۹۰۵
FERRARO (on x_1)	۰/۳۱۶۰۵۹۵۲	۰/۰۰۰۸۱۹۱۸۲	۰/۰۲۲۳۵۴۶۳
M_ESTIMATION (on x_1)	۰/۰۳۶۲۱۹۰۷	۰/۰۰۰۸۰۸۹۸۸	۰/۰۲۱۷۷۵۷۷
LA_FUZZY (on x_1)	۰/۰۶۲۶۲۵۴	۰/۰۰۰۸۷۳۳۷	۰/۰۳۳۲۷۰۴۴
WEGHTED FUZZY RWGRWSSION (on x_1)	۰/۰۳۶۲۱۹۰۷	۰/۰۰۰۸۰۰۵۵	۰/۰۲۱۲۹۵۴۱

منابع: یافته‌های پژوهش

در جدول شماره (۵) داده‌های جدول(۴) به صورت ستونی در وزن‌های G_1, G_2, G_3 که به کمک آنتروپی شانون ضرب شده‌اند، ارزیابی شده‌اند.

جدول (۶). رتبه بندی رگرسیون‌های ده گانه

روش‌های رگرسیون فازی جدید	مقادیر تاپسیس	رتبه بندی
FUZZY_OLS	۰/۵۰۵۷۱۷	۳
FERRARO	۰/۴۶۰۷۷۷۸۲	۵
M_ESTIMATION	۰/۰۴۱۹۹۹۵۵	۱۰
LA_FUZZY	۰/۱۴۲۰۳۵۶۶	۶

رتبه بندی	مقادیر تاپسیس	روش‌های رگرسیون فازی جدید
۱	۰/۹۵۷۱۸۵۰۱	WEGHTED FUZZY RWGRWSSION
۲	۰/۵۲۵۶۱۴۲۲	FUZZY_OLS (on x_1)
۴	۰/۴۸۲۲۳۰۰۵	FERRARO (on x_1)
۹	۰/۰۴۲۰۵۷۴۷	M_ESTIMATION (on x_1)
۷	۰/۰۵۱۱۰۸۰۹	LA_FUZZY (on x_1)
۸	۰/۰۴۲۸۱۴۹۹	WEGHTED FUZZY RWGRWSSION (on x_1)

منابع: یافته‌های پژوهش

جدول (۶) شامل رتبه‌بندی رگرسیون‌های ده‌گانه بر اساس الگوریتم تاپسیس تعمیم‌یافته است. با استفاده از رتبه بندی ظاهر شده در آخرین ستون ماتریس اخیر، بهترین الگوی برآوردی تراز تجاری بر اساس متغیرهای نرخ ارز، قیمت طلا و قیمت نفت به صورت رابطه زیر است.

$$\hat{\tilde{y}} = (c, \ln\alpha, \ln\beta)_{LR} = \begin{cases} L^{(j)}\left(\frac{\xi_1^j - x}{\xi_1^j - \eta_1^j}\right) \eta_1^j \le x \le \xi_1^j \\ 1 \ \xi_1^j \le x \le \xi_2^j \\ R^{(j)}\left(\frac{x - \xi_2^j}{\eta_2^j - \xi_2^j}\right) \xi_2^j \le x \le \eta_2^j \end{cases}$$

که در آن

$L(x)=R(x)=1-x$

$$\tilde{y} = \widetilde{A_0} + \sum_{i=1}^{3} \tilde{A} X_i = (C_0, P_0^L, P_0^R)_{LR} + \sum_{i=1}^{3} (C_0, P_0^L, P_0^R)_{LR} X_i$$

لذا از بین رگرسیون‌های ده گانه مورد نظر، رگرسیون وزنی فازی(Weighted Fuzzy) با سه متغیر به عنوان مطلوبترین وجه نوع رابطه بین متغیرهای قیمت ارز، قیمت نفت و قیمت طلا و تابع تراز تجاری را بیان نموده و می‌توان با نظرداشت این رابطه‌ی رگرسیونی پیش بینی‌های مربوط به تراز تجاری را بر اساس برآوردهای این سه متغیر انجام داد. یادآوری می‌شود که تابع عضویت عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (m, \alpha, \beta)_{LR}$ به صورت رابطه زیر است.

$$\mu(x)_{\tilde{A}} = \begin{cases} 1 + \frac{x-m}{\alpha} & m-\alpha \le x \le m \\ 1 - \frac{x-m}{\beta} & m \le x \le m+\beta \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

است، رگرسیون منتخب به‌صورت

$\tilde{y} = \widetilde{A_0} + \sum_{i=1}^{3} \tilde{A} X_i = (\ C_0, P_0^L, P_0^R)_{LR} + \sum_{i=1}^{3} (\ C_0, P_0^L, P_0^R)_{LR} X_i$

است.

جدول (۷). برآورد اثر متغیرهای نرخ ارز، قیمت طلا و نفت بر تراز تجاری ایران

متغیرها	ضرایب فازی	مرکز	گستره چپ فازی	گستره راست فازی
عرض از مبدأ	$\widetilde{A_0}$	$C_0 = 0$	P_0^L =۲.۴۸۷	P_0^R =۲.۴۸۷
نرخ ارز x_1	$\widetilde{A_1}$	C_1 =۰.۰۴۳	P_1^L =۱.۴۲۵	P_1^R =۱.۴۳۱
قیمت طلا x_2	$\widetilde{A_2}$	C_2 =۰.۰۲۱	P_2^L =۰.۰۵۴۱	P_1^R =۰.۰۵۷۲
قیمت نفت x_3	$\widetilde{A_3}$	C_3 =۰.۰۱۳	P_3^L =۰.۴۹۱	P_1^R =۰.۴۷۸

منبع: یافته‌های پژوهش

همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود تراز تجاری نرمال شده با مقادیر نرمال شده نرخ ارز، قیمت طلا و قیمت به ترتیب با ضرایب فازی

$\widetilde{A_3} = (۰.۱۳, ۰.۴۹۱, ۰.۴۷۸)_{LR}$, $\widetilde{A_2} = (۰.۰۲۱, ۰.۰۵۴۱, ۰.۰۵۷۲)_{LR}$, $\widetilde{A_1}(۰.۰۴۳۱, ۱.۴۲۵, ۱.۴۳۱)_{LR}$

به ترتیب نزولی دارای رابطه است. این مقادیر نشان می‌دهند که تاثیر متغیرها بر تراز تجاری در محدوده

$[C_i - P_i^L$ و $C_i + P_i^L]$

در نوسان است. در حقیقت حداقل و حداکثر تاثیر نرخ ارز بر تراز تجاری به ترتیب (۱.۴۷۴ و ۱.۳۸۲-)، حداقل و حداکثر تاثیر قیمت طلا بر تراز تجاری به ترتیب (۰.۷۸۳و ۰.۳۳۱-) و حداقل و حداکثر تاثیر قیمت نفت بر تراز تجاری به ترتیب (۰.۴۹۱ و ۰.۴۷۸-) خواهد بود. نوسانات نرمال شده نرخ ارز، قیمت طلا و قیمت نفت نیز در داده‌های مقاله به ترتیب ۰.۳۱۶۱، ۰.۵۹۹۰و ۰.۰۸۴۶ است.

جدول (۷) نتایج حاصل از برآورد رابطه بررسی تاثیر نرخ ارز، قیمت طلا و نفت بر تراز تجاری ایران را نشان می‌دهد. مطابق نتایج جدول (۷)، اثر نرخ ارز با ضریب فازی (۰.۰۴۳,۱.۴۲۵,۱.۴۳۱) تاثیر مثبت بر تراز تجاری ایران دارد.

این ضرایب فازی نشان می‌دهد که حداکثر تاثیرگذاری نرخ ارز بر تراز تجاری ایران ۱.۴۷۴ و حداقل تاثیر آن بر تراز تجاری ایران ۱.۳۸۲- و متوسط تاثیر آن برابر ۰.۰۴۳۱ است. به عبارت دیگر، میزان اثر گذاری نرخ ارز بر تراز تجاری حداکثر اثر مثبت آن بیشتر از ۱.۴۷۴ و حداکثر اثر منفی آن بیشتر از ۱.۳۸۲- نمی‌شود، بلکه در بازه‌های بین این دو حد در نوسان قرار می‌گیرد. همچنین مطابق نتایج به دست آمده، قیمت نفت بر تراز تجاری ایران نیز تاثیر مثبت دارد. قیمت نفت بر تراز تجاری با ضرایب فازی (۰.۰۲۱,۰.۰۵۴۱,۰.۰۵۷۲) اثر بر تراز تجاری ایران را بیان می‌کند. این ضریب فازی نشان می‌دهد که حداکثر تاثیرگذاری قیمت نفت بر تراز تجاری ایران ۰.۴۹۱ و حداقل تاثیر آن ۰.۴۷۸- و متوسط تاثیر آن برابر ۰.۰۱۳ است. به عبارت دیگر، میزان اثر گذاری قیمت نفت بر تراز تجاری حداکثر اثر مثبت آن بیشتر از ۰.۴۹۱ و حداکثر اثر منفی آن بیشتر از ۰.۴۷۸- نخواهد شد، بلکه در بازه‌ای بین این دو حد در نوسان قرار می‌گیرد. درنهایت مطابق نتایج به دست از جدول (۷) اثر قیمت طلا با ضریب فازی (۰.۰۲۱,۰.۰۵۴۱,۰.۰۵۷۲) تاثیر مثبت بر تراز تجاری ایران دارد که این ضریب فازی بیانگر حداکثر اثر به میزان ۰.۰۷۸۲ قیمت طلا بر تراز تجاری ایران و حداقل میزان ۰.۳۳۱- و متوسط تاثیر آن برابر ۰.۰۲۱ است. به عبارت دیگر، میزان اثر گذاری قیمت طلا بر تراز تجاری حداکثر اثر مثبت آن بیشتر از ۰.۰۷۸۲ و حداکثر اثر منفی آن بیشتر از ۰.۳۳۱- نخواهد شد و در بازه‌ای بین این دو حد در نوسان است.

این نتایج با توجه به شرط مارشال- لرنر قابل انتظار بوده و تاییدکننده مطالعات آریزا و همکاران (۲۰۱۸)، چانگ و همکاران (۲۰۱۹)، اسکویی و گلان (۲۰۱۹)، هانگناو و کیم (۲۰۱۷)، بیگی و مهدوی (۱۳۹۸) و کازرونی و همکاران بوده و نشان می‌دهد که

افزایش نرخ ارز اثر مثبتی بر تراز تجاری دارد. با افزایش نرخ ارز، پول خارجی نسبت به پول داخل پرقدرت‌تر شده و کشورهای خارجی طرف معامله واردات خود را افزایش می‌دهند. همچنین اثر نوسانات قیمت نفت بر تراز تجاری کشور صادر کننده نفت مثبت است. زیرا افزایش قیمت نفت، موجب افزایش درآمدهای حاصل از فروش نفت شده و به طور مستقیم بر تراز تجاری اثر مثبت خواهد داشت و موجب بهبود تراز تجاری خواهد شد. نقش اساسی صنعت نفت در اقتصاد ایران همواره نقش مالی بوده و تنها کارکرد اساسی آن تأمین ارز مورد نیاز بخش‌ها بوده است. این ضرائب رگرسیونی تجمیعی فازی که ترکیبی از (ضرائب رگرسیونی، میزان همبستگی، آنتروپی، ضرائب رگرسیونی مطلق) متغیرها هستند نشان می‌دهند که اولویت اثرگذاری بر مقوله تراز تجاری به ترتیب شامل نرخ ارز، قیمت نفت و سپس قیمت طلا است. لذا به منظور بهبود تراز تجاری باید سیاست‌گذاری‌ها به این اولویت‌ها معطوف گردد. لذا پیشنهاد می‌شود که تمهیداتی جهت کنترل نوسانات نرخ ارز در کشور با اعمال سیاست‌های ارزی مناسب اتخاذ شود.

۵. نتیجه‌گیری و سیاست‌گذاری

اثرگذاری نرخ ارز بر تراز تجاری یکی از مباحث مهم در حوزه اقتصاد بین الملل است، زیرا نحوه اثرگذاری آن بر موفقیت یا عدم موفقیت سیاست‌های ارزی و تجاری تأثیرگذار است. عوامل محیطی بسیاری وجود دارد که بر رابطه نرخ ارز با تراز تجاری اثرگذار هستند. هدف این مطالعه بررسی، شناسایی و تجزیه و تحلیل بهترین و مناسب ترین رابطه بین نرخ ارز و نفت و طلا بر تراز تجاری ایران طی سال‌های۱۳۵۷ الی ۱۳۹۹ با استفاده از رگرسیون‌های فازی بوده است. در حقیقت در این مقاله به بررسی و شناسایی اثرات نرخ ارز و طلا و نفت بر تراز تجاری با استفاده از رگرسیون فازی با رویکردی نوین و با روشی جدید در چارچوب تصمیم گیری‌های چند معیاره پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا نتایج استفاده از رگرسیون خطی فازی حاکی از معرفی نرخ ارز به عنوان

موثرترین متغیر بر تراز تجاری است. در مرحله بعد با استفاده از ۵ الگوی رگرسیون فازی فرارو و همکاران، الگوی M- برآوردگر، الگوی کمترین انحرافات، الگوی رگرسیون وزنی فازی و الگوی کمترین مربعات فازی، یکبار با نظرداشت سه متغیر و یکبار صرفاً با نظرداشت نرخ ارز و بکارگیری سه معیار نیکویی برازش، از الگوریتم تاپسیس تعمیم‌یافته جهت رتبه بندی الگوهای رگرسیون فازی پرداخته شده و بهترین الگو در انتها انتخاب و شناسایی شده است.

رابطه مثبت بین نرخ ارز و تراز تجاری مؤید این نکته است که با افزایش نرخ ارز واردات کاهش و از سوی دیگر با افزایش نرخ ارز صادرات افزایش می‌یابد و این باعث ایجاد رابطه‌ای مثبت بین نرخ ارز و تراز تجاری گردیده است، بنابراین تراز تجاری در نتیجه افزایش نرخ ارز افزایش می‌یابد و یک رابطه مثبت بین این دو متغیر برقرار است. نتایج حاصل از این پژوهش رابطه مثبت بین نرخ ارز و تراز تجاری را تائید همچنین نرخ ارز را به عنوان موثرترین متغیر بر تراز تجاری معرفی می‌کند.

نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به عنوان ابزاری جهت بهبود تراز تجاری کشور و بکارگیری سیاست مناسب ارزی و بهبود روابط تجارت خارجی مناسب باشد. بنابراین رابطه مثبت نرخ ارز با صادرات و رابطه منفی آن با واردات منجر به افزایش تراز تجاری می‌گردد که بر اساس نتایج نیز این رابطه مثبت است. البته باید توجه نمود که رابطه مثبت بین نرخ ارز و صادرات و تراز تجاری به معنای تأیید استفاده از آن به عنوان یک سیاست جهت تقویت صادرات و تراز تجاری نخواهد بود، بلکه برعکس وجود نرخ ارز باثبات و مطمئن عامل مهمی برای جذب و تشویق صادرکنندگان داخلی و خارجی جدید است، زیرا آنچه برای یک صادرکننده اهمیت دارد و موجب ایجاد انگیزه برای او می‌شود، سود مطمئن (با حداقل ریسک) حاصل از صادرات است. بنابراین به سیاست‌گذاران توصیه می‌شود سیاست‌های مناسبی را جهت کاهش نوسانات و نااطمینانی در نرخ ارز اتخاذ کنند تا از ابزارهای مناسبی جهت پوشش ریسک نرخ ارز

برای صادرکنندگان استفاده نمایند. همچنین نتایج نشان داد استفاده از الگوهای رگرسیونی فازی به جای الگوهای کلاسیک خطی مزیت‌های بهتری در برآورد و پیش‌بینی دارد و از طرفی تنوع انتخاب معیارهای نیکویی برازش، خطای تحلیل را کاهش می‌دهد.

منابع:

- Abolhassanbeigi, H. & Mahdavi, A. (2019). The Effect of Exchange Rate on Iranian Trade Balance Under Uncertainty. *Iranian Applied Economic Studies*, 8(32), 1-5 (In Persian).
- Ahmadian, A., Fouladi, K., & Araabi, B. N. (2020). Model-based Persian Calligraphy Synthesis via Learning to Transfer Templates to Personal styles. *International Journal on Document Analysis and Recognition (IJDAR)*, 23(3), 183-203 (In Persian).
- Ali, D. A., Johari, F. & Alias, M.H. (2014). The Effect of Exchange Rate Movements on Trade Balance: A Chronological Theoretical Review. *Economics Research International*, 24(4), 1-8.
- Arefi, M. (2020). Quantile Fuzzy Regression Based on Fuzzy Outputs and Fuzzy Parameters. *Soft Computing*, 24(1), 311-320 (In Persian).
- Arize, A. C., Malindretos, J. & Igwe, E. U. (2018). Do Exchange Rate Changes Improve the Trade Balance: An Asymmetric Nonlinear Cointegration Approach. *International Review of Economics & Finance*, 49, 313-326.
- Bahmani-Oskooee, M., & Gelan, A. (2018). Exchange-rate Volatility and International Trade Performance: Evidence from 12 African countries. *Economic Analysis and Policy*, 58, 14-21.
- Bahmani-Oskooee, M., & Hegerty, S.W. (2010). The J-and S-Curves: A Survey of the Recent Literature. *Journal of Economic Studies*, 37(6), 580-596.
- Bahmani-Oskooee, M., & Ratha, A. (2004). The J-Curve: A Literature Review. *Applied Economics*, 36(13), 1377-1398.
- Bams, D., Blanchard, G., Honarvar, I. & Lehnert, T. (2017). Does Oil and Gold Price Uncertainty Matter for the Stock Market? *Journal of Empirical Finance,* 44, 270-285.
- Banerjee, B., Shi, H., Radovan, J., Sheng, Y. and Li, X. (2017). The Impact of the Exchange Rate and Trade Composition on China's Trade Balance Vis-À-Vis Selected Partner Countries. *Comparative Economic Studies*, 59(3), 311-344.
- Basher, S.A., Haug, A.A. and Sadorsky, P. (2016). The Impact of Oil

Shocks on Exchange Rates: Markov-Switching Approach. *Energy Economics*, 54, 11-23.
- Chachi, J., Taheri, S. M. & D' Urso, P. (2022). Fuzzy Regression Analysis Based on M-estimates. Expert Systems with Applications, 187, 115891.
- Chachi, J. (2019). A Weighted least Squares Fuzzy Regression for Crisp Input-fuzzy Output Data. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 27*, 739-748.
- Chkili, W. (2022). The Links between Gold, Oil Prices and Islamic Stock Markets in a Regime Switching Environment. *Eurasian Economic Review*, 12(1), 169-186.
- Chukhrova, N., & Johannssen, A. (2019). Fuzzy Regression Analysis: Systematic Review and Bibliography. *Applied Soft Computing*, *84*, 105708.
- Dadgar, Y. Fahimifar, F. & Nazari, R. (2020). Analyzing the Synchronization of Exchange Rate Cycles with Oil Price, Gold Price, and Stock Value in Iran: A Markov-Switching Model with Component Structure. *Economics and Modeling*, 11(3), 151-193 (In Persian).
- Dong, F. (2017). Testing the Marshall-Lerner Condition between the US and Other G7 Member Countries. *The North American Journal of Economics and Finance*, 40, 30-40.
- Duasa, J. (2007). Determinants of Malaysian Trade Balance: An ARDL Bound Testing Approach. *Global Economic Review*, 36(1), 89-102.
- Effiong, U. E., Udonwa, U. E. & Udofia, M. A. (2022). Trade Balance, Exchange Rate Movements and Economic Growth in NIGERIA: A Disaggregated Approach. *Scientific notes of Lviv University of Business and Law*, 32, 107-127.
- Elyaspour, B., Ahmadi Shadmehri, M., Lotfalipour, M. & Falahi, M. (2018). The Effect of Exchange Rate Uncertainty on Iran's Non-Oil Trade Balance: Stochastic Volatility Model Approach. *Financial Monetary Economy*, 25(15), 49-80 (In Persian).
- Fattahi, Sh. & Kian Poor, S. (2020). The Dependence of Returns in Stock Exchange Returns and Gold Markets with Spread of Covid-19 Virus in Iran: The Copula Functions Approach. *Economics and Modelling*, 11(2), 181-221 (In Persian).
- Ferraro, M. B., Coppi, R., Rodríguez, G. G. & Colubi, A. (2010). A linear Regression Model for Imprecise Response. *International Journal of Approximate Reasoning*, 51(7), 759-770.
- Filis, G., Degiannakis, S. & Floros, CH. (2011). Dynamic Correlation between Stock Market and Oil Prices: The Case of Oil Importing and Oil Exporting Countries. *International Review of Financial Analysis*, 20(3), 152-164.
- Kazemifard. A. (2020). An Extension of TOPSIS Model Based on Monotonic Utility of Criteria. *JAMM*, 10(1), 196-214 (In Persian)
- Kazemifard. A. & Sadeghian, R. (2020) *Multiple Attribute Decision Making*. Danesh Parvar Pub. (In Persian).

- Kazemifard, A., & Chachi, J. (2022). MADM Approach to Analyze the Performance of Fuzzy Regression *Models. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13(8), 4019-4031.
- Khammar, A.H., Arefi, M., & Akbari, M.G. (2020). A Robust Least Squares Fuzzy Regression Model Based on Kernel Function. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 17(4), 105-119 (In Persian).
- Le, T. H. & Chang, Y. (2015). Effects of Oil Price Shocks on the Stock Market Performance: Do Nature of Shocks and Economies Matter? *Energy Economics*, 51, 261-274.
- Lin, S., Shi, K. & Ye, H. (2018). Exchange Rate Volatility and Trade: The Role of Credit Constraints. *Review of Economic Dynamics*, 30, 203-222.
- Marshall, A. (1923). *Money, Credit and Commerce*. London, Macmillan. 198-204.
- Melvin, M. (2012). *Microeconomics*. Cengage Learning, International Money and Finance.
- Melvin, M. & Norrbin, S.C. (2013). *The Balance of Payments*. International Money and Finance (Eighth Edition).
- Saadat, R., Erfani, A. & Jodki, H. (2016). The Effect of Exchange Rate Fluctuations on Iran's Exports to Venezuela. *Economic Research*, 51(3), 595-609 (In Persian).
- Salvatore, D. (2013). *International Economics*. John Wiley & Sons.
- Sari, R. H., Amoudeh, S. & Soyatas, U. (2010). Dynamics of Oil Price, precious Metal Price and Exchange Rate. *Energy Economics*, 32,351–362.
- Singhal, S., Choudhary, S. & Biswal, P.C. (2019). Return and Volatility Linkages among International Crude Oil price, Gold price, Exchange Rate and Stock Markets: Evidence from Mexico. *Resources Policy*, 60, 255-261.
- Sorkheh, K., Kazemifard, A. & Rajabpoor, S. (2018). A Comparative Study of Fuzzy Linear Regression and Multiple Linear Regression in Agricultural Studies: A Case Study of Lentil Yield Management. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *42*(6), 402-411.
- Tanaka, H., Hayashi. I. & Watada J. (1989). Possibilistic Linear Regression Analysis for Fuzzy Data. *Eur J Oper Res*, 40, 389–396.
- Tiwari, A. K., & Sahadudheen, I. (2015). Understanding the Nexus between Oil and Gold. *Resources Policy*, *46*, 85-91.
- Wang, C. H., Lin, C. H. A. & Yang, C. H. (2012). Short-Run and Long-Run Effects of Exchange Rate Change on Trade Balance: Evidence from China and Its Trading Partners. *Japan and the World Economy*, 24(4), 266-273.
- Xu, R. & Li, C. (2001). Multidimensional Least-squares Fitting with a Fuzzy Model. *Fuzzy Sets and Systems*, 119, 215-223.
- Zeng, W., Feng, Q. & Lia, J. (2017). Fuzzy Least absolute Linear Regression. *Appl Soft Compute,* 52, 1009–1019.

Analyzing and Identifying the Effects of Fluctuations of Exchange Rate, Oil and Gold Prices on Trade Balance in Iran: Approach of Fuzzy Regression and Generalized TOPSIS

Samira Rezaei Mirza*, Ebrahim Anvari (PhD)**
Abdul Majid Ahangari (PhD)***, Ahmad Kazemifard (PhD)******

Received: 13/12/2022 Accepted: 11/03/2023

Abstract:
Exchange rates, oil and gold prices are important economic variables that stimulate global economic developments. In this study, the relationships between the variables of oil, gold prices and exchange rate and their impacts on the trade balance in Iran using the new hybrid approach of fuzzy regressions and multi-criteria decision-making framework is investigated. For this, five novel fuzzy regression models are considered and ranked by Generalized TOPSIS method using the annual data during the period of 1979-2021 and among the models, the fuzzy weighted model has been selected as the best model to describe the optimal relationship between variables. According to the results, among the variables of oil, gold and foreign exchange rate, the exchange rate variable has the most impact on the trade balance. Other results show that the use of fuzzy regression models approaches with various logics in the design of the error function produces more accurate estimates of the coefficients. The range of minimum and maximum effect of exchange rate on trade balance was extracted as (1.474 and -1.382). These fuzzy cumulative regressions show that the priority of influencing the trade balance is the exchange rate, oil price and then gold price. Hence to improve the trade balance, policies should be focused on the exchange rate, then the price of oil, and finally the price of gold.

Keywords: *Oil Price, Gold Price, Exchange Rate, Trade Balance, Fuzzy Regression, Generalized TOPSIS Method.*
JEL Classification: *F19, G15, N20, Q30.*

* PhD Candidate in Economics, Faculty of Economics and Social Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran,
Email: Samira-Rezaeimirza@stu.scu.ac.ir
** Associate Professor of Economics, Faculty of Economics and Social Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (Corresponding Author),
Email: e.anvari@scu.ac.ir
*** Associate Professor of Economics, Faculty of Economics and Social Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, Email: a.ahangari@scu.ac.ir
**** Assistant Professor of Mathematics, Faculty of Mathematical and Computer Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran,
Email: a.kazemifard@scu.ac.ir