

برنامه ریزی و بودجه

شماره ۱۵۸

پاییز ۱۴۰۱

شماره ۳

سال بیست و هفتم

نمایه در ISC



مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی

مدیر مسئول

دکتر عادل آذر

سرمدیر

دکتر سید احمد رضا جلالی نائینی

معاون سرمدیر

دکتر مهدی فدایی

مدیر اجرایی

میترا اولیائی

نشانی وب سایت مؤسسه

عالی آموزش و پژوهش

مدیریت و برنامه ریزی

<http://www.imps.ac.ir>

نشانی وب سایت نشریه

برای ارسال مقاله

<http://www.jpbdud.ir>

پست الکترونیک

info@jpbdud.ir

شاپا (چاپی) ۹۰۹۲-۲۲۵۱

شاپا (الکترونیکی) ۹۱۰۶-۲۲۵۱

بها: ۵۰۰۰ ریال

چاپ: کهن

صاحب امتیاز: مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی

اعضای هیئت تحریریه به ترتیب حروف الفبا

دکتر رهی ابوک

دانشیار دانشکده اقتصاد، مدیریت مالی و تجارت جهانی، دانشگاه ویلیام پترسون

دکتر سید احمد رضا جلالی نائینی

استاد گروه اقتصاد مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی

دکتر ناصر خیابانی

دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی

دکتر رضا خیراندیش

استاد اقتصاد و رئیس گروه حسابداری، اقتصاد و مالی، دانشکده بازرگانی دانشگاه

ایالاتی کلایتون

دکتر سیدجعفر سجادی

استاد دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران

دکتر علی دادبی

دانشیار گروه مالی دانشکده بازرگانی گوپتا دانشگاه دالاس

دکتر عباس شاکری

استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی

دکتر غلامعلی فرجادی

دانشیار بازنشسته گروه اقتصاد مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی

دکتر احمد مجتهد

استاد بازنشسته دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی

دکتر امیر هوشنگ مهریار

استاد بازنشسته مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی

دکتر مسعود نیلی

دانشیار دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه صنعتی شریف

نشانی: تهران- میدان شهید باهنر (نیاوران)- جمال آباد- خیابان شهید مختار عسگری -

شماره ۶ - مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی- طبقه ششم

کدپستی: ۱۹۷۸۹۱۱۱۱۴ تلفن: ۲۶۱۱۶۹۰۴ و دورنگار: ۲۶۱۱۶۹۷۲

براساس نامه وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شماره ۱۵۹۱۰۹ مورخ ۱۳۹۰/۸/۱۷، نشریه

برنامه ریزی و بودجه از شماره ۱۱۲ دارای اعتبار علمی - پژوهشی است و چاپ مقاله در آن

برای ارتقای اعضای هیات علمی دانشگاه ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی مؤثر است.

• درج مطالب در این نشریه لزوماً منعکس کننده نظر نشریه برنامه ریزی و بودجه نیست.

• نشریه برنامه ریزی و بودجه در ویرایش مقاله ها، به ترتیبی که آرا و عقاید نویسندگان تغییر نکند، آزاد است.

• نقل و اقتباس مطالب نشریه با ذکر مأخذ مجاز است.

فهرست مطالب

- ۳ | ■ ساختار وابستگی یوان و یورو پیش و پس از پیوستن یوان به سبد
SDR: رویکرد Copula Time-Varying
ناصر خیابانی و شادی بزرگ
- ۲۷ | ■ مقایسه تطبیقی منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه با
منحنی‌های فیلیپس با لحاظ ناهمگنی در اقتصاد ایران
مریم همتی
- ۷۵ | ■ انتخاب قاعده مالی برای دولت با هدف کاهش آثار منفی تحریم
نفتی بر متغیرهای منتخب اقتصاد کلان در ایران: کاربردی از مدل
تطبیق روانه انباره
محمدعلی مقصودپور، مصطفی سلیمی‌فر و نرگس صالح‌نیا
- ۱۰۹ | ■ بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب
آسیا با تاکید بر عوامل نهادی، سرمایه انسانی و عقب‌ماندگی نسبی
سعید جعفری، مرضیه اسفندیاری و مصیب پهلوانی
- ۱۴۱ | ■ کاربرد نظریه طراحی سازوکارهای انگیزه - سازگار (سازوکارهای
خودتنظیم کارا و اثربخش) در برنامه هفتم توسعه کشور
امیدعلی پارسا، غلامرضا عسکری و ابراهیم پاژکی‌نژاد
- ۱۷۵ | ■ برنامه‌ریزی بهینه جابه‌جایی فرآورده‌های نفتی از خط لوله با پنجره
زمانی تقاضا برای کمیینه‌سازی هزینه‌ها
فرهاد فرجی، مهرداد علیم‌رادی، بابک فرهنگ‌مقدم و مهدی فدایی

دکتر مهدی ترابی

دکتر سید احمدرضا جلالی نائینی

خانم شلاله صحافی

آقای شهید صیقلانی

دکتر مهدی فدایی

دکتر غلامعلی فرجادی

دکتر علی اصغر گهرپور

دکتر شاپور محمدی

دکتر مهدی هادیان

برگردان چکیده‌ها به انگلیسی

علی رستمیان

ویراستار علمی و ادبی

سیدحسین چابک

طراح

سعید زراعتی

ساختار وابستگی یوان و یورو پیش و پس از پیوستن یوان به سبد SDR: رویکرد Copula Time-Varying

naser.khiabani@atu.ac.ir |

ناصر خیابانی

دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران
(نویسنده مسئول)

شادی بزرگ

دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸

دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲

چکیده: این پژوهش با استفاده از رویکرد SJC Copula Time-Varying به بررسی ساختار وابستگی بین دو ارز یوان و یورو (نسبت به دلار) در دو دوره پیش و پس از پیوستن یوان به سبد حق برداشت مخصوص (SDR) می‌پردازد. رفتار مقامات پولی چین در واکنش به خبر پیوستن یوان به سبد SDR در ۳۰ نوامبر ۲۰۱۵، با استفاده از داده‌های روزانه دو جفت ارز در بازه ژانویه ۲۰۰۵ تا آوریل ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفته است. پیش از پیوستن یوان به سبد SDR، ساختار وابستگی بین یوان و یورو نامتقارن بوده، به‌طوری که وابستگی دنباله بالا بیش‌تر از وابستگی دنباله پایین بوده است. به عبارت دیگر، مقامات پولی چین حفظ مزیت رقابتی در تجارت و در نتیجه، مداخله برای تضعیف یوان در مقابل دلار همزمان با تضعیف یورو را در اولویت خود قرار می‌دادند. در دوره دوم، پس از پیوستن یوان به سبد SDR، راهبرد چین تغییر کرد؛ به‌گونه‌ای که در زمان تقویت یورو، نسبت به دلار حساسیت بیش‌تری نشان داد. وابستگی دنباله پایین بیش‌تر نشانگر این امر است. در واقع، بانک مرکزی چین به منظور تقویت یوان و ثبات قیمت نسبی ارز خود به مداخله در بازار و تقویت یوان خواهد پرداخت و سرمایه‌گذاران را به نگهداری و حتی افزایش سهم یوان در پرتفوی خود ترغیب خواهد کرد. بنابراین، پیوستن یوان به سبد SDR، اولویت و رفتار مقامات پولی چین را از تمرکز بر تضعیف و حفظ رقابت‌پذیری به تقویت در مقابل دلار و ثبات قیمت نسبی تغییر داده است.

کلیدواژه‌ها: ساختار وابستگی، کاپولا، وابستگی دنباله‌ای، سبد SDR، یوان.

طبقه‌بندی JEL: C58, D53, F31

مقدمه

در سه دهه اخیر با مطرح شدن چین به عنوان یک قدرت بزرگ اقتصادی در عرصه بین‌الملل، تحلیل رفتار یوان و همبستگی آن با سایر واحدهای پولی بین‌المللی مانند دلار، یورو و پوند به موضوع جذابی برای پژوهشگران حوزه اقتصاد مالی، اقتصاد بین‌الملل و فعالان بازارهای مالی تبدیل شده است. بررسی و مقایسه روند یوان پیش و پس از پیوستن آن به سبد حق برداشت مخصوص^۱ در ۳۰ نوامبر ۲۰۱۵، حکایت از افزایش سهم و اهمیت نسبی این واحد پولی در تجارت، سرمایه‌گذاری خارجی، سبد دارایی و اوراق قرضه بین‌المللی دارد. افزایش سهم و اهمیت نسبی این واحد پولی، این پرسش را به ذهن متبادر می‌سازد که آیا یوان چین می‌تواند مشابه با یورو - که بعد از معرفی و پیوستن به سبد SDR در سال ۱۹۹۹ تبدیل به دومین ارز پرمبادله در بازار بین‌المللی پس از دلار گردید و با تغییر اهمیت نسبی و ماهیت وابستگی متقابل دلار با سایر ارزهای تجاری اصلی در بازار مالی جهانی موجب تغییر وزن پورتفوها و نسبت پوشش^۲ در بازار ارز شد (Patton, 2001; Boero et al., 2011; Antonakakis, 2012; Tamakoshi Hamori, 2014; Diebold Yilmaz, 2015) - ساختار وابستگی را در بازار ارز تحت تاثیر قرار دهد.

عمدتاً ساختار وابستگی در بازارهای مالی و ارز به دلیل داشتن توزیع‌هایی با دنباله‌های فربه (دارای کشیدگی‌های زیاد) که غالباً ناشی از جهش‌های آبی و بزرگ در بازدهی این بازارهاست، باعث می‌گردد که توزیع‌ها از نرمالیتی منحرف گردند. واقعیت این بازارها نشانگر این نکته است که همبستگی بازدهی‌ها در بازار دارایی یا در بازار ارز در زمان جهش‌های بزرگ در این بازارها بزرگ‌تر از زمان‌های دیگر است. حتی میزان همبستگی در زمان فرود بازارها (حاکمیت بازار خرسی^۳) از زمان فراز بازارها (حاکمیت بازار گاوی^۴) متفاوت است که بیانگر نامتقارنی ساختار همبستگی و به عبارت دیگر، تفاوت در میزان ساختار وابستگی دنباله‌ای در این بازارهاست. برای توجیه وقوع این پدیده در ادبیات مالی دلایل متعددی را می‌توان برشمرد. اما در بازار ارز و مشخصاً در رابطه با همبستگی

۱. Special Drawing Rights. به عنوان واحد حساب صندوق بین‌المللی پول و برخی دیگر از سازمان‌های بین‌المللی، قابل‌مبادله با ارزهای قابل‌استفاده اعضای IMF است. ارزهای این سبد در طول زمان دستخوش تغییراتی مثل اضافه شدن یورو در سال ۱۹۹۹ و حذف مارک آلمان، فرانک فرانسه و سایر تغییرات قرار گرفت و سرانجام تعداد ارزهای آن از ۱۶ به ۴ ارز یورو، دلار، پوند، و ین تقلیل پیدا کرد.

2. Hedge Ratio
3. Bear Market
4. Bull Market

ساختاری بین یوان - دلار و یورو - دلار، توجه به دو موضوع کلیدی یعنی حفظ رقابت‌پذیری^۱ و حفظ ثبات قیمت^۲ می‌تواند توضیح‌دهنده وجود همبستگی دنباله‌ای نامتقارن بین این دو نرخ ارز باشد، به گونه‌ای که تغییر اولویت بانک‌های مرکزی به دو موضوع حفظ رقابت‌پذیری و حفظ ثبات قیمت را می‌توان یکی از عوامل نامتقارنی در وابستگی ارزها عنوان کرد. بدین مفهوم که اولویت در حفظ رقابت‌پذیری می‌تواند بانک مرکزی چین را متقاعد به تضعیف یوان در مقابل دلار به منظور حفظ سهم بازار صادراتی خود در رقابت با تضعیف یورو در مقابل دلار کرده باشد. بنابراین، افزایش نرخ‌های ارز یوان - دلار و یورو - دلار (تضعیف ارزش یوان و یورو در مقابل دلار) باعث همبستگی دنباله‌ای (مثبت و بالا) بین این دو ارز می‌گردد. این در حالی است که دنبال کردن سیاست حفظ ثبات قیمت و تراز کردن دوباره سبد دارایی، بانک مرکزی چین را ناچار به دخالت در بازار ارز به منظور تقویت یوان در مقابل دلار می‌کند که این امر باعث حفظ قدرت یوان در سبد دارایی در رقابت با یورو می‌گردد. تقویت یوان - دلار و یورو - دلار باعث کاهش همزمان هر دو نرخ ارز در مقابل دلار و نهایتاً وابستگی دنباله‌ای (منفی و پایین) بین آن‌ها می‌شود.

از این‌رو، یکی از پرسش‌های کلیدی که پژوهش حاضر دنبال می‌نماید این است که آیا ساختار وابستگی معناداری را می‌توان بین یوان - دلار و یورو - دلار در پیش و پس از پیوستن واحد پول چین به سبد SDR پیدا کرد؟ دوم این‌که آیا ساختار وابستگی در قبل و بعد از پیوستن یوان به سبد SDR کرده است؟ یا به عبارت دیگر، وزنه سیاست‌گذاری و دخالت بانک مرکزی در بازار ارز در قبل و بعد از پیوستن به سبد SDR به سوی کدام سیاست - حفظ رقابت‌پذیری یا حفظ ثبات و ارزش یوان در مقابل دلار - بوده است؟

در ادبیات و مطالعات مرتبط با موضوع حاضر، علی‌رغم انجام مطالعات گسترده بر ساختار وابستگی ارزها پیش و پس از معرفی یورو، تعداد مطالعات معطوف‌شده به چگونگی تعاملات یوان با سایر ارزها پیش و پس از افزودن یوان به سبد SDR بسیار اندک است. برخی پژوهش‌ها برای دوران قبل از میخکوب شدن یوان به دلار در ژوئیه ۲۰۰۵ هستند (Ho *et al.*, 2005)، و برخی نیز ساختار وابستگی بین ارزهای آسیا و یوان را مورد توجه قرار دادند و نقش یوان در آسیا را به مارک آلمان در اروپا در دهه ۱۹۹۰ تشبیه کردند (Ito, 2010; Shu, 2010; Pontines & Siregar, 2012; Chen *et al.*, 2013; Shu, 2015). وانگ و همکاران^۳ (۲۰۱۹)، اثر سیاست‌های داخلی و بین‌المللی و همچنین اثر سرریز

1. Competitiveness
2. Price Stability
3. Wang *et al.*

آن در طول سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ را بر هم‌حرکتی یوان و سبد SDR با روش GARCH مطالعه کردند. وانگ و شی^۱ (۲۰۱۳)، ارتباط متقابل بین یوان و چهار ارز مهم دیگر را بررسی کردند. در طول دو بحران ۲۰۰۸ و اروپا، همبستگی یوان و یورو منفی و در همه زمان‌های غیربحرانی همبستگی مثبت و ماندگار بوده است. همچنین وانگ و فانگ^۲ (۲۰۱۸) با روش رگرسیون چندکی، پناهگاه امن بودن یوان را در مقابل بسیاری از ارزها از زمان پیوستن به سبد SDR ثابت کردند. جایگاه آن در بین چهار ارز دیگر سبد SDR از نظر امنیت، بالاتر از پوند و یورو، و پایین‌تر از ین و دلار به دست آمده است. در میان پژوهش‌های انجام‌شده در ایران، در خصوص بررسی ساختار وابستگی بازار ارزها و سربایت، موردی به چشم نمی‌خورد. همچنین، مطالعات بین‌المللی نیز از بررسی ساختار وابستگی و سربایت بین ارزها با تمرکز بر نرخ ارز کشور چین (یوان) بعد از خبر مهم پذیرفته شدن آن در سبد SDR مغفول مانده است.

همان‌طور که اشاره شد، علاوه بر وجود شواهدی مانند فربه بودن دنباله توزیع‌ها در بازار ارز، پدیده‌هایی مانند سربایت یا تغییر اولویت‌دهی بانک‌های مرکزی به رقابت‌پذیری یا حفظ ثبات قیمتی سبب وابستگی دنباله‌ای قوی‌تر و بزرگ‌تر در توزیع مشترک نسبت به وابستگی متعارف در توزیع نرمال چندگانه خواهد شد. از این‌رو در ادبیات تجربی، به‌طور متعارف از توابع کاپولا به دلیل مزایایی از قبیل عدم نیاز به فرض نرمالیتی مانند همبستگی متعارف، استقلال از هم‌خانودگی توزیع‌های حاشیه‌ای، انعطاف‌پذیری در مدلسازی و تخمین توزیع‌های حاشیه‌ای با استفاده از توابع پارامتریک توزیع چندمتغیره، یکتایی برای تبدیلات یکنواخت، قابلیت کشف اطلاعات نه‌تنها درباره میزان وابستگی، بلکه ساختار وابستگی و وابستگی دنباله‌ای استفاده می‌شود. شایان اشاره است که بسته به شرایط بازارهای مالی، برای مثال سقوط یا افزایش همزمان قیمت‌ها، یکی از کاپولاها می‌تواند توضیح‌دهنده مناسب برای سنجش وابستگی دنباله‌ای در بازار باشد.

واقعیت‌های اشاره‌شده در حرکت نرخ ارزها - وابستگی دنباله‌ای نامتقارن چه در دنباله پایین و چه در دنباله بالا - دلالت بر هم‌حرکتی متفاوت ارزها بسته به سیاست‌های بانک مرکزی هر کشور دارد. در مورد موضوع پژوهش حاضر، همان‌طور که اشاره شد، به نظر می‌رسد بانک مرکزی چین در واکنش به تضعیف یورو در مقابل دلار، به منظور نگاه داشتن و افزایش سهم صادراتی خود به ایالات متحده آمریکا در مقایسه با صادرات سایر رقبای خود، اقدام به تضعیف ارزش یوان در مقابل دلار

1. Wang & Xie
2. Wong & Fong

کرده، که این امر باعث ایجاد همبستگی دنباله‌ای قدرتمند مثبت بین یوان و یورو شده است (به‌طور متعارف کاپولا با توزیع گامبل). در مقابل، به نظر می‌رسد بانک مرکزی چین پس از ورود یوان به سبد SDR ثبات ارزش یوان در مقابل دلار را در اولویت سیاستی خود قرار داده است که این امر باعث ایجاد همبستگی دنباله‌ای قوی و منفی بین این دو نرخ ارز شده است (به‌طور متعارف کاپولا با توزیع کلایتون). از نظر تکنیکی، برای در نظر گرفتن این عدم تقارن در همبستگی دنباله‌ای، پتن (۲۰۰۶) تابع کاپولای SJC^1 یا همان مدل جو - کلایتون متقارن را گسترش داده که در آن نه تنها وابستگی دنباله پایین، بلکه وابستگی دنباله بالا نیز در نظر گرفته شده است. اگرچه تابع کاپولای SJC قابلیت الگوسازی عدم تقارن احتمالی را در وابستگی دنباله‌ای نرخ ارزها دارد، اما به دلیل غیرشرطی بودن نمی‌تواند پویایی رفتار وابستگی دنباله‌ای بین ارزها را الگو کند. همان‌طور که اشاره شد، همبستگی دنباله‌ای ارزها با توجه به اهداف و نوع دخالت بانک‌های مرکزی می‌تواند در طول زمان تغییر کند که به نوبه خود قادر به تغییر ساختار وابستگی دنباله‌ای و عدم تقارن است. در این پژوهش، به منظور مدل کردن پویایی رفتار یوان - دلار و یورو - دلار از کاپولای SJC شرطی با کندال‌های بالا و پایین متغیر در زمان استفاده می‌شود که امکان مدل کردن نامتقارنی همبستگی‌های دنباله‌ای متغیر در زمان را برای یوان - دلار و یورو - دلار میسر می‌سازد.

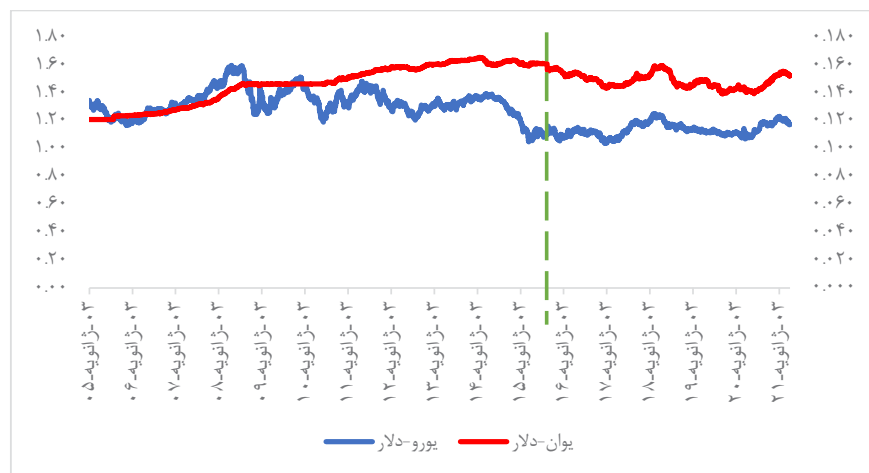
یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که نامتقارنی دنباله‌ای در قبل از پیوستن یوان به سبد SDR مشهود و از نظر آماری معنادار است. در این دوره، دنباله وابستگی بالا که نشان‌دهنده حفظ رقابت‌پذیری یوان - دلار در مقابل یورو - دلار است، به‌طور معناداری بالاتر از وابستگی پایین است که نشانگر حفظ ارزش یوان در برابر دلار است. از سوی دیگر، پس از پیوستن یوان به سبد SDR، با نزدیک شدن دنباله وابستگی پایین و بالا، عدم تقارن در سیاست بانک مرکزی چین در رابطه با حفظ رقابت و حفظ ارزش یوان، نه تنها به‌طور چشمگیری کاهش پیدا کرده، بلکه نتایج حاصل از الگوی کاپولای SJC شرطی با کندال متغیر در زمان نشان می‌دهد که وزن سیاست دخالت بانک مرکزی چین - اگرچه ناچیز و اندک - به سوی حفظ ارزش قدرت یوان در مقابل دلار در مقام رقابت با حفظ ارزش یورو در مقابل دلار بوده است.

توصیف داده‌ها

داده‌های نرخ ارز اتحادیه اروپا (EUR) و یوان (CNY) نسبت به دلار (USD) به صورت روزانه از

ژانویه ۲۰۰۵ تا آوریل ۲۰۲۱ (که دربرگیرنده هر دو دوره پیش و پس از افزودن یوان به سبد SDR هست) از پایگاه داده‌ای Investingview^۱ به دست آمده است. **شکل (۱)**، روند حرکتی جفت ارزها را در طول زمان نشان می‌دهد. در **شکل (۱)**، دو نکته تغییر روند افزایشی یوان - دلار (تضعیف یوان نسبت به دلار) به روند کاهشی (تقویت یوان نسبت به دلار)، و همچنین افزایش همبستگی دو جفت ارز را پس از انتشار خبر پیوستن یوان به سبد SDR در ۳۰ نوامبر ۲۰۱۵ (خط چین) به وضوح به نمایش گذاشته است. به دلیل سهولت تحلیل سری زمانی بازدهی نسبت به قیمت، بازده دو جفت ارز یوان و یورو نسبت به دلار به روش متداول درصد تفاوت لگاریتم قیمت‌ها $R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) * 100$ در مدلسازی بکار رفته است. خلاصه آماری بازده جفت ارزها در دو دوره پیش و پس از پیوستن یوان به سبد SDR در **جدول (۱)** آورده شده است.

میانگین بازده هر دو نرخ ارز در هر دو دوره، نسبت به انحراف معیار آن‌ها بسیار کوچک‌تر است و به خوبی بیانگر تلاطم بالای متغیرهاست. انحراف معیار بیش‌تر نرخ بازده یورو نسبت به یوان در هر دو دوره، نشانگر بازار پرریسک‌تر یورو است و کاهش آن در دوره دوم حاکی از کاهش ریسک بازار یورو پس از پیوستن یوان به سبد SDR است.



شکل ۱: روند روزانه جفت ارزها

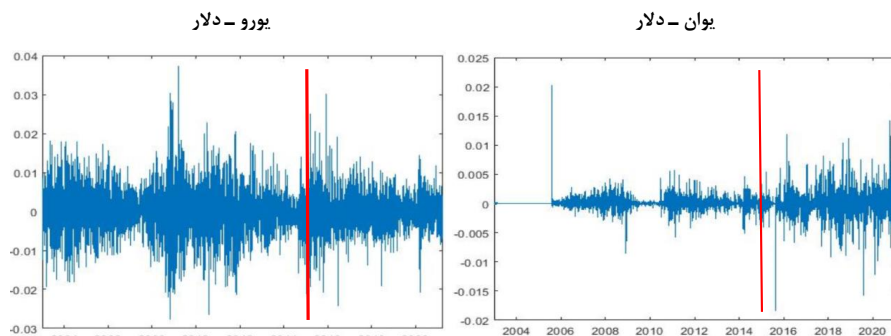
در حالی که بازار یوان - دلار در دوره دوم ریسکی تر شده است، آزمون جارك - براقوباً توزیع غیرشرطی نرمال را برای هر چهار متغیر رد می کند. بنابراین، شاخص های آماری از قبیل کشیدگی، چولگی و آماره جارك - برا به وضوح بیانگر ویژگی های دُم پهن، نامتقارنی و غیرنرمالیتی در توزیع غیرشرطی بازدهی نرخ ارزهاست. همچنین، آماره Q(15) در آزمون لجانگ - باکس، وجود خودهمبستگی در بازدهی نرخ ارزها را برای هر دو دوره یادآور می شود. به رغم مناسب نبودن ضریب همبستگی پیرسون برای اندازه گیری وابستگی خطی متغیرهایی با توزیع دُم پهن و روابط غیرخطی، تغییر همبستگی یورو و یوان از (۰/۱۶-) به (۰/۵۹) پس از پیوستن یوان به ارزهای بین المللی بیانگر افزایش همبستگی در دوره دوم است.

جدول ۱: ویژگی های آماری بازده نرخ های ارز بر حسب دلار

	پیش از پیوستن یوان		پس از پیوستن یوان	
	EUR-USD	CNY-USD	EUR-USD	CNY-USD
میانگین	۲/۸۰E-۶	۷/۵۶E-۵	۷/۵E-۵	-۱/۹E-۵
انحراف معیار	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۲۵
چولگی	۰/۰۴	۰/۳۱	۱۵	-۰/۰۳۷
کشیدگی	۴/۶	۸۵/۷	۵/۷۲	۷/۲
جارك - برا	۳۸۹/۹***	۹۶۱۱۲۶/۳***	۴۵۱/۸***	۱۰۶۱/۴***
Q(15)	۶۲/۰۳***	۴۱/۵***	۲/۴۱***	۱۷/۴***
همبستگی خطی	-۱۶/۰		۰/۵۹	
تعداد مشاهددها	۲۲۶۷		۱۳۹۹	

توجه: دو دوره پیش و پس از پیوستن یوان به سبد SDR به ترتیب شامل ۲۲۶۷ و ۱۳۹۹ مشاهده هستند. آماره جارك - برا مربوط به فرض نرمالیتی توزیع غیرشرطی در هر نمونه را برای هر چهار متغیر رد می کند. Q(15) آزمون لجانگ - باکس برای وجود همبستگی سریالی تا ۱۵ وقفه بازده ارزهاست. *** معناداری آماره ها را در سطوح ۵ درصد نشان می دهد.

همچنین، در شکل (۲) بازدهی هر دو جفت ارز نشان داده شده است. در هر شکل، اولین روز پس از اعلام خبر پیوستن یوان به سبد SDR توسط IMF با خط قرمز عمود مشخص شده است. وجود تلاطم خوشه ای از خصوصیات معمول دارایی های مالی و نشان دهنده وجود خودهمبستگی در بازده دارایی های مالی است. در شکل (۲)، علاوه بر تاثیرپذیری تغییر قیمت دوره بعد از تغییرات قیمت دوره جاری، نوسانات قابل توجه بازدهی یوان - دلار و کاهش نوسانات بازدهی یورو - دلار پس از ۳۰ نوامبر ۲۰۱۵ کاملاً مشهود است.



شکل ۲: بازدهی روزانه نرخ‌های ارز

روش‌شناسی پژوهش

در چارچوب اندازه‌گیری ساختار وابستگی بین دو متغیر - مشخصاً در این پژوهش، ساختار وابستگی بین واحدهای پولی یوان و یورو برحسب دلار - با استفاده از رویکرد کاپولا، توزیع مشترک چندگانه بین ارزهای اشاره‌شده در دو مرحله مدلسازی شده است. در مرحله نخست، رفتار توزیع حاشیه‌ای هر یک از ارزها بر اساس مدلسازی رفتار میانگین و واریانس شرطی الگو و سپس در مرحله دوم همبستگی ساختاری تابع کاپولا، بین توزیع حاشیه‌ای ارزها الگوسازی شده است. در واقع، نظریه اسکالر^۱ (۱۹۵۹) بیان می‌دارد که یک تابع توزیع مشترک دو بُعدی $G(x,y)$ می‌تواند بر اساس تابع کاپولای C برحسب توابع توزیع حاشیه‌ای پیوسته F_X و F_Y نگاشته شود:

$$G(X, Y) = C(F_X(x), F_Y(y)) \quad (۱)$$

حال اگر $R_{K,t}$ نرخ بازده ارزهای منتخب در زمان t باشد که در آن اندیس K نماینده هر یک از نرخ ارزها برحسب دلار باشد و همچنین اگر توابع توزیع تجمعی آن‌ها (CDF) به صورت $F_K(R_{K,t}|\Psi_{t-1})$ نمایش داده شود که در آن Ψ_{t-1} بیانگر تمامی بازده‌های گذشته $\{R_{K,t-j}\}$ و $j=1,2,\dots,t-1$ باشد، آنگاه تابع کاپولای شرطی با استفاده از CDF بازده‌های متغیر در زمان مفروض می‌تواند به صورت رابطه (۲) به نمایش گذاشته شود:

$$C_t(u_t, v_t|\Psi_{t-1}) \quad (۲)$$

که $u_t = F_X(R_{X,t}|\Psi_{t-1})$ و $v_t = F_Y(R_{Y,t}|\Psi_{t-1})$ است. با بسط نظریه اسکالر (۱۹۵۹)، CDF شرطی دومتغیره $R_{K,t}$ را می‌توان به صورت رابطه (۳) نوشت:

$$G(R_{X,t}, R_{Y,t}|\Psi_{t-1}) = C_t(F_{X,t}(R_{X,t}|\Psi_{t-1}), F_{Y,t}(R_{Y,t}|\Psi_{t-1})|\Psi_{t-1}) \quad (۳)$$

همان‌طور که از رابطه (۳) می‌توان مشاهده نمود، تابع کاپولا از انعطاف لازم در گزینش توابع توزیع حاشیه‌ای $F_K(R_{K,t}|\Psi_{t-1})$ برخوردار است، به‌طوری که می‌توان با انتخاب مناسب توابع توزیع حاشیه‌ای ساختار همبستگی بین آن دو را برآورد کرد. اگرچه انتخاب کاپولای الپتیکال^۱ شامل گاوین و T-Student به‌ترتیب انتخاب‌های رایج در اقتصاد با ویژگی توزیع متقارن و در بازارهای مالی با ویژگی عدم تقارن و دنباله پهن هستند، اما مشخصاً هر دو کاپولا، به‌ویژه توزیع گاوین، نمی‌تواند واقعیت‌های بازار مالی را در نظر بگیرند. واقعیت آشکار شده در بازارهای مالی با ویژگی دنباله پهن توزیع در یک فضای چندگانه حکایت از این نکته مهم دارد که احتمال وقوع وابستگی‌های دنباله‌ای (پایین، بالا یا هر دو) نسبت به وابستگی متعارف در توزیع نرمال بیش‌تر خواهد بود.

پدیده‌هایی مانند ریزش‌های شدید همزمان در بازارهای خرسی و جهش‌های رو به بالای همزمان در بازارهای گاوی به زبان تکنیکی از طریق وابستگی دنباله‌ای پایین و بالا بر اساس احتمال مشترک وقوع رخدادهای کوچک‌تر از هر دو متغیر U و V تعریف می‌شوند.

$$\lambda_L(\varepsilon) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} P[U < \varepsilon | V < \varepsilon] = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{C(\varepsilon, \varepsilon)}{\varepsilon} \quad (۴)$$

$$\lambda_U(\varepsilon) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 1} P[U > \varepsilon | V > \varepsilon] = \lim_{\varepsilon \rightarrow 1} \frac{1 - 2\varepsilon + C(\varepsilon, \varepsilon)}{1 - \varepsilon} \quad (۵)$$

که در آن همبستگی دنباله پایین بر اساس احتمال حدی U و V کوچک‌تر از ε و برعکس آن - احتمال حدی U و V بزرگ‌تر از ε - برای همبستگی دنباله‌ای بالا تعریف می‌شود. در این چارچوب، همان‌طور که اشاره شد، دنباله وابستگی برای توزیع نرمال و T-Student به‌ترتیب $\lambda_L^{student-t} = \lambda_U^{student-t} = 2t_{v+1} \left(-\frac{\sqrt{v+1}\sqrt{1-\rho}}{\sqrt{1+\rho}} \right) > 0$ و $\lambda_L^{Gaussian} = \lambda_U^{Gaussian} = 0$ است که در آن $t_{v+1}0$ همان تابع توزیع شرطی T-Student با درجه آزادی $v+1$ و ρ ضریب همبستگی بین U و V است. از سوی دیگر، در ادبیات کاپولایی، سه کاپولای ارشمیدسی تحت عنوان کاپولای فرانک، کلایتون و گامبل بر اساس **جدول (۲)** گسترش یافته است که هر یک از آن‌ها به‌ترتیب بر همبستگی در میانگین، همبستگی دنباله پایین و دنباله بالا تمرکز دارد.

جدول ۲: انواع کاپولای ارزشمندی

انواع	تابع کاپولا	پارامتر همبستگی	نوع همبستگی
فرانک	$-\theta^{-1} \log \left\{ 1 + \frac{(e^{-\theta u_1} - 1)(e^{-\theta u_2} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right\}$	$\theta \in (-\infty, \infty)$	متقارن (قوی در وسط توزیع و ضعیف در دُم‌ها)
کلایتون	$(u_1^{-\theta} + u_2^{-\theta} - 1)^{-1/\theta}$	$\theta \in [0, \infty)$	نامتقارن (دم پایین قوی و دم بالای ضعیف)
گامبل	$\exp \left(-(\tilde{u}_1^\theta + \tilde{u}_2^\theta)^{1/\theta} \right)$	$\theta \in [1, \infty)$	نامتقارن (دم بالا قوی و دم پایین ضعیف)

شایان اشاره است که بسته به شرایط بازارهای مالی، برای مثال سقوط یا افزایش همزمان قیمت‌ها، یکی از کاپولاها می‌تواند توضیح‌دهنده مناسب برای سنجش وابستگی دنباله‌ای در بازار باشد. واقعیت‌های اشاره‌شده در حرکت نرخ ارزها - وابستگی دنباله‌ای نامتقارن چه در دنباله پایین و چه در دنباله بالا - دلالت بر هم‌حرکتی متفاوت ارزها بسته به سیاست‌های بانک مرکزی هر کشور دارد. در مورد موضوع پژوهش حاضر به نظر می‌رسد رفتار مقامات پولی چین در واکنش به رفتار یورو - دلار به‌ویژه تا قبل از وارد شدن یوان به سبد SDR در نوامبر ۲۰۱۵ از یک رفتار نامتقارن تبعیت کرده است. بانک مرکزی چین در واکنش به تضعیف یورو در مقابل دلار، به منظور نگاه داشتن و افزایش سهم صادراتی خود به ایالات متحده آمریکا در مقایسه با صادرات سایر رقبای خود، اقدام به تضعیف ارزش یوان در مقابل دلار کرده، که این امر باعث ایجاد همبستگی دنباله‌ای قدرتمند مثبتی بین یوان و یورو شده است. در حالی که این همبستگی قوی را نمی‌توان در شرایط افزایش ارزش این دو واحد پولی در مقابل دلار مشاهده نمود. تفاوت در واکنش به انگیزه و اولویت بانک مرکزی به نحوه دخالت در بازار ارز برمی‌گردد. برای مثال، به نظر می‌رسد بانک مرکزی چین پس از ورود یوان به سبد SDR ثبات ارزش یوان در مقابل دلار را در اولویت سیاستی خود قرار داده است. اولویت حفظ ارزش یوان برحسب دلار در مقابل تغییر ارزش یورو برحسب دلار نیز به نامتقارنی وابستگی دنباله‌ای پولی منجر خواهد شد. از نظر تکنیکی، برای در نظر گرفتن این عدم تقارن در همبستگی دنباله‌ای، پتن (۲۰۰۶) تابع کاپولای SJC یا همان مدل جو - کلایتون متقارن را گسترش داده که در آن نه تنها وابستگی

دنباله پایین، بلکه وابستگی دنباله بالا نیز قابل تصریح است. معیار وابستگی آن کاملاً به بود یا نبود نامتقارنی در مدل بستگی دارد و به صورت رابطه (۶) قابل ارائه است:

$$C_t^{SJC} = (u_t, v_t; \lambda_U^{SJC}, \lambda_L^{SJC}) = 0.5C_t^{JC} = (u_t, v_t; \lambda_U^{JC}, \lambda_L^{JC}) + C_t^{JC}(1 - u_t, 1 - v_t; \lambda_U^{JC}, \lambda_L^{JC}) \quad (6)$$

در آن $k = \frac{1}{\log_2(2 - \lambda_L^{JC})}$ $C_t^{JC} = (u_t, v_t; \lambda_U^{JC}, \lambda_L^{JC}) = 1 - (1 - \{[1 - (1 - u_t)^k]^{-\gamma} - 1\}^{\frac{1}{\gamma}})^{\frac{1}{k}}$ و $\gamma = \frac{-1}{\log_2(\lambda_L^{JC})}$ است. به علاوه $\lambda_U^{SJC}(\varepsilon) \in (0,1)$ و $\lambda_L^{SJC}(\varepsilon) \in (0,1)$ خواهد بود. ضرایب وابستگی دنباله‌ای در این نوع تابع کاپولا، خود پارامترهای تابع کاپولا هستند. اگر $\lambda_L^{SJC} = \lambda_U^{SJC}$ باشد، ساختار وابستگی بازار متقارن، و در غیر این صورت نامتقارن، خواهد بود. اگرچه تابع کاپولای SJC قابلیت الگوسازی عدم تقارن احتمالی را در وابستگی دنباله‌ای نرخ ارزها داراست، اما به دلیل غیرشرطی بودن نمی‌تواند پویایی رفتار وابستگی دنباله‌ای بین ارزها را الگو نماید. همان‌طور که اشاره شد، همبستگی دنباله‌ای ارزها با توجه به اهداف و نوع دخالت بانک‌های مرکزی می‌تواند در طول زمان تغییر یابد که این به نوبه خود قادر به تغییر ساختار وابستگی دنباله‌ای و عدم تقارن خواهد بود. پتن (۲۰۰۶) به منظور مدل کردن پویایی رفتار متغیرها، τ کندال بالا و پایین را که بر اساس همبستگی بالا و پایین در کاپولای SJC به صورت $\lambda_U^{SJC}(\varepsilon) = \tau_U$ و $\lambda_L^{SJC}(\varepsilon) = \tau_L$ تعریف کرده، به شکل زیر الگو کرده است^۱:

$$\tau_{U,t}^{SJC} = \Lambda(\bar{\omega}_U + \bar{\beta}_U \tau_{U,t-1}^{SJC} + \bar{\alpha}_U) 1/10 \sum_{j=1}^{10} |u_{t-j} - v_{t-j}| \quad (7)$$

$$\tau_{L,t}^{SJC} = \Lambda(\bar{\omega}_L + \bar{\beta}_L \tau_{L,t-1}^{SJC} + \bar{\alpha}_L) 1/10 \sum_{j=1}^{10} |u_{t-j} - v_{t-j}| \quad (8)$$

نتایج مدل

در جدول (۳)، نتایج تخمین مرحله اول مربوط به توزیع‌های حاشیه‌ای آورده شده است. در

۱. Λ نشان‌دهنده تبدیل لاجستیک $\Lambda(x) = (1 + e^{-x})^{-1}$ برای قرار دادن τ در بازه (۰،۱) است. طرف راست این معادله شامل عبارت خودرگرسیون و متغیر کنترل ۱ شده است و تغییرات τ از فرایند (ARMA) تبعیت می‌کند. پتن (۲۰۰۶)، به دلیل مشکل بودن شناسایی متغیر کنترل، استفاده از میانگین قدر مطلق تفاوت بین u_t و v_t را در ۱۰ مشاهده قبل پیشنهاد می‌دهد.

هر دو دوره پیش و پس از افزودن یوان با استفاده از مدل *انگل*^۱ (۲۰۰۲)، مدل مناسب یورو - دلار AR(1)-GARCH(1,1) و برای یوان AR(12)-GARCH(1,1) انتخاب شده است. (در جدول ضرایب وقفه‌ای معادلات نرخ تغییرات یورو - دلار و یوان - دلار گزارش نشده است). ضرایب مدل GARCH در هر دو معادله نرخ ارز چه قبل و بعد از پیوستن یوان به سبد SDR معنادار است. در جدول (β_i) ضریب وقفه‌ای واریانس شرطی و (α_i) ضریب وقفه‌ای توان دوم جمله خطا است. ضریب نخست نشان‌دهنده وابستگی تلاطم دوره t به تلاطم دوره $t-1$ و ضریب دوم بیانگر تاثیرپذیری تلاطم هر دو بازار ارز از اطلاعات خبری در دوره $t-1$ است.

جدول ۳: تخمین پارامترهای توزیع‌های حاشیه‌ای

Variance Equation	پیش از پیوستن یوان		پس از پیوستن یوان	
	EUR-USD	CNY-USD	EUR-USD	CNY-USD
ω_i	۰/۰۰۰۶۳ (۰/۰۰۰۴۵)	۰/۰۰۲۵*** (۰/۰۰۰۶)	۰/۰۰۲ (۰/۰۰۰۱)	۰/۰۲۶** (۰/۰۰۱)
β_i	۰/۰۴*** (۰/۰۰۰۵۴)	۰/۱۴*** (۰/۰۰۳۲)	۰/۰۳۳*** (۰/۰۰۰۹)	۰/۱۱*** (۰/۰۰۳۶)
α_i	۰/۹۵*** (۰/۰۰۰۵۱)	۰/۶۵*** (۰/۰۰۰۸)	۰/۹۵*** (۰/۰۰۱۳)	۰/۴۵** (۰/۰۰۲۲)
Diagnostic		آزمون صحت الگو		
$Q(40)$	۲۸/۳۱ [۰/۹۱۶]	۳۷/۰۴ [۰/۶۰۳]	۳۲/۱۲ [۰/۸۰۷]	۴۳/۹۳ [۰/۳۰۸۶]
$Q^2(40)$	۴۸/۶۳ [۰/۱۶]	۰/۵۹ [۱]	۴۷/۴۸ [۰/۱۹]	۴۳/۴۰ [۰/۳۲]
Log Likelihood	-۲۲۷۹/۷	۲۲۸۹/۷	-۸۰۱/۳۱	-۴/۷۴

توجه: اعداد درون () و [] به ترتیب انحراف معیار و P-Value را نشان می‌دهد. آماره‌های $Q(40)$ و $Q^2(40)$ مربوط به آزمون لجانگ - باکس و نبود خودهمبستگی باقیمانده‌های استاندارد شده است، و همچنین مرتبه دوم آن را تا ۲۰ وقفه تایید می‌کند. ** و *** معناداری آماره‌ها را به ترتیب در سطوح ۵ و ۱ درصد نشان می‌دهد.

در مرحله دوم، وابستگی ساختاری بین توزیع حاشیه‌ای ارزها با استفاده از انواع توابع کاپولا الگوسازی شده است. به منظور امکان مقایسه نتایج مدل‌های مختلف کاپولا و انتخاب مدل مناسب،

چهار الگوی رایج گاوسین، T-Student، کلایتون و گامبل تخمین زده شده است. (رجوع کنید به جدول ۱پ).

معنادار نبودن پارامتر همبستگی کاپولای الپتیکال شامل گاوسین (نرمال) و T-Student، بیانگر وابستگی دنباله‌ای قوی‌تر و بزرگ‌تر در توزیع مشترک نسبت به وابستگی متعارف در توزیع نرمال چندگانه است. به عبارت دیگر، همبستگی دنباله‌های پایین، بالا یا هر دو به دلیل وجود پدیده‌هایی مانند ریزش‌های شدید همزمان بازار خرسی و جهش‌های رو به بالای همزمان بازار گاوی بسیار محتمل‌تر خواهد بود و اکتفا به همبستگی کاپولای الپتیکال مناسب نخواهد بود. دو مدل رایج کاپولای ارشمیدسی - کلایتون و گامبل - با قابلیت تخمین تنها یکی از دنباله‌های پایین و بالا نیز برای هر دو دوره تخمین زده شده است. معناداری کاپولای گامبل با وابستگی دم بالا نشان می‌دهد پیش از پیوستن یوان به سبد SDR، بانک مرکزی چین به تضعیف یورو در مقابل دلار حساس‌تر بوده و با انگیزه حفظ رقابت‌پذیری در تجارت اقدام به تضعیف واحد پول خود در مقابل دلار کرده است. در دوره دوم پس از پیوستن یوان به سبد SDR، معناداری تابع کاپولای کلایتون با وابستگی دنباله‌ای پایین، اهمیت و اولویت بانک مرکزی چین را برای دخالت در زمان تقویت یورو نسبت به دلار و در نتیجه ثبات قیمت نسبی یوان خاطر نشان می‌سازد.

عدم قابلیت هر دو تابع برای تخمین وابستگی همزمان دو دنباله بالا و پایین و بررسی نامتقارنی احتمالی، انگیزه استفاده از تابع کاپولای SJC را فراهم می‌سازد. از سوی دیگر، پویایی رفتار و وابستگی ارزها به دلیل تغییر اولویت و دخالت بانک‌های مرکزی، و همچنین تصمیمات سرمایه‌گذاران در طول زمان، مورد توجه ویژه‌ای قرار دارد. اگرچه تابع کاپولای SJC به‌طور مناسبی می‌تواند عدم تقارن احتمالی را در وابستگی دنباله‌ای نرخ ارزها الگو نماید، اما به دلیل غیرشرطی بودن قادر به الگوسازی پویایی وابستگی دنباله‌ای بین ارزها نیست. بنابراین، برای بررسی رخدادهای حادی مشترک^۱ بازدهی ارزها (یوان و یورو)، وابستگی‌های دنباله‌ای شرطی^۲ را به صورت مقید و تابعی از زمان باید بررسی کرد (Ho et al., 2005). نتایج هر دو مدل ثابت (کاپولای شرطی) و پویا (غیرشرطی) در جدول (۴) آورده شده است.

1. Joint Extreme Events
2. Conditional Tail Dependence

جدول ۴: تخمین پارامترهای تابع SJC Copula شرطی و غیر شرطی

پس از پیوستن یوان پیش از پیوستن یوان		
SJC Copula		
λ_U	۰/۶۸*** (۰/۰۰۴)	۰/۶*** (۰/۰۰۹)
λ_L	۰/۴۷*** (۰/۰۰۴)	۰/۶*** (۰/۰۰۹)
Log Likelihood	-۲۵۳۲	-۲۵۲۲
Time-Varying SJC Copula		
w_U	۰/۳ (۰/۷)	-۴*** (۱)
w_L	-۵/۱۱*** (۰/۵)	-۱/۲ (۰/۹)
β_U	-۴/۱۱*** (۰/۱۶)	-۳/۵*** (۰/۲)
β_L	-۳/۴*** (۰/۲)	-۳/۴*** (۰/۳)
α_U	۹*** (۱/۷)	۲۰*** (۳)
α_L	۲۳*** (۱/۸)	۱۱*** (۲/۵)
Log Likelihood	-۲۵۳۲	-۲۵۲۲

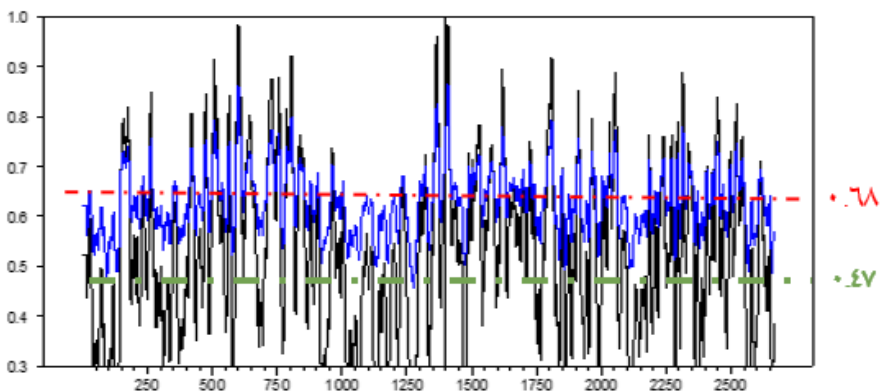
توجه: مقادیر داخل پرانتز، نشان‌دهنده انحراف معیار و *** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۵ درصد است.

در دوره یکم، پیش از پیوستن یوان به سبد SDR با توجه به $\lambda_U^{SJC} \neq \lambda_L^{SJC}$ ساختار وابستگی یوان و یورو نامتقارن شناخته شده است. به‌طوری که وابستگی دنباله بالا (۰/۶۸) از دنباله پایین (۰/۴۷) بیش‌تر بوده و به‌خوبی اولویت حفظ رقابت‌پذیری و دخالت بانک مرکزی را در زمان تضعیف یورو در مقابل دلار به نمایش گذاشته است. متوسط پارامتر وابستگی بالا و پایین پس از پیوستن یوان به سبد SDR به میزان ۰/۶ بوده و نشانگر تقارن رفتاری دو ارز در زمان تضعیف و تقویت آن‌ها نسبت به دلار بوده است. با مقایسه پارامترهای وابستگی دنباله‌ای کاهش اولویت رقابت‌پذیری (کاهش وابستگی

دنباله بالا از ۰/۶۸ به ۰/۶ و افزایش اولویت ثبات قیمت نسبی (افزایش وابستگی دنباله پایین از ۰/۴۷ به ۰/۶) بانک مرکزی نسبت به دوره یکم مشهود است، اما همچنان پارامترهای تخمینی کاپولای ثابت، قادر به نمایش پویایی‌های رفتاری در طول زمان نیست.

در تخمین کاپولای پویا، پارامتر β درجه ماندگاری^۱ وابستگی و α درجه تغییرات^۲ وابستگی را نشان می‌دهد. پارامتر ω که در جدول (۴) نشانگر عرض از مبدأ یا درجه وابستگی‌های دنباله بالا و پایین است، در دوره پیش از افزودن یوان تنها برای دنباله پایین و در دوره دوم برای دنباله بالا معنادار است، در حالی که پارامتر β و α برای هر دو دوره معنادار است.

پارامتر β به‌خوبی بیانگر ماندگاری بالاتر وابستگی‌های دنباله بالا نسبت به دنباله پایین در دوره یکم است. در حالی که پس از معرفی یوان ماندگاری وابستگی‌ها در هر دو دنباله تقریباً یکسان به‌دست‌آمده است. همچنین، پارامتر α نشانگر تغییرات بیش‌تر وابستگی در دنباله پایین نسبت به بالا در دوره یکم و برعکس آن در دوره دوم است. اشکال (۳) و (۴) مسیر زمانی وابستگی دو دنباله (بالا، پایین) یورو و یوان را به‌ترتیب پیش و پس از پیوستن یوان به سبد SDR نشان می‌دهند.



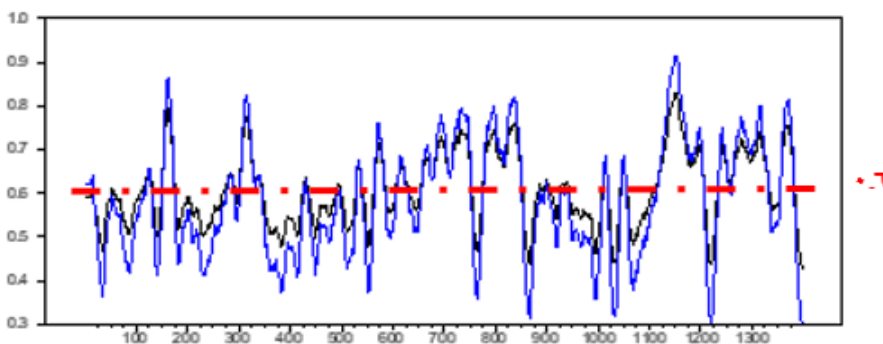
شکل ۳: وابستگی شرطی در مدل Time-Varying SJC Copula پیش از پیوستن یوان به سبد SDR (ژانویه ۲۰۰۵ تا نوامبر ۲۰۱۵)

1. Persistence
2. Variations in the Dependence

مطابق شکل (۳)، پیش از پیوستن یوان، علی‌رغم متوسط وابستگی دنباله بالا و پایین به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۴۷، پارامترهای وابستگی در طول دوره ژانویه ۲۰۰۵ تا نوامبر ۲۰۱۵ ثابت نبوده و هر کدام از میانگین خود منحرف شده است. همان‌طور که در شکل (۳) مشخص است، پارامتر وابستگی بالا (خط آبی) در بازه ۰/۵ تا ۰/۸ نوسان داشته است. در حالی که وابستگی دنباله پایین (خط مشکی) در طول دوره نوامبر ۲۰۱۵ تا آوریل ۲۰۲۱ (پس از پیوستن یوان به سبد SDR) بین ۰/۳ تا ۱ نوسان داشته است.

در شکل (۴)، همبستگی دُم بالا (خط آبی) و پایین (خط مشکی) به‌طور متوسط برابر و به میزان ۰/۶ است، اما هر دو خط در طول زمان از میانگین خود انحراف داشته و همان‌طور که نشان داده شده است، پس از پیوستن یوان به سبد SDR دامنه تغییرات وابستگی دنباله بالا و پایین عکس دورهٔ یکم بوده است. به عبارت دیگر، در دورهٔ دوم (از نوامبر ۲۰۱۵ تا آوریل ۲۰۲۱) نوسانات وابستگی دنباله پایین شدیدتر بوده و در بازه ۰/۳ تا ۱ تغییر کرده است.

به‌طور کلی، اشکال (۳) و (۴) نتایج جدول (۴) را مبنی بر درجهٔ بیش‌تر تغییرات وابستگی دنباله پایین (α_L) در دورهٔ پیش از پیوستن یوان به سبد SDR و برعکس آن در دورهٔ دوم تأیید می‌کند.

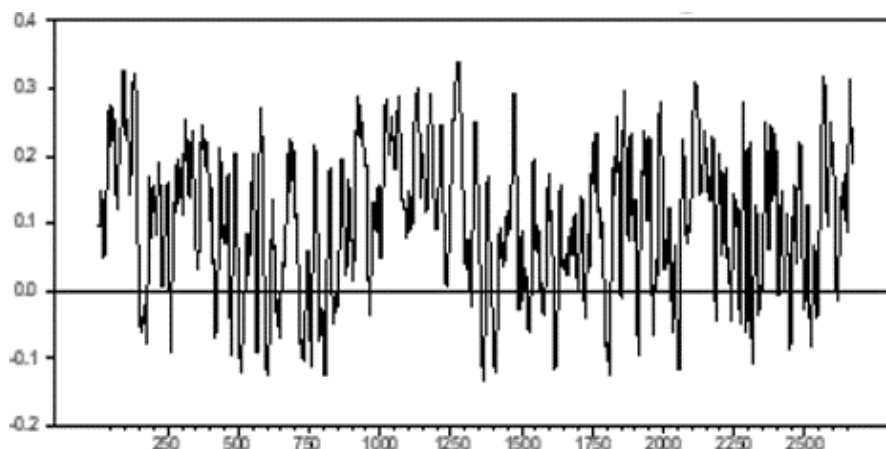


شکل ۴: وابستگی شرطی در مدل Time-Varying SJC Copula پس از پیوستن یوان به سبد SDR (نوامبر ۲۰۱۵ تا آوریل ۲۰۲۱)

تفاوت اشکال (۳) و (۴) به‌خوبی نشان می‌دهد که وابستگی دنباله‌ای بالا و پایین پس از نوامبر ۲۰۱۵ هم‌زمان با پیوستن یوان به سبد SDR تغییر چشمگیری داشته و این تغییر موقتی نبوده و به حالت قبل برگشته است. به عبارت دیگر، اولویت مقامات پولی چین از صرف تضعیف یوان برحسب

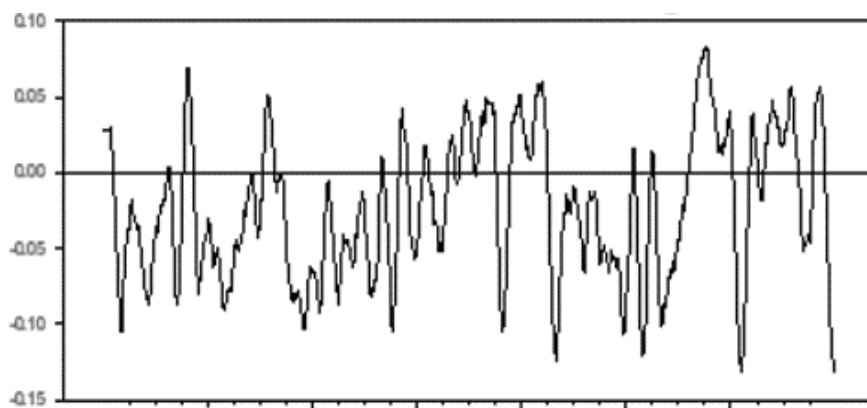
دلار و در نتیجه حفظ مزیت رقابتی در تجارت در زمان تضعیف یورو نسبت به دلار، به اولویت تقویت یوان در مقابل دلار و حفظ ثبات قیمت در زمان تقویت یورو تغییر کرده است. یکی از دلایل اتخاذ این سیاست می‌تواند حمایت از سرمایه‌گذاران یوان و افزایش سهم آن در پرتفوی سرمایه‌گذاران باشد. بنابراین، تغییر اولویت‌دهی بانک مرکزی چین از حفظ رقابت‌پذیری به حفظ ثبات قیمتی را می‌توان به عنوان شروع تغییر جایگاه یوان در میان ارزهای بین‌المللی و حتی آغازگر تغییر رفتار سرمایه‌گذاران، بانک‌های مرکزی، و تجار به‌شمار آورد.

برای مقایسه واضح‌تر وابستگی دنباله بالا و پایین و تغییرات آن در هر دوره، تفاوت آن‌ها در دو دوره به‌طور مجزا در **اشکال (۵)** و **(۶)** نشان داده شده است. در **شکل (۵)**، تفاوت وابستگی دو دنباله (بالا، پایین) پیش از پذیرش یوان در سبد SDR، اغلب بیش‌تر از صفر نشان داده شده است، که به‌وضوح بیانگر فزونی وابستگی دنباله بالا بر دنباله پایین است. پیش از این‌که یوان یک گام دیگر به ارزهای بین‌المللی نزدیک شود، اولویت بانک مرکزی چین رقابت در تضعیف بوده است تا بتواند سهم تجاری خود را از طریق مزیت قیمتی حفظ کند. بنابراین، چین در زمان تضعیف یورو در مقابل دلار به تضعیف واحد پول خود (یوان) نسبت به دلار پرداخته که این امر موجب وابستگی بیش‌تر یورو و یوان در دنباله‌های بالا خواهد شد.



شکل ۵: مسیر زمانی تفاوت بین وابستگی دم بالا و پایین در Time-Varying SJC Copula پیش از پیوستن یوان به SDR (ژانویه ۲۰۰۵ تا نوامبر ۲۰۱۵)

اما در شکل (۶)، تفاوت وابستگی دنباله بالا و پایین عمدتاً کم‌تر از صفر است که نشانگر بیش‌تر بودن وابستگی دنباله پایین نسبت به وابستگی دنباله بالاست. تقویت یوان همزمان با تقویت‌های شدید یورو در مقابل دلار، برانگیختگی انگیزه ثبات قیمت و توجه به رقابت مالی را از طریق سهم‌گیری در پرتفوی سرمایه‌گذاران بیان می‌کند.



شکل ۶: مسیر زمانی تفاوت بین وابستگی دم بالا و پایین در Time-Varying SJC Copula پس از پیوستن یوان به سبد SDR (نوامبر ۲۰۱۵ تا آوریل ۲۰۲۱)

بحث و نتیجه‌گیری

آگاهی از ساختار وابستگی و توزیع شرطی چندمتغیره، به‌ویژه در زمانی که وابستگی نامتقارن و دنباله پهن در متغیرها مشهود باشد، کاربرد حیاتی در بررسی رفتارهای مالی دارد (Singh et al., 2011). با وجود تغییرات شگرف سال‌های اخیر در اقتصاد کشور چین و ثبت گام‌های موثر در زمینه بین‌المللی‌سازی یوان، تعداد کمی از پژوهش‌های حوزه وابستگی‌های بین‌المللی به نقش چین در تعاملات جهانی پرداخته‌اند. نادیده گرفتن تغییر ساختار وابستگی یورو به عنوان ارز پرکاربرد و یوان می‌تواند با افزایش ریسک و نااطمینانی‌های اقتصادی، اهدافی مانند متنوع‌سازی پرتفوی، اندازه‌گیری و کنترل ریسک، قیمتگذاری دارایی‌ها و تخصیص منابع را متاثر سازد. بدین ترتیب، ماهیت وابستگی دو ارز پرسشی

جذاب و مهم برای اقتصاددانان، سرمایه‌گذاران، فعالان اقتصادی، و سیاستگذاران خواهد بود.

پیوستن یوان به سبد SDR به عنوان مسیر تکامل بین‌المللی‌سازی یوان، انگیزهٔ تمرکز بر ساختار وابستگی یوان چین با ارز پرکاربرد یورو (هر یک برحسب دلار) را ایجاد می‌کند. همبستگی خطی رایج بین یورو و یوان تنها نشانگر تغییر همبستگی از ۰/۱۶- به ۰/۵۹+ یا به عبارت دیگر، تنها بیانگر همبستگی خطی آنهاست و اطلاعاتی در مورد نحوهٔ هم‌حرکتی آنها در تضعیف‌ها یا تقویت‌های شدید (دنباله‌های بالا و پایین) در اختیار نمی‌گذارد. در رویکرد جایگزین، با نداشت توزیع مشترک بر اساس تابع کاپولا برحسب توابع توزیع حاشیه‌ای، واقعیت‌های آشکارشده در بازارهای ارز از جمله نامتقارنی و پهن بودن دنباله توزیع نیز پوشش داده می‌شوند. پهن بودن دنباله‌ها در یک فضای توزیع چندگانه، خود می‌تواند حکایت از این نکته داشته باشد که وابستگی دنباله‌ای در توزیع مشترک این ارزها قوی‌تر و بزرگ‌تر از وابستگی متعارف در توزیع نرمال چندگانه است.

اگرچه انتخاب کاپولای الپتیکال شامل گاوسین (نرمال) و T-Student به‌ترتیب انتخاب‌های رایج در اقتصاد - با ویژگی تقارنی - و در بازارهای مالی - با ویژگی عدم تقارنی و دنباله پهن - هستند، اما مشخصاً هر دو کاپولاها، به‌ویژه توزیع گاوسین، نمی‌توانند واقعیت‌های بازار مالی را در نظر بگیرند. رواج پدیده‌هایی مانند ریزش‌های شدید همزمان بازار خرسی و جهش‌های رو به بالای همزمان بازار گاوی در بازار ارزها، موجب همبستگی دنباله‌ای - همبستگی دنباله‌های پایین، بالا یا هر دو - در بین ارزها خواهد شد. تابع SJC Copula به دلیل تخمین نامتقارنی بین ارزها در صورت وجود، کاراترین مدل برای بررسی ساختار وابستگی ارزها شناخته شده است. از آنجایی که همبستگی بین ارزها به دلیل تغییر سیاستگذاری بانک‌های مرکزی و رفتار سرمایه‌گذاران در طول زمان قابل تغییر است، مدل SJC Copula پویا به دلیل توانایی نمایش تغییرات وابستگی‌ها در طول زمان انتخاب شده است.

نتایج مدل نشان می‌دهد که پیش از پیوستن یوان به سبد SDR، بانک مرکزی چین رفتاری نامتقارن در زمان تضعیف و تقویت یورو در مقابل دلار داشته است، به‌طوری که به دلیل اولویت حفظ قدرت رقابت‌پذیری و نگه داشتن سهم تجاری در ایالات متحده، در زمان تضعیف یورو نسبت به دلار اقدام به تضعیف یوان نسبت به دلار کرده است. بنابراین، وابستگی یورو - دلار و یوان - دلار در زمان تضعیف، یا به عبارت دیگر، دنباله‌های بالا بیش‌تر از وابستگی دو جفت ارز در زمان تقویت نسبت به دلار بوده است. پس از پیوستن یوان به سبد SDR، علی‌رغم برابری پارامتر دو وابستگی حدى بالا و پایین در کاپولای ثابت (۰/۱۶)، واکنش بانک مرکزی چین در طول زمان متفاوت بوده و تمرکز بیش‌تر خود را بر حفظ ثبات قیمت نسبی گذاشته است. بدین ترتیب برخلاف دورهٔ یکم، همزمان با تقویت یورو در مقابل دلار،

به تقویت یوان در مقابل دلار پرداخته است. این مشاهده، علاوه بر نمایش نامتقارنی وابستگی و تفاوت واکنش بانک‌های مرکزی دو کشور در زمان تضعیف و تقویت، به‌خوبی بیانگر تغییر راهبردهای مقامات پولی دو کشور است. پیش از پیوستن یوان به سبد SDR، حفظ مزیت رقابتی در تجارت و در نتیجه، تضعیف یوان در زمان تضعیف یورو در اولویت مقامات پولی چین بوده که این موضوع موجب وابستگی بیش‌تر دو ارز در زمان تضعیف‌های شدید شده است. این در حالی است که پس از پیوستن یوان به سبد SDR، وابستگی‌ها در زمان تقویت‌های شدید بیش‌تر شده است. پیش از افزوده شدن یوان به سبد SDR و پذیرش آن به عنوان ارز ذخیره‌ای، بانک مرکزی چین به‌شدت نگران بقای رقابت‌پذیری بوده و به همین دلیل در زمان تضعیف سایر ارزها در مقابل دلار، سهم تجاری خود را با مداخله حفظ کرده است، اما پس از پذیرش در سبد SDR، وابستگی در زمان تقویت بیش‌تر شده که نشان از افزایش سهم یوان در پرتفوی سرمایه‌گذاران و به‌تبع آن حمایت سیاستگذار از طریق حفظ ثبات قیمت یوان داشته است. تغییر تمرکز دو کشور و در نتیجه سیاست‌های مداخله‌گرانهٔ آن‌ها در زمان تقویت به‌جای تضعیف می‌تواند نشانی از تغییر جایگاه یوان و ورود روابط دو ارز به فازی جدید باشد. ماندگاری تغییر رفتار یوان در کل دورهٔ دوم نشان می‌دهد که این تغییر وابستگی‌ها موقتی و ناشی از شوک خبر پیوستن یوان به سبد SDR نبوده و از ۲۰۱۵ به همبستگی بین دو ارز تبدیل شده است.

با وجود پیشینه اندک در زمینهٔ تغییر درجه اهمیت یوان در میان ارزهای بین‌المللی، پژوهش حاضر با استفاده از رویکرد SJC Copula پویا، ساختار وابستگی یورو و یوان در مقابل دلار را بررسی کرده و تغییر اولویت سیاستگذاری مقامات پولی چین را در مقابل تغییرات یورو نتیجه گرفته است. تغییر اولویت چین از حفظ رقابت تجاری به حفظ ثبات قیمت نسبی در مقابل حرکات یورو - دلار نیاز به پژوهش‌های بیش‌تر در این حوزه دارد از قبیل ساختار وابستگی یوان با سایر ارزها و طلا به عنوان پناهگاه امن.

اظهاریه قدردانی

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های معنوی و توصیه‌های ارزشمند داوران محترم و ناشناس که نقش مهمی در ارتقای سطح کیفی مقاله داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

- Antonakakis, N. (2012). Exchange Return Co-Movements and Volatility Spillovers Before and After the Introduction of Euro. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 22(5), 1091-1109. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2012.05.009>
- Boero, G., Silvapulle, P., & Tursunalieva, A. (2011). Modelling the Bivariate Dependence Structure of Exchange Rates Before and After the Introduction of the Euro: A Semi-Parametric Approach. *International Journal of Finance & Economics*, 16(4), 357-374. <https://doi.org/10.1002/ijfe.434>
- Chen, C., Siregar, R., & You, M. (2013). RMB as an Anchor Currency in ASEAN, China, Japan and Korea Region. *Journal of Asian Economics*, 2(4), 36-54.
- Diebold, F. X., & Yilmaz, K. (2015). Trans-Atlantic Equity Volatility Connectedness: US and European Financial Institutions, 2004–2014. *Journal of Financial Econometrics*, 14(1), 81-127. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3680198>
- Engle, R. (2002). New Frontiers for ARCH Models. *Journal of Applied Econometrics*, 17(5), 425-446. <https://doi.org/10.1002/jae.683>
- Ho, C., Ma, G., & McCauley, R. N. (2005). Trading Asian Currencies. *BIS Quarterly Review*, 49-58.
- Ito, T. (2010). China as Number One: How About the Renminbi? *Asian Economic Policy Review*, 5(2), 249-276. <https://doi.org/10.1111/j.1748-3131.2010.01169.x>
- Patton, A. J. (2001). Modelling Time-Varying Exchange Rate Dependence Using the Conditional Copula. *University of California, San Diego, Discussion Paper 2001-09*. <https://escholarship.org/uc/item/01q7j1s2>
- Patton, A. J. (2006). Modelling Asymmetric Exchange Rate Dependence. *International Economic Review*, 47(2), 527-556. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2354.2006.00387.x>
- Pontines, V., & Siregar, R. Y. (2012). Fear of Appreciation in East and Southeast Asia: The Role of the Chinese Renminbi. *Journal of Asian Economics*, 23(4), 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2012.03.005>
- Shu, C. (2010). Impact of the Renminbi Exchange Rate on Asian Currencies. In *Currency Internationalization: Global Experiences and Implications for the Renminbi* (pp. 221-235): Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9780230245785_10
- Shu, C., He, D., & Cheng, X. (2015). One Currency, Two Markets: The Renminbi's Growing Influence in Asia-Pacific. *China Economic Review*, 33(1), 163-178. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2015.01.013>
- Singh, A. K., Allen, D. E., & Powell, R. J. (2011). *Evaluating Extremal Dependence in Stock Markets Using Extreme Value Theory*. 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia.
- Sklar, M. (1959). Fonctions de repartition an dimensions et leurs marges. *Publications de l'Institut de statistique de l'Université de Paris*, 8(1), 229-231.
- Tamakoshi, G., & Hamori, S. (2014). Co-Movements among Major European Exchange Rates: A Multivariate Time-Varying Asymmetric Approach. *International Review of Economics & Finance*, 31(1), 105-113. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2014.01.016>
- Wang, G.-J., & Xie, C. (2013). Cross-Correlations between Renminbi and Four Major

- Currencies in the Renminbi Currency Basket. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 392(6), 1418-1428. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2012.11.035>
- Wang, Y.-C., Tsai, J.-J., & Lu, L. (2019). The Impact of Chinese Monetary Policy on Co-Movements between Money and Capital Markets. *Applied Economics*, 51(45), 4939-4955. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1606407>
- Wong, A. Y.-T., & Fong, T. P. W. (2018). Safehavenness of Currencies. *The European Journal of Finance*, 24(4), 300-332. <https://doi.org/10.1080/1351847X.2016.1239584>

پیوست:

جدول اپ: تخمین پارامترهای توابع کابولای الپتیکال و ارشمیدسی

	پیش از پیوستن یوان	پس از پیوستن یوان
Gaussian		
ρ	۰/۰۲۴ (۰/۰۱۹)	-۰۰/۰۱۶ (۰/۰۲)
lnL	-۷۵۳۴	-۳۹۲۱

T-Student		
ρ	۰/۰۰۲۱ (۰/۰۰۲)	-۰/۰۱۷ (۰/۱۳)
df	۴/۶*** (۰/۲۲)	۵/۸*** (۰/۴)
lnL	-۷۱۰۰	-۳۸۲۸

Gumbel		
θ	۱*** (۰/۰۱)	۰/۰۱ (۰/۰۲)
lnL	-۴۳۴۱	-۲۲۸۶

Clayton		
θ	۰/۰۲۳ (۰/۰۱)	۰/۹۵*** (۰/۰۱)
lnL	-۴۳۶۶	-۲۲۸۴

توجه: مقادیر داخل پرانتز، نشان‌دهنده انحراف معیار و *** نشان‌دهنده معناداری در سطح ۵ درصد است.

نحوه ارجاع به مقاله:

خیابانی، ناصر، و بزرگ، شادی (۱۴۰۱). ساختار وابستگی یوان و یورو پیش و پس از پیوستن یوان به سبد SDR: رویکرد Copula Time-Varying. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۷(۳)، ۳-۲۶.

Khiabani, N., & Bozorg, S. (2022). Dependence Structure of Yuan and Euro Before and After Yuan Joined SDR Basket: Copula Time-Varying Approach. *Planning and Budgeting*, 27(3), 3-26.

DOI: <https://doi.org/10.52547/jpbud.27.3.3>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



مقایسه تطبیقی منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه با منحنی‌های فیلیپس با لحاظ ناهمگنی در اقتصاد ایران

m.hemmati@mabri.ac.ir

مریم همتی

استادیار گروه پولی و ارزی، پژوهشکده پولی و بانکی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶

چکیده: رابطهٔ بده-بستان تورم و شکاف تولید تحت هر یک از تصریح‌های منحنی فیلیپس متفاوت است و سیاست پولی بهینه با فرض هر یک از این تصریح‌ها نیز فرق می‌کند. با درک اهمیت موضوع و به منظور شناسایی منحنی فیلیپس سازگار با واقعیات آشکارشده در اقتصاد ایران، در این پژوهش با استفاده از چارچوب مدل تعادل عمومی پویای تصادفی و تحلیل بیزی، طیف وسیعی از مدل‌های قیمتگذاری شامل مدل اطلاعات چسبنده، چسبندگی دوگانه (چسبندگی همزمان قیمت و اطلاعات)، کالو تعمیم‌یافته، چندبخشی و هایبرید مقایسه و ارزیابی شده است. به منظور مقایسه مدل‌های قیمتگذاری مختلف در این پژوهش از چهار معیار مقایسه احتمال پسین مدل‌ها، مقایسه گشتاورهای داده‌های شبیه‌سازی شده مدل با داده‌های دنیای واقعی، مقایسه خودهمبستگی نرخ تورم واقعی با میانه توزیع پسین هر یک از مدل‌ها، و بررسی توابع واکنش آنی استفاده شده است. بر اساس نتایج، منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه نسبت به سایر تصریح‌های فیلیپس با واقعیات آشکارشده در اقتصاد ایران سازگاری بیش‌تری دارد. در تصریح منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه، علاوه بر جزء تورم انتظاری، جزء با وقفه تورم نیز به صورت درون‌زا (به دلیل فرض همزمان دو نوع چسبندگی قیمت و اطلاعات) ظاهر می‌شود.

کلیدواژه‌ها: منحنی فیلیپس، مدل قیمتگذاری، مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، مدل

چسبندگی دوگانه، برآورد بیزی.

طبقه‌بندی JEL: E31, E37, C53, D84.

مقدمه

از سال ۱۹۵۸ منحنی فیلیپس (رابطه عکس تورم و بیکاری) به مفهومی کلیدی در تحلیل‌های اقتصاد کلان و سیاستگذاری پولی تبدیل شده است. امروزه تصریح منحنی فیلیپس با نسخه پنجاه سال پیش آن بسیار متفاوت است. درک ما از رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها، عوامل تعیین‌کنندهٔ تحولات تورم، و نقش سیاست پولی به‌طور قابل‌توجهی از آن زمان دستخوش تغییر شده است. بنابراین، بررسی اعتبار نظری و تجربی تصریح‌های مختلف منحنی فیلیپس از اهمیت زیادی برخوردار است. هر یک از تصریح‌های منحنی فیلیپس دلالت‌های مختلفی برای سیاستگذاری پولی به همراه دارد، زیرا تحولات تورم و رابطه بده-بستان تورم و شکاف تولید در هر یک از تصریح‌های منحنی فیلیپس متفاوت است و سیاست پولی بهینه تحت هر یک از این تصریح‌ها نیز فرق می‌کند. منحنی فیلیپس بر وجود بده-بستان بین تولید و تورم دلالت دارد که سیاستگذار پولی بسته به ترجیحاتش قادر است ترکیب بهینه‌ای از تورم و تولید را انتخاب کند. برای مثال، تمایل سیاستگذار به رساندن نرخ بیکاری به کم‌ترین میزان باعث خواهد شد که اقتصاد نرخ تورم بالاتری را تحمل کند. البته بهره‌گیری از این بده-بستان تنها در کوتاه‌مدت برای مقام پولی امکان‌پذیر است. در نتیجه، مشخص است که نوع تصریح منحنی فیلیپس در تعیین سیاست پولی بهینه اثرگذار است.

از سویی دیگر، اثرات زبان‌بار تورم‌های مزمن و بالا بر اقتصاد باعث شده است که دولتمردان و مقامات پولی کشورها همواره درصدد رفع این پدیده و کاهش و کنترل تورم برآیند. بدین منظور، پیش‌بینی نحوهٔ حرکت شاخص تورم از اهمیت بسزایی برخوردار است. بنابراین، ارائه الگوی اقتصادی مناسب برای پیش‌بینی تورم جایگاه ویژه‌ای دارد. در همین راستا، ارائه تصریح مناسبی از منحنی فیلیپس برای پیش‌بینی تورم ضرورت می‌یابد (Taiebnia et al., 2014).

با درک اهمیت موضوع و به منظور شناسایی منحنی فیلیپس سازگار با واقعیات آشکارشده در اقتصاد ایران، در این پژوهش تصریح‌های مختلف منحنی فیلیپس در چارچوب مدل تعادل عمومی پویای تصادفی مقایسه و بررسی شده است. اگرچه هیچ‌یک از تصریح‌های منحنی فیلیپس نمی‌تواند به‌طور کامل شواهد تجربی مشاهده‌شده را توضیح دهد، اما باید به‌طور دقیق‌تر بررسی شود کدام یک از تصریح‌ها بیش‌تر با واقعیات آشکارشده در اقتصاد ایران تطابق دارد. در بیش‌تر پژوهش‌های تجربی در اقتصاد ایران از تصریح منحنی فیلیپس نوکینزی^۱ (NKPC) که مبتنی بر مدل قیمتگذاری کالوو^۲

1. New-Keynesian Phillips Curve
2. Calvo

است، استفاده می‌شود (Kavand, 2009; Tavakolian, 2015; Komijani & Tavakolian, 2012). تصریح NKPC دلالت بر این دارد که نرخ تورم در دوره جاری تابعی از شکاف تولید در دوره جاری و انتظارات از نرخ تورم در آینده است. در نتیجه، نرخ تورم در این الگو بسیار سریع به تکانه‌های سیاست پولی واکنش نشان می‌دهد که در تناقض با شواهد تجربی است. بر اساس پژوهش‌های تجربی در اقتصاد ایران، تکانه پولی با تاخیر بر نرخ تورم تاثیر می‌گذارد یا چند فصل طول می‌کشد تا اثر تکانه پولی به‌طور کامل بر قیمت‌ها ظاهر شود. علت بروز این تناقض می‌تواند وجود اطلاعات چسبنده^۱ در اقتصاد ایران باشد.

منکیو و رایس^۲ (۲۰۰۲)، برای غلبه بر ضعف NKPC در شبیه‌سازی لختی [= اینرسی] تورم، مدل اطلاعات چسبنده را پیشنهاد می‌دهند. پویایی‌های تورم در الگوی **منکیو و رایس (۲۰۰۲)** توسط منحنی فیلیپس تحت اطلاعات چسبنده^۳ (SIPC) نشان داده می‌شود. مهم‌ترین ویژگی تصریح SIPC این است که نرخ تورم جاری نه تنها به شکاف تولید جاری، بلکه به انتظارات گذشته^۴ (یا مبتنی بر اطلاعات دوره‌های گذشته) از نرخ تورم و تغییرات شکاف تولید در دوره جاری نیز بستگی دارد. این ویژگی باعث می‌شود که برآورد تجربی پارامترهای SIPC با دشواری مواجه شود.

به منظور لحاظ چسبندگی اطلاعات در مدل DSGE لازم است که در گام نخست، بر اساس داده‌های دنیای واقعی، وجود این نوع از چسبندگی در اقتصاد ایران تایید شود. **همتی و همکاران (۲۰۱۶)**، به پیروی از رویکردهای پیشنهادشده **خان و ژو^۵ (۲۰۰۶)**، و **کوبیون^۶ (۲۰۱۰)** پارامتر چسبندگی اطلاعات را برای اقتصاد ایران برآورد کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، متوسط درجه چسبندگی اطلاعات در اقتصاد ایران ۰/۵۱ است، یا به عبارت دیگر، متوسط تواتر به‌روزرسانی اطلاعات توسط بنگاه دو فصل است. با توجه به تایید وجود چسبندگی اطلاعات در اقتصاد ایران لازم است که در الگوهای تعادل عمومی به منظور تحلیل دقیق‌تر اثرات سیاست پولی، الگوی انتظارات عقلایی تحت اطلاعات چسبنده جایگزین اطلاعات کامل گردد. پس یکی از تصریح‌هایی که در این پژوهش برای منحنی فیلیپس در نظر گرفته شده است، منحنی فیلیپس تحت اطلاعات چسبنده است.

در ادبیات اقتصادی، پس از معرفی مدل اطلاعات چسبنده و عملکرد مناسب این مدل در نشان دادن

1. Sticky Information
2. Mankiw & Reis
3. Sticky Information Phillips Curve
4. Past Expectation
5. Khan & Zhu
6. Coibion

پویایی‌های تورم، پژوهش‌های بسیاری در دهه اخیر اقدام به ترکیب چسبندگی اطلاعات و چسبندگی قیمت و لحاظ همزمان این دو نوع از چسبندگی در مدل کردند (Knotek, 2010). در این پژوهش برای پر کردن شکاف موجود در ادبیات تجربی در اقتصاد ایران، برای نخستین بار منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه^۱ (قیمت و اطلاعات) برآورد و ارزیابی می‌شود. از طرف دیگر، پژوهش‌های تجربی مبتنی بر داده‌های خرد قیمت‌ها نشان می‌دهند که ناهمگنی^۲ قابل توجهی در درجه چسبندگی قیمت میان کالاهای مختلف وجود دارد (Bils & Klenow, 2004; Klenow & Kryvtsov, 2008). این در حالی است که در مدل‌های کینزی جدید استاندارد، برای تمامی بنگاه‌های تولیدکننده کالاهای واسطه، چسبندگی قیمت یکسانی در نظر گرفته می‌شود (Klenow & Kryvtsov, 2008). در سال‌های اخیر، به منظور مدلسازی ناهمگنی رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها، نسل جدیدی از مدل‌های قیمتگذاری معرفی شدند که در آن‌ها — برخلاف مدل‌های استاندارد قیمتگذاری — بین بنگاه‌ها از نظر درجه چسبندگی و همچنین نوع چسبندگی اسمی تفاوت‌هایی وجود دارد. در این پژوهش از دو رویکرد برای مدلسازی ناهمگنی در رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها استفاده شده است: (۱) در نظر گرفتن درجه‌های مختلف چسبندگی برای بنگاه‌ها (مدل کالوو تعمیم‌یافته)؛ و (۲) در نظر گرفتن مدل‌های مختلف قیمتگذاری برای بنگاه‌ها (مدل چندبخشی).

در این پژوهش به منظور شناسایی منحنی فیلیپس سازگار با اقتصاد ایران، پنج الگوی قیمتگذاری مختلف شامل کالوو با شاخص‌بندی جزئی (هایبرید^۳)، اطلاعات چسبنده، چسبندگی دوگانه، چندبخشی، و کالوو تعمیم‌یافته در نظر گرفته شده است. بنابراین، پژوهش حاضر را می‌توان تلاشی در جهت پر کردن شکاف موجود در حوزه مقایسه تصریح‌های مختلف منحنی فیلیپس دانست. همچنین، به منظور مقایسه تصریح‌های مختلف منحنی فیلیپس، در این پژوهش از چهار معیار شامل (۱) مقایسه احتمال پسین مدل‌ها، (۲) مقایسه گشتاورهای داده‌های شبیه‌سازی شده مدل با داده‌های دنیای واقعی، (۳) مقایسه خودهمبستگی نرخ تورم واقعی با میانه توزیع پسین هر یک از مدل‌ها، و (۴) بررسی توابع واکنش آنی^۴ (IRF) استفاده شده است. بر اساس نتایج، منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه (چسبندگی همزمان قیمت و اطلاعات) نسبت به سایر تصریح‌های فیلیپس با واقعیات آشکار شده در اقتصاد ایران سازگاری بیش‌تری دارد.

1. Dual Stickiness
2. Heterogeneity
3. Hybrid
4. Impulse Response Functions

مبانی نظری پژوهش

معرفی تصریح‌های مختلف منحنی فیلیپس

در این بخش، در مجموع پنج تصریح مختلف برای مدل قیمتگذاری بنگاه شامل (۱) مدل پایه (مدل کالوو با شاخص‌بندی جزئی)، (۲) مدل اطلاعات چسبنده، (۳) چسبندگی دو گانه، (۴) کالوو تعمیم‌یافته، و (۵) مدل چندبخشی (ترکیبی از چهار مدل قیمتگذاری شامل کالوو، اطلاعات چسبنده، انعطاف‌پذیر، و گذشته‌نگر) بررسی می‌شود و منحنی فیلیپس تحت هر یک از این مدل‌ها استخراج می‌گردد.

منحنی فیلیپس هایبرید

منحنی فیلیپس هایبرید تحت فرض قیمتگذاری کالوو با شاخص‌بندی جزئی به‌دست می‌آید. ایده اصلی مدل قیمتگذاری کالوو با شاخص‌بندی این است که بهینه‌یابی و تصمیم‌گیری در خصوص قیمت کالا همانند چاپ مجدد فهرست برای بنگاه هزینه دارد و بنابراین، در هر دوره تنها کسری از بنگاه‌ها در تعیین قیمت کالای خود، بهینه‌یابی مجدد انجام می‌دهند. سایر بنگاه‌ها یا قیمت کالای خود را به‌طور کامل با تورم دوره قبل تعدیل می‌کنند (شاخص‌بندی کامل) یا درصدی از تورم دوره قبل را در تعیین قیمت کالای خود لحاظ می‌کنند (شاخص‌بندی جزئی). [وودفورد و والش^۱ \(۲۰۰۵\)](#)، شاخص‌بندی جزئی را این‌گونه تصریح می‌کنند که بنگاه‌هایی که قادر به بهینه‌یابی نیستند، درصدی از تورم دوره قبل را در تعدیل قیمت کالای خود در نظر می‌گیرند. اگر ضریب شاخص‌بندی ۱ باشد، آنگاه مدل پیشنهادی [وودفورد و والش^۲ \(۲۰۰۵\)](#) همان مدل پیشنهادی [کریستیانو و همکاران^۳ \(۲۰۰۵\)](#) خواهد شد.

با توجه به قابلیت این مدل‌ها در نشان دادن اینرسی تورم، در نظر گرفتن شکلی از شاخص‌بندی در ساخت مدل‌های نوکینزی در دو دهه اخیر بسیار مرسوم شد. البته شواهد خرد تجربی در زمینه رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها ایده شاخص‌بندی را به‌طور کامل تایید نمی‌کند. به همین دلیل، الگوهای دیگر مانند مدل اطلاعات چسبنده در ادبیات اقتصادی وارد شدند. احتمال تعدیل قیمت که در این مدل به صورت برون‌زا فرض می‌شود، از فرایند پواسن^۳ پیروی می‌کند. همچنین، فرض بر این است

1. Woodford & Walsh
2. Christiano *et al.*
3. Poisson

بناگاه‌هایی که قادر به بهینه‌یابی مجدد نیستند، قیمت کالای خود را بر اساس معادله (۱) تعدیل می‌کنند:

$$P_{j,t} = \left(\frac{P_{t-1}}{P_{t-2}} \right)^{\gamma_p} P_{j,t-1} \quad (1)$$

γ_p درجه شاخص‌بندی قیمت است. اگر $\gamma_p = 0$ باشد، آنگاه شاخص‌بندی وجود ندارد و قیمت کالاهای بناگاه‌هایی که قادر به بهینه‌یابی نیستند، دقیقاً قیمت دوره قبلشان است. اگر $\gamma_p = 1$ باشد، آنگاه شاخص‌بندی کامل نسبت به تورم گذشته انجام می‌گیرد. هنگامی که بناگاه j در زمان t فرصت تعدیل قیمت را می‌یابد، قیمتی را انتخاب می‌کند ($P_{j,t}$) که ارزش حال سود حقیقی مورد انتظارش را نسبت به قید تقاضای روبه‌روی بناگاه بیشینه نماید. در نهایت، حل مسئله بهینه‌یابی روبه‌روی بناگاه، منحنی فیلیپس‌هایبرد معادله (۲) را به‌دست می‌دهد:

$$\hat{\pi}_t = \frac{\beta}{1 + \beta \gamma_p} E_t \hat{\pi}_{t+1} + \frac{\gamma_p}{1 + \beta \gamma_p} \hat{\pi}_{t-1} + \frac{1}{1 + \beta \gamma_p} \frac{(1 - \beta\omega)(1 - \omega)}{\omega} [m\hat{c}_t + \hat{u}_t] \quad (2)$$

$\hat{u}_t$ در منحنی فیلیپس به عنوان شوک فشار هزینه تفسیر می‌شود. به این ترتیب، نرخ تورم در دوره جاری علاوه بر نرخ تورم انتظاری به نرخ تورم در دوره قبل نیز بستگی دارد.

منحنی فیلیپس تحت اطلاعات چسبنده (SIPC)

منکیو و رایس (۲۰۰۲)، بیان می‌کنند که اطلاعات چسبنده یا انتشار کند اطلاعات راجع به وضعیت اقتصاد کلان می‌تواند در توضیح واکنش کند قیمت‌ها و بنابراین، اثرات حقیقی شوک‌های پولی بر اقتصاد موثر باشد. این مدل بر این فرض استوار است که بناگاه‌ها در هر دوره قادر به تعدیل قیمت کالای خود هستند، ولی در هر دوره تنها کسری از بناگاه‌ها ($1 - \phi$) که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند قادرند اطلاعات جدیدی راجع به وضعیت اقتصاد (و متغیرهای اثرگذار بر تصمیم‌های قیمتگذاری بناگاه) به‌دست آورند و در نتیجه، قیمت بهینه جدیدی را برای کالای خود محاسبه کنند. بقیه بناگاه‌ها که اطلاعات جدیدی راجع به شرایط اقتصادی به‌دست نیاورده‌اند، با همان قیمت‌های قبلی ادامه می‌دهند. در نتیجه، اطلاعات جدید راجع به متغیرهای کلیدی با تاخیر زمانی به همه بناگاه‌های اقتصاد می‌رسد. تحت سازوکار اطلاعات چسبنده، تعدیل قیمت به دلیل وجود چسبندگی اطلاعات به‌کندی اتفاق می‌افتد. احتمال به‌روزرسانی اطلاعات همانند احتمال تعدیل قیمت کالو

تعریف می‌شود. بنگاه z که آخرین بار s دوره قبل اطلاعاتش را به‌روزرسانی کرده است، در دوره جاری قیمت زیر را تعیین می‌نماید:

$$P_{j,t}^s = E_{t-s} P_{j,t}^* \quad (3)$$

به عبارت دیگر، بنگاه مشروط بر آخرین اطلاعات دریافتی، در زمان $t-s$ قیمت را در زمان t تعیین می‌نماید. فرض بر این است که بنگاه‌ها یکسان هستند، بنابراین داریم $P_{j,t}^* = P_t^*$. همچنین، تمامی بنگاه‌هایی که اطلاعاتشان مربوط به s دوره قبل است، قیمت یکسانی را برای کالای خود تعیین می‌کنند ($P_{j,t}^s = P_t^s$).

$$P_t^s = E_{t-s} P_t^* \quad (4)$$

از معادله (۴) مشاهده می‌شود، برخلاف مدل کالوو در این مدل، انتظارات گذشته‌نگر هستند. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، $(1-\phi)$ درصد از بنگاه‌ها که به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند، می‌توانند اطلاعات خود را به‌روز کنند. این فرض نشان می‌دهد که این کسر از بنگاه‌ها در دوره t قیمت خود را برابر با P_t^* تعیین می‌کنند، زیرا اطلاعات کامل دارند. از (ϕ) درصد بنگاه‌های باقیمانده، $(1-\phi)$ درصد آن‌ها در دوره $t-1$ اطلاعاتشان را به‌روز کرده‌اند. در نتیجه، کسر $\phi(1-\phi)$ از بنگاه‌ها قیمت $E_{t-1} P_t^*$ را در دوره t انتخاب می‌کنند. به همین ترتیب، $\phi^2 = \phi - \phi(1-\phi)$ درصد از بنگاه‌های باقیمانده در هیچ‌یک از یک دوره‌های t و $t-1$ اطلاعاتشان را به‌روز نکرده‌اند. $(1-\phi)$ درصد از این بنگاه‌ها که آخرین بار دو دوره قبل (یعنی در دوره $t-2$) اطلاعاتشان را به‌روز کرده‌اند، قیمت $E_{t-2} P_t^*$ را در دوره t انتخاب می‌کنند. بنابراین، فرم لگاریتم خطی سطح قیمت کل نیز به شکل رابطه (۵) قابل تعریف است:

$$\hat{P}_t = (1-\phi) \sum_{s=0}^{\infty} (\phi)^s E_{t-s} \hat{P}_t^* \quad (5)$$

پارامتر (ϕ) بیانگر درجه چسبندگی اطلاعات است. اگر این پارامتر کوچک باشد، به این معناست که بنگاه‌ها غالباً اطلاعاتشان را به‌روز می‌کنند. برای برآورد رابطه (۵) باید میزان قیمت بهینه یا P_t^* را به‌دست آوریم. با توجه به این که در این مدل چسبندگی قیمت وجود ندارد و قیمت‌ها می‌توانند در هر دوره تعدیل شوند، مسئله بهینه‌یابی بنگاه ایستا می‌شود. با جایگذاری تابع تقاضای روبه‌روی بنگاه z در تابع سود بنگاه و مشتق‌گیری از آن نسبت به شرط $P_{j,t}$ مرتبه اول به صورت رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$P_{j,t} = \frac{\theta_t}{\theta_t - 1} E_{t-s} [mc_{j,t} P_t] \quad (6)$$

$P_{j,t}$ همان قیمت بهینه بنگاه است ($P_{j,t} = P_{j,t}^*$). با لحاظ فرض یکسان بودن بنگاه‌ها و برابری $P_t^* = P_{j,t}^*$ ، فرم لگاریتم خطی شرط مرتبه اول بالا را می‌توان به صورت معادله (۷) نوشت:

$$\hat{P}_t^* = m\hat{c}_t + \hat{P}_t - \frac{1}{\theta-1}\hat{\theta}_t \quad (۷)$$

در معادله (۷)، $\hat{u}_t = -\frac{1}{\theta-1}\hat{\theta}_t$ شوک فشار هزینه (یا همان شوک عرضه) است. یک شوک مثبت در $\hat{u}_t$ قیمت بهینه بدون چسبندگی را افزایش می‌دهد. در شرایط فقدان چسبندگی در اقتصاد، یک درصد افزایش در $\hat{u}_t$ باعث خواهد شد که بنگاه قیمتش را یک درصد افزایش دهد. همان‌طور که در معادله (۷) مشاهده می‌شود، شوک فشار هزینه از طریق نوسانات در کشش جانشینی $\hat{\theta}_t$ ایجاد می‌شود. شوک منفی کشش جانشینی معادل شوک مثبت فشار هزینه است. با جایگذاری قیمت بهینه $\hat{P}_t^*$ در معادله (۷) داریم:

$$\hat{P}_t = (1-\phi) \sum_{s=0}^{\infty} (\phi)^s E_{t-s} [m\hat{c}_t + \hat{P}_t + \hat{u}_t] \quad (۸)$$

با کسر کردن $\hat{P}_{t-1}$ از معادله (۸)، منحنی فیلیپس تحت اطلاعات چسبنده (SIPC) به صورت معادله (۹) به دست می‌آید:

$$\hat{\pi}_t = \frac{1-\phi}{\phi} [m\hat{c}_t + \hat{u}_t] + (1-\phi) \sum_{s=0}^{\infty} (\phi)^s E_{t-s-1} [\hat{\pi}_t + \Delta m\hat{c}_t + \Delta \hat{u}_t] \quad (۹)$$

در معادله (۹) $\Delta \hat{u}_t = \hat{u}_t - \hat{u}_{t-1}$ و $\Delta m\hat{c}_t = m\hat{c}_t - m\hat{c}_{t-1}$ است.

منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه^۱

در این پژوهش برای توضیح لختی تورم، علاوه بر بررسی مدل اطلاعات چسبنده و مدل هایبرید، از رویکرد دیگری استفاده می‌شود. به پیروی از **دوپور و همکاران**^۲ (۲۰۱۰)، یک مدل قیمتگذاری معرفی می‌شود که در آن بنگاه‌ها به‌طور همزمان با دو نوع چسبندگی مواجه هستند. در این مدل هم چسبندگی قیمت و هم چسبندگی اطلاعات به صورت همزمان وجود دارد. این روش دو رشته از ادبیات چسبندگی را با یکدیگر ترکیب می‌نماید. در هر دوره بنگاه با احتمال $(1-\omega)$ قادر به تغییر قیمت کالای خود است. همچنین، احتمال آن که در هر دوره بنگاه اطلاعاتش را به‌روزرسانی نماید، برابر با $(1-\phi)$ است. فرض بر این است که این دو نوع چسبندگی مستقل از یکدیگر هستند (احتمال

تغییر قیمت و بهروزرسانی اطلاعات در طول زمان ناهمبسته هستند). به بیان دیگر، احتمال این که بنگاه فرصت تغییر قیمت را در یک دوره خاص بیابد، مستقل از این است که بنگاه در همان دوره بتواند اطلاعاتش را بهروز کند. بنابراین، برای مثال، احتمال این که بنگاهی بتواند قیمتش را تغییر دهد و همچنین اطلاعاتش را بهروز کند، برابر است با $(1-\phi)(1-\omega)$ و احتمالی که بنگاه بتواند قیمتش را تغییر دهد، اما قادر به بهروز کردن اطلاعاتش نباشد، در هر دوره برابر است با $(\phi)(1-\omega)$.

در این محیط، بنگاه‌ها به‌ندرت قادر به تغییر قیمت کالای خود هستند. از سوی دیگر، هنگامی هم که فرصت تغییر می‌یابند ناچار به تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات قدیمی هستند. به‌طور خاص، بنگاه j با اطلاعات s دوره قبل قیمت کالای خود را به‌نحوی انتخاب می‌کند که ارزش حال سود حقیقی مورد انتظارش را بیشینه نماید. مسئله بهینه‌یابی روبه‌روی بنگاه به این صورت تعریف می‌شود: پیش از در نظر گرفتن دو نوع چسبندگی، لازم است ابتدا رفتار قیمت‌گذاری بنگاه فرضی را که با هیچ یک از دو نوع چسبندگی قیمت و اطلاعات مواجه نیست بررسی نماییم. مسئله بهینه‌سازی سود این بنگاه مانند مسئله بهینه‌یابی با لحاظ چسبندگی است، با این فرض که $s = 0$ و $\omega = 0$ است. اگر P_t^* لگاریتم قیمت بهینه در شرایط «بدون چسبندگی» باشد، آنگاه داریم:

$$\frac{P_t^*}{P_t} = \left(\frac{\theta_t}{\theta_t - 1} \right) mc_t \quad (10)$$

mc_t هزینه نهایی حقیقی بنگاه است. معادله (10) به فرم خطی لگاریتمی‌شده به صورت $\hat{p}_t^* = \hat{p}_t + m\hat{c}_t + \hat{u}_t$ است که $\hat{p}_t^*$ معرف شوک فشار هزینه است و به صورت معادله (11) تعریف می‌شود:

$$\hat{u}_t = -\frac{1}{\theta - 1} \hat{\theta}_t \quad (11)$$

توجه کنید که اگر هیچ یک از چسبندگی‌های قیمت و اطلاعات وجود نداشت، همه بنگاه‌ها قیمت خود را به اندازه P_t^* تعیین می‌کردند. در این حالت، سطح قیمت کل با قیمت بهینه در شرایط نبود چسبندگی برابر بود، به عبارت دیگر $P_t = P_t^*$. هرچند در صورت وجود چسبندگی قیمت یا اطلاعات، به دلیل آن که P_t به‌طور متناسب با P_t^* تغییر نمی‌کند، دیگر وضعیت فوق برقرار نخواهد بود.

حال شرایطی را در نظر بگیرید که بنگاه با دو نوع چسبندگی قیمت و اطلاعات مواجه است. بنگاه‌هایی که در دوره t فرصت تعدیل قیمت کالای خود را می‌یابند، اگر اطلاعات یکسانی داشته باشند قیمت مشابهی را انتخاب می‌کنند، یا به بیان دیگر، رفتار متقارنی دارند. فرض کنید $P_{t,s}$ قیمت بنگاهی است که s دوره از آخرین بهروزرسانی اطلاعاتش می‌گذرد. ابتدا شرایطی را در نظر بگیرید

که بنگاه اطلاعات کامل دارد، یعنی در دوره جاری توانسته است اطلاعاتش را بهروز نماید. قیمت انتخاب شده توسط بنگاهی با اطلاعات کامل را با p_t^f نشان می‌دهیم ($p_t^f = p_{t,0}$). فرم لگاریتم خطی شده شرط مرتبه اول این بنگاه را می‌توان به صورت معادله (۱۲) نوشت:

$$\hat{p}_t^f = (1 - \beta\omega) \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k \omega^k E_t(\hat{p}_{t+k}^*) \quad (12)$$

می‌توانیم معادله (۱۲) را به صورت زیر بنویسیم:

$$\hat{p}_t^f = (1 - \beta\omega) \hat{p}_t^* + (1 - \beta\omega) \sum_{k=0}^{\infty} \beta^{k+1} \omega^{k+1} E_t(\hat{p}_{t+k+1}^*) \quad (13)$$

$$\hat{p}_t^f = (1 - \beta\omega) \hat{p}_t^* + \beta\omega E_t(\hat{p}_{t+1}^f) \quad (14)$$

اگر بنگاه قادر بود هر دوره قیمت کالای خود را تعدیل نماید (یعنی $\omega = 0$)، آنگاه قیمتی که انتخاب می‌کرد برابر با قیمت بهینه در شرایط نبود چسبندگی ($\hat{p}_t^*$) بود. در این حالت که چسبندگی قیمت وجود دارد، بنگاه قیمت بهینه دوره آتی ($\hat{p}_{t+1}^f$) را نیز در تصمیم‌گیری خود در نظر می‌گیرد. بنابراین، بنگاه قیمتی را تعیین می‌کند که میانگین وزنی از $\hat{p}_t^*$ و $\hat{p}_{t+1}^f$ باشد. وزن‌ها شامل β هستند، زیرا بنگاه اهمیت قیمت بهینه دوره آتی را تنزیل می‌کند. فرم لگاریتم خطی شده شرط مرتبه اول برای بنگاهی که آخرین بار s دوره قبل اطلاعاتش را بهروز می‌کند به صورت ($p_{t,s}^f = E_{t-s}(p_t^f)$) نوشته می‌شود. به بیان دیگر، بنگاه قیمت کالای خود را بر اساس انتظاراتش از قیمت بهینه اطلاعات کامل (p_t^f) که مبتنی بر اطلاعات s دوره قبل است، تعیین می‌کند.

فرض کنید $\hat{q}_t$ شاخص قیمت‌های تازه تعیین شده^۱ در زمان t باشد:

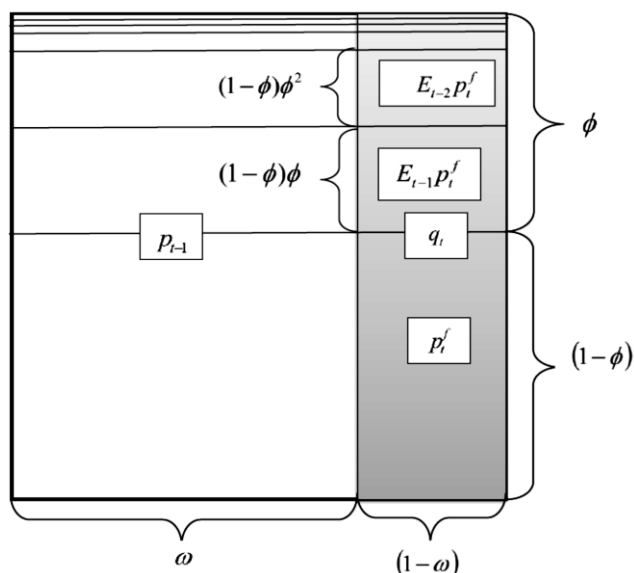
$$\hat{q}_t = (1 - \phi) \sum_{s=0}^{\infty} \phi^s E_{t-s}(\hat{p}_t^f) \quad (15)$$

$\hat{q}_t$ میانگین وزنی از قیمت‌های تعیین شده توسط بنگاه‌ها با مجموعه اطلاعات مختلف است. به این دلیل که کسر $(1 - \phi)\phi^s$ از بنگاه‌ها دارای اطلاعات s دوره قبل هستند، وزن $p_{t,s}^f = E_{t-s}(p_t^f)$ برابر است با $(1 - \phi)\phi^s$. در نهایت، فرم لگاریتم خطی سطح قیمت کل به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود:

$$\hat{p}_t = \omega \hat{p}_{t-1} + (1 - \omega) \hat{q}_t \quad (16)$$

سطح قیمت کل به صورت میانگین وزنی از قیمت‌های تازه تعیین شده ($\hat{q}_t$) و سطح قیمت در دوره قبل ($\hat{p}_{t-1}$) تعریف می‌شود (زیرا بنگاه‌هایی که فرصت تعدیل قیمت کالای خود را نمی‌یابند، در دوره جاری قیمتشان همان قیمت دوره قبل است).

توزیع قیمت‌های تعیین‌شده توسط بنگاه‌ها را می‌توان به صورت شماتیک در **شکل (۱)** مشاهده کرد. توده واحدی از بنگاه‌ها وجود دارد که منطبق با سطح کل مستطیل است. در دوره t به دلیل چسبندگی قیمت، کسر ω از بنگاه‌ها در ناحیه سفیدرنگ قیمت کالایشان همان قیمت دوره قبل P_{t-1} است. باقیمانده بنگاه‌ها $(1-\omega)$ درصد از بنگاه‌ها در ناحیه خاکستری رنگ قادر به تغییر قیمت کالای خود هستند. متوسط قیمت کالاهای آن‌ها q_t است. بنابراین، سطح قیمت کل میانگین وزنی از q_t و P_{t-1} است. در ناحیه خاکستری، هر یک از قیمت‌ها بسته به آخرین دوره به‌روزرسانی اطلاعات متفاوت هستند. کسر $1-\phi$ درصد از بنگاه‌ها در دوره t اطلاعاتشان را به‌روز می‌کنند و بنابراین، قیمت کالاهایشان را به میزان قیمت بهینه اطلاعات کامل یا همان p_t^f تعیین می‌کنند. کسر $\phi(1-\phi)$ از بنگاه‌ها در ناحیه خاکستری اطلاعاتشان مربوط به یک دوره قبل است و بنابراین قیمت $E_{t-1}p_t^f$ را برای کالا تعیین می‌کنند. کسر $\phi^2(1-\phi)$ از بنگاه‌ها در ناحیه خاکستری اطلاعاتشان مربوط به دو دوره قبل است و بنابراین، قیمت $E_{t-2}p_t^f$ را برای کالا تعیین می‌کنند. این فرایند برای سایر بنگاه‌ها هم صدق می‌کند.



شکل ۱: ترکیب سطح قیمت کل در مدل چسبندگی دو گانه

از معادلات بالا می‌توان منحنی فیلپس تحت چسبندگی دوگانه را به صورت معادله (۱۷) استخراج نمود:

$$\hat{\pi}_t = \frac{\omega\phi}{\zeta} \hat{\pi}_{t-1} + \frac{\beta\omega}{\zeta} E_t(\hat{\pi}_{t+1}) + \frac{(1-\phi)\chi}{\zeta} \hat{m}c_t + \frac{\phi\chi}{\zeta} (1-\phi) \sum_{s=0}^{\infty} \phi^s E_{t-s-1}(\Delta \hat{m}c_t + \hat{\pi}_t) + \eta_t + \frac{(1-\phi)\chi}{\zeta} u_t \quad (17)$$

در معادله (۱۷) $\chi = (1-\omega)(1-\beta\omega)$ و $\zeta = 1 - (1-\omega)(1-\phi) + \beta\phi\omega^2$ است. u_t معرف شوک فشار هزینه است. η_t یک جزء با میانگین صفر است که شامل مجموع نامتناهی از خطاهای پیش‌بینی تورم‌های آتی و همچنین تغییرات آتی هزینه نهایی است. این جزء به صورت معادله (۱۸) تعریف می‌شود:

$$\eta_t = -\frac{\beta\omega\phi(1-\omega)}{\zeta} (1-\phi) \sum_{s=0}^{\infty} \phi^s (1-\beta\omega) \sum_{k=0}^{\infty} (\beta\omega)^k [E_{t-s}(\Delta \hat{m}c_{t+k+1} + \hat{\pi}_{t+k+1}) - E_{t-s-1}(\Delta \hat{m}c_{t+k+1} + \hat{\pi}_{t+k+1})] \quad (18)$$

آنچه از معادله (۱۸) یا همان منحنی فیلپس چسبندگی دوگانه (DSPC) استنتاج می‌شود این است که تورم در دوره جاری برخلاف مدل کالوو به تورم گذشته نیز بستگی دارد. این ویژگی کلیدی در نشان دادن تحولات و پویایی‌های تورم بسیار مهم است. زیرا بر اساس مطالعات تجربی، تورم درجه ماندگاری بالایی دارد (Tehranchian et al., 2013; Elahi et al., 2014).^۱ توجه کنید که جزء با وقفه تورم در صورتی که یکی از دو چسبندگی قیمت یا اطلاعات وجود نداشته باشد (به عبارت دیگر، یکی از احتمالات ω یا ϕ مساوی ۰ باشد) از معادله (۱۸) حذف خواهد شد. بنابراین، ترکیب دو نوع چسبندگی باعث می‌شود که تورم با وقفه خود همبستگی داشته باشد. همچنین، DSPC شامل جزء خطای پیش‌بینی η_t نیز هست. این جزء دارای همبستگی سریالی است و بنابراین، می‌تواند منبع دیگری از ماندگاری تورم باشد. به دلیل وجود این عناصر در DSPC، مطالعات نشان داده‌اند که این مدل عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های مرسوم دارد.

مشاهده می‌شود که با لحاظ برخی فروض، DSPC به منحنی فیلپس مبتنی بر اطلاعات چسبنده

۱. طهرانچیان و همکاران (۲۰۱۳)، ماندگاری تورم را با استفاده از دو روش بیشینه درست‌نمایی و بیشینه درست‌نمایی تعدیل‌شده در دوره زمانی ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۰ آزمون کردند. بر اساس نتایج آن‌ها، درجه انباشتگی در هر دو مدل کم‌تر از ۰/۵ به‌دست آمد که بیانگر ماندگاری نرخ تورم در اقتصاد ایران است. به عبارت دیگر، اثر یک تکانه بر نرخ تورم تا مدتی طولانی باقی خواهد ماند.

یا منحنی فیلیپس نوکینزی تقلیل می‌یابد. زمانی که $\phi = 0$ یا تمامی بنگاه‌ها در هر دوره قادر به به‌روزرسانی اطلاعات خود هستند، DSPC تبدیل به منحنی فیلیپس نوکینزی استاندارد می‌شود. زمانی که $\omega = 0$ یعنی تمام بنگاه‌ها می‌توانند در هر دوره از زمان نسبت به تعدیل قیمت کالای خود اقدام نمایند، آنگاه DSPC به منحنی فیلیپس اطلاعات چسبنده — منکیو و رایس (۲۰۰۲) — تبدیل می‌شود. جزء با وقفه تورم به صورت درون‌زا و به دلیل فرض همزمان دو نوع چسبندگی ظاهر می‌شود. چسبندگی قیمت باعث می‌شود که تنها بخشی از بنگاه‌ها بتوانند قیمت کالای خود را تغییر دهند و از سوی دیگر، چسبندگی اطلاعات باعث می‌شود که بخشی از بنگاه‌هایی هم که فرصت تغییر قیمت می‌یابند، مانند بنگاه‌های دوره گذشته، قیمتگذاری انجام دهند (زیرا اطلاعاتی که بر اساس آن تصمیم‌گیری می‌کنند قدیمی است). این فروض باعث می‌شود که قیمت‌ها با وقفه خود همبسته باشند. بنابراین، جزء با وقفه تورم به دلیل تعامل این دو نوع چسبندگی ظاهر می‌شود. مدل چسبندگی دوگانه نسبت به مدل هایپرید، پایه خرد^۱ قابل قبول تری برای لختی تورم ارائه می‌دهد. در مدل هایپرید، بنگاه‌ها گذشته‌نگر فرض می‌شوند و جزء با وقفه تورم به صورت برون‌زا در مدل لحاظ می‌گردد. مدل چسبندگی دوگانه نسبت به مدل هایپرید تفاوت‌های اساسی دارد. در DSPC برخلاف مدل هایپرید، انتظارات با وقفه^۲ (یا مبتنی بر اطلاعات گذشته) مربوط به پیش‌بینی تغییرات هزینه نهایی و تورم در دوره جاری و آتی نیز وجود دارند.

معرفی و مدلسازی ناهمگنی در رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها

ناهمگنی در رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها به دو صورت در ادبیات اقتصادی مدلسازی می‌شود: (۱) در نظر گرفتن درجه‌های مختلف چسبندگی برای بنگاه‌ها، و (۲) در نظر گرفتن مدل‌های مختلف قیمتگذاری برای بنگاه‌ها. در بخش‌های بعدی راجع به جزئیات هر یک از این روش‌ها توضیح داده می‌شود.

مدل کالوو تعمیم‌یافته (لحاظ ناهمگنی در درجه چسبندگی بین بنگاه‌ها)

در چارچوب مدل کالوو تعمیم‌یافته، احتمال تغییر قیمت توسط بنگاه‌ها به مدت زمان سپری‌شده از آخرین تغییر بستگی دارد. به عبارت دیگر، احتمال تغییر قیمت پس از گذشت i دوره از آخرین تغییر با h_i نشان داده می‌شود و در ادبیات چسبندگی قیمت به تابع مخاطره^۳ معروف است. بنابراین،

1. Microfoundation
2. Lagged Expectations
3. Hazard Function

اگر F طولانی‌ترین مدت زمان طول عمر قیمت باشد، آنگاه می‌توان احتمالات تعدیل قیمت را به صورت $h = \{h_i\}_{i=1}^F$ نشان داد. h_F برابر ۱ است در نتیجه برای $F, i=1, \dots, F$ داریم $h_i \in [0,1]$. تفاوت بین مدل کالوو و تیلور در این است که احتمال تغییر قیمت در فرایند کالوو برخلاف تیلور تصادفی است. بنابراین، هنگامی که بنگاه قیمت کالایش را تغییر می‌دهد نمی‌داند که تا چه زمانی این قیمت ثابت باقی خواهد ماند (یا به عبارت دیگر، در چه دوره‌ای فرصت تعدیل قیمت را به دست می‌آورد). پس یک تابع بقا $S(i)$ وجود دارد که احتمال عدم تغییر قیمت تا i دوره را نشان می‌دهد:

$$S(1)=1, \quad S(i)=\prod_{j=1}^{i-1}(1-h_j), \quad i=2, \dots, F \quad (19)$$

در نتیجه، زمانی که بنگاه در دوره t قیمتش را تعدیل می‌نماید، از این مسئله آگاه است که این قیمت با احتمال ۱ برای یک دوره ثابت باقی می‌ماند ($S(1)=1$)، با احتمال $S(2)$ تا دست‌کم دو دوره بدون تغییر باقی می‌ماند و به همین ترتیب برای دوره‌های بعدی. مدل استاندارد کالوو حالت خاصی از این مدل تعمیم‌یافته است که در آن $S(i)=(1-\bar{h})^{i-1}$ و $h_i=\bar{h}$ و $F=\infty$ است. یقیناً در هر مجموعه واقعی از داده‌ها، F کراندار است. قیمتی که بنگاه در هنگام یافتن فرصت برای تعدیل قیمت انتخاب می‌کند به صورت معادله (۲۰) تعریف می‌شود:

$$x_t = \frac{1}{\sum_{i=1}^F S(i) \beta^{i-1}} \sum_{i=1}^F S(i) \beta^{i-1} E_t p_{t+i-1}^* \quad (20)$$

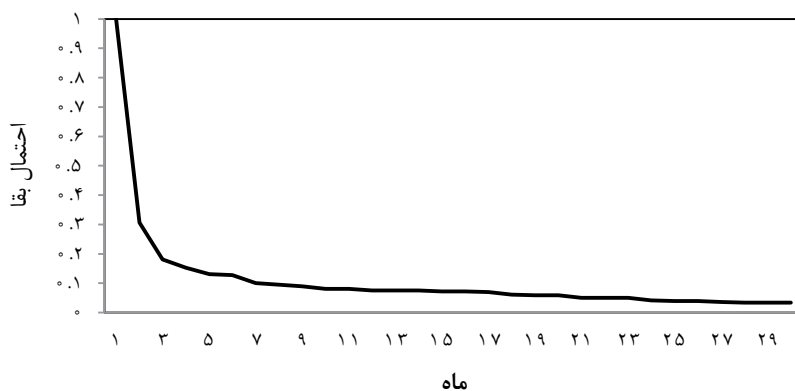
p_t^* قیمت بهینه یا بیشینه‌کننده سود بنگاه در شرایط انعطاف‌پذیری کامل قیمت‌هاست. سطح قیمت کل نیز به صورت میانگین وزنی از قیمت‌های تعیین‌شده در دوره جاری (x_t) و قیمت‌های تعیین‌شده در دوره‌های گذشته است. وزن‌ها معرف کسری از بنگاه‌ها هستند که تا i دوره قیمت کالایشان ثابت باقی خواهد ماند.

$$p_t = \frac{1}{\sum_{i=1}^F S(i)} \sum_{i=1}^F S(i) x_{t-i+1} \quad (21)$$

با توجه به ساختار مدل کالوو تعمیم‌یافته لازم است ابتدا یک نقطه برش برای F انتخاب گردد. این مقدار در هر اقتصاد با استفاده از داده‌های خرد قیمت‌ها و با توجه به بیش‌ترین طول عمر قیمت کالاهای تعیین می‌شود. با توجه به شواهد تجربی در خصوص ناهمگنی در درجه چسبندگی قیمت‌ها در

اقتصاد ایران، مقدار ۱۰ برای F انتخاب می‌شود.

علاوه بر تعیین F در گام بعدی باید تابع بقا برای داده‌های قیمت در اقتصاد ایران برآورد گردد. به این منظور از تابع مخاطره که در پژوهش همتی و بیات (۲۰۱۳) بر اساس روش کاپلن-مایر^۱ و با استفاده از داده‌های ماهانه شاخص قیمت مصرف‌کننده برآورد شده، استفاده می‌شود. رابطه بین نرخ مخاطره و نرخ بقا در بالا اشاره شد. شکل (۲)، تابع بقا را برای اقتصاد ایران نشان می‌دهد. توجه کنید که این برآوردها ماهانه است و برای استفاده از نرخ‌های بقا در الگوی DSGE پژوهش حاضر که مبتنی بر داده‌های فصلی است، باید تعدیلاتی صورت پذیرد. به عنوان نمونه $S(2)$ معادل نرخ بقا در ماه چهارم و $S(3)$ معادل نرخ بقای برآورده شده برای ماه هفتم است و به همین ترتیب برای سایر $S(i)$ ها داریم.



شکل ۲: تابع بقا

منبع: محاسبات پژوهش بر اساس تابع مخاطره همتی و بیات (۲۰۱۳)

مدل چندبخشی (لحاظ ناهمگنی در مدل‌های قیمتگذاری بنگاه‌ها)

شناسایی ماهیت تصمیم‌های قیمتگذاری بنگاه‌ها عامل کلیدی در تحلیل اثرات سیاست پولی است. این فرض که تمامی بنگاه‌ها از فرایند قیمتگذاری یکسانی پیروی می‌نمایند ممکن است نتواند پویایی‌های اقتصاد کلان را به‌درستی نشان دهد. به عبارت دیگر، تمرکز بر مدل‌های DSGE که تنها

شامل یک مدل قیمتگذاری است می‌تواند بانک‌های مرکزی را در شناسایی اثرات سیاست پولی به خطا بیندازد (Coibion & Gorodnichenko, 2011). به منظور ارزیابی اهمیت نسبی ناهمگنی در رفتار قیمتگذاری بنگاه‌ها، رشته‌ای از تولیدکنندگان کالاهای واسطه را در نظر می‌گیریم که بسته به مدل قیمتگذاری‌شان به چهار نوع مختلف تقسیم می‌شوند. هر یک از این چهار نوع از بنگاه‌ها از یک مدل قیمتگذاری مختلف تبعیت می‌کنند. این مدل‌ها شامل مدل قیمت چسبنده کالوو، مدل اطلاعات چسبنده، مدل شاخص‌بندی جزئی، و بنگاه‌هایی که با محدودیتی در تعدیل قیمت مواجه نیستند و قیمت کالاهایشان کاملاً انعطاف‌پذیر است. در این روش امکان برآورد سهم هر یک از انواع بنگاه‌ها به روش بیزین وجود دارد. به این دلیل که در این روش امکان در نظر گرفتن چندین مدل قیمتگذاری به‌طور همزمان وجود دارد، جامعیت بیش‌تری در مقایسه با مدل‌های استاندارد (با تنها یک مدل قیمتگذاری) دارد.

بنگاه‌های تولیدکننده کالاهای واسطه بسته به مدل قیمتگذاری‌شان به چهار نوع دسته‌بندی می‌شوند: قیمت چسبنده کالوو، اطلاعات چسبنده، قیمت انعطاف‌پذیر، و شاخص‌بندی جزئی. سطح قیمت به صورت معادله (۲۲) تعریف می‌شود:

$$p_t = \left[\int_0^{s_1} p_t^{sp}(j)^{1-\theta_l} dj + \int_{s_1}^{s_1+s_2} p_t^{si}(j)^{1-\theta_l} dj + \int_{s_1+s_2}^{s_1+s_2+s_3} p_t^{flex}(j)^{1-\theta_l} dj + \int_{s_1+s_2+s_3}^1 p_t^{ind}(j)^{1-\theta_l} dj \right]^{\frac{1}{1-\theta_l}} \quad (22)$$

s_1 , s_2 , s_3 و ind نشان‌دهندهٔ بنگاه‌های نوع یکم تا چهارم هستند. پارامترهای s_1 , s_2 , s_3 نشان‌دهندهٔ کسر بنگاه‌هایی است که به ترتیب به مدل‌های قیمتگذاری کالوو، اطلاعات چسبنده، و انعطاف‌پذیر تعلق دارند. کسر بنگاه‌هایی که از مدل شاخص‌بندی جزئی پیروی می‌کنند برابر است با $s_4 = 1 - (s_1 + s_2 + s_3)$. همچنین، این فرض برقرار است که بنگاه‌ها نمی‌توانند بین این چهار نوع جابه‌جا شوند. با تعریف سطح قیمت در بنگاه‌های نوع k به صورت $p_t^k = [s_k^{-1} \int_{s_{k-1}+s_{k-2}+\dots}^{s_k+s_{k-1}+\dots} p_t(j)^{1-\theta_l} dj]^{\frac{1}{1-\theta_l}}$ می‌توان سطح قیمت کل را به صورت معادله (۲۳) بازنویسی کرد:

$$p_t = \left[s_1 p_t^{sp^{1-\theta_l}} + s_2 p_t^{si^{1-\theta_l}} + s_3 p_t^{flex^{1-\theta_l}} + s_4 p_t^{ind^{1-\theta_l}} \right]^{\frac{1}{1-\theta_l}} \quad (23)$$

در نهایت، نرخ تورم کل به صورت میانگین وزنی از نرخ‌های تورم در هر یک از چهار بخش اقتصاد تعریف می‌شود:

$$\hat{\pi}_t = s_1 \hat{\pi}_t^{sp} + s_2 \hat{\pi}_t^{si} + s_3 \hat{\pi}_t^{flex} + (1 - s_1 - s_2 - s_3) \hat{\pi}_t^{ind} + \hat{u}_t \quad (24)$$

مدل پژوهش

چارچوب اصلی مدل DSGE پژوهش حاضر با استفاده از پژوهش‌های اسمتز و ووترز^۱ (۲۰۰۳)، کریستیانو و همکاران (۲۰۰۵)، آدولفسون و همکاران^۲ (۲۰۰۷) و همچنین پژوهش‌هایی که در بخش تصریح منحنی‌های فیلپس به آن‌ها اشاره شد، ساخته شده است. این مدل شامل پنج کارگزار است: (۱) خانوار نماینده، (۲) تولیدکننده کالای نهایی، (۳) دنباله‌ای از بنگاه‌های تولیدکننده کالاهای واسطه، (۴) دولت، و (۵) بانک مرکزی. با توجه به تمرکز اصلی پژوهش بر مدلسازی انواع مختلف مدل‌های قیمت‌گذاری، سعی شده است مدل پایه حتی‌الامکان ساده و در عین حال گویای واقعیات اقتصاد ایران باشد. در ادامه، راجع به ترجیحات و مسئله بهینه‌یابی هر یک از کارگزاران توضیحاتی آورده می‌شود.

خانوار

خانوار نماینده $i \in [0,1]$ ارزش حال مطلوبیت بین‌دوره‌ای خود را با انتخاب میزان مصرف، سرمایه‌گذاری، میزان ساعت کاری، نرخ بهره‌برداری از سرمایه، اجاره دادن سرمایه به بنگاه‌ها، نگهداری تراز حقیقی پول، و اوراق مشارکت بیشینه می‌نماید:

$$\max_{\{C_t^i, L_t^i, M_t^i, K_t^i, B_t^i, m_t^i\}} E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t f_t \left[\frac{1}{1-\sigma_c} (C_t^i - H_t^i)^{1-\sigma_c} - \frac{\psi}{1+\sigma_l} (L_t^i)^{1+\sigma_l} + \frac{\gamma}{1-\sigma_m} \left(\frac{M_t^i}{P_t} \right)^{1-\sigma_m} \right] \quad (25)$$

که در این رابطه، β عامل تنزیل، f_t شوک کلی واردشده به ترجیحات خانوار، C_t^i مصرف حقیقی خانوار i ام، و H_t^i بیانگر وجود شکل‌گیری عادت^۳ است و به صورت نسبتی از مصرف سرانه کل در دوره گذشته تعریف می‌شود: $H_t^i = h C_{t-1}^i$. پارامتر h نشان‌دهنده درجه شکل‌گیری عادات است. هر خانوار در اقتصاد از مصرف در دوره جاری مطلوبیت مثبت کسب می‌کند اگر و تنها اگر میزان مصرفش بیش‌تر از کسر ثابتی (h) از مصرف سرانه کل در دوره $t-1$ باشد. L_t^i مجموع نیروی کار عرضه‌شده از سوی خانوار به بنگاه‌های تولیدکننده کالاهای واسطه، $\frac{M_t^i}{P_t}$ تراز حقیقی پول، σ_c ضریب ریسک‌گریزی نسبی خانوار یا عکس کشش جانشینی بین‌زمانی مصرف، σ_m عکس کشش بهره‌ای تقاضای مانده‌های حقیقی پول، و σ_l عکس کشش عرضه نیروی کار نسبت به دستمزد حقیقی (عکس کشش عرضه

1. Smets & Wouters
2. Adolfson
3. Habit Formation

نیروی کار فریش^۱ است.

فرض می‌شود شوک ترجیحات از یک فرایند خودرگرسیون مرتبه اول به شرح معادله (۲۶) پیروی می‌کند:

$$\log f_t = \rho_f \log f_{t-1} + \varepsilon_t^f \quad (26)$$

بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت بین دوره‌ای مقید است. یکی از قیدهای روبه‌روی خانوار، قید بودجه‌ی بین‌زمانی معادله (۲۷) است:

$$C_t^i + I_t^i + \frac{M_t^i}{P_t} + \frac{B_t^i}{P_t} \leq W_t^i L_t^i + (r_t^k z_t^i K_{t-1}^i - \Psi(z_t^i) K_{t-1}^i) + \frac{M_{t-1}^i}{P_t} + R_{t-1} \frac{B_{t-1}^i}{P_t} + D_t^i - \frac{T_t^i}{P_t} \quad (27)$$

خانوار دارایی مالی‌اش را به صورت پول نقد (M_t) و اوراق مشارکت یک دوره‌ای (B_t) نگهداری می‌نماید. درآمد جاری و ثروت مالی برای تامین مالی مصرف و سرمایه‌گذاری توسط خانوار استفاده می‌شود. درآمد کل خانوار (Y_t^i) شامل سه جزء است: درآمد حاصل از عرضه نیروی کار ($W_t^i L_t^i$)، بازده موجودی سرمایه بهره‌برداری شده منهای هزینه بهره‌برداری^۲ ($r_t^k z_t^i K_{t-1}^i - \Psi(z_t^i) K_{t-1}^i$) و بازده نقدی حقیقی دریافت‌شده از بنگاه تولیدکننده کالای واسطه که فرض می‌شود مالکش خانوار است (D_t^i). بنابراین، درآمد کل را می‌توان به صورت $Y_t^i = W_t^i L_t^i + (r_t^k z_t^i K_{t-1}^i - \Psi(z_t^i) K_{t-1}^i) + D_t^i$ تعریف نمود. در معادله (۲۷)، W_t^i دستمزد حقیقی، r_t^k نرخ حقیقی اجاره سرمایه، R_{t-1} نرخ بازده اسمی ناخالص اوراق مشارکت، T_t^i خالص مالیات یکجای پرداختی به دولت از طرف خانوار، P_t سطح عمومی قیمت‌ها، و I_t^i سرمایه‌گذاری ناخالص است.

همان‌طور که گفته شد، $\Psi(z_t^i)$ تابع هزینه بهره‌برداری از سرمایه است و فرض می‌شود $\Psi(1) = 0$. یعنی هنگامی که نرخ بهره‌برداری از سرمایه ۱۰۰ درصد است، هزینه بهره‌برداری از سرمایه ۰ است. در وضعیت باثبات، نرخ بهره‌برداری از سرمایه برابر با ۱ است. بنابراین، در وضعیت باثبات هزینه بهره‌برداری ۰ خواهد بود. این فرض به منظور ساده‌سازی محاسبات در لگاریتم خطی‌سازی لحاظ می‌شود.

قید دیگری که خانوار با آن روبه‌روست مربوط به هزینه تعدیل سرمایه‌گذاری^۳ است. به پیروی از آدولفسون و همکاران (۲۰۰۷) فرض می‌شود تعدیل سرمایه‌گذاری با هزینه همراه است و بنابراین،

1. Frisch
2. Utilization Cost
3. Investment Adjustment Cost

معادله انباشت سرمایه^۱ در هر دوره به صورت معادله (۲۸) تعریف می‌شود:

$$K_t^i = (1 - \delta)K_{t-1}^i + \left[1 - S\left(\frac{I_t^i}{I_{t-1}^i}\right) \right] I_t^i \chi_t \quad (28)$$

δ نرخ استهلاک و $S\left(\frac{I_t^i}{I_{t-1}^i}\right)$ تابع هزینه تعدیل سرمایه‌گذاری است (هزینه تعدیل برحسب تغییر سطح سرمایه‌گذاری نسبت به دوره قبل است).^۲ تابع هزینه تعدیل به مقدار جاری و گذشته سرمایه‌گذاری بستگی دارد. به پیروی از کریستیانو و همکاران (۲۰۰۵) فرض می‌کنیم $S(1) = S'(1) = 0$ و $S''(1) > 0$ است. این فرم تبعی دلالت بر این دارد که تغییر سطح سرمایه‌گذاری دارای هزینه است و این هزینه با تغییر در سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد و هزینه تعدیل در وضعیت باثبات ۰ است. بنابراین، وضعیت باثبات مدل به پارامتر هزینه تعدیل سرمایه $t = S''(1)$ بستگی ندارد، اما به‌طور قطع پویایی مدل تحت تاثیر پارامتر t قرار می‌گیرد.

در معادله (۲۸)، χ_t شوک وارد شده به فناوری خاص سرمایه‌گذاری^۳ است که در بین تمامی خانوارها مشترک است. فرض می‌شود χ_t از یک فرایند خودرگرسیون به شکل معادله (۲۹) تبعیت می‌کند:

$$\log \chi_t = \rho^x \log \chi_{t-1} + \varepsilon_t^x \quad (29)$$

با تعریف Q توپین^۴ به صورت نسبت دو ضریب لاگرانژ $\left(q_t = \frac{\mu_t}{\lambda_t}\right)$ و از حل مسئله بیشینه‌سازی مقید چند رابطه حاصل می‌شود که عبارت‌اند از: معادله اولر مصرف، عرضه نیروی کار، تقاضای تراز حقیقی پول، پویایی قیمتگذاری سرمایه و معادله اولر سرمایه‌گذاری. فرم لگاریتم خطی شده معادلات اشاره شده از این قرار است:

$$\hat{c}_t = \frac{h}{1+h} \hat{c}_{t-1} + \frac{1}{1+h} E_t \hat{c}_{t+1} - \frac{1-h}{(1+h)\sigma_c} (\hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}) + \frac{1-h}{(1+h)\sigma_c} (\hat{f}_t - E_t \hat{f}_{t+1}) \quad (30)$$

$$\hat{w}_t = \sigma_l \hat{l}_t + \frac{\sigma_c}{1-h} (\hat{c}_t - h \hat{c}_{t-1}) \quad (31)$$

1. Capital Accumulation Equation

۲. هزینه تعدیل سرمایه به‌طور وسیع در ادبیات استفاده شده است. برای مثال، کریستیانو و همکاران (۲۰۰۵) نشان می‌دهند که با لحاظ هزینه تعدیل سرمایه در الگو می‌توان توابع واکنش کوهانی برای سرمایه‌گذاری، مصرف و اشتغال نسبت به شوک پولی به‌دست آورد که کاملاً با داده‌های دنیای واقع سازگاری دارد.

3. Investment-Specific Technology Shock

۴. Tobin. ارزش بازاری واحد اضافی سرمایه به هزینه جایگزینی آن.

$$\hat{m}_t = \frac{\sigma_c}{\sigma_m(1-h)} (\hat{c}_t - h\hat{c}_{t-1}) - \frac{1}{\sigma_m(\bar{R}-1)} \hat{R}_t \quad (32)$$

$$\hat{q}_t = -(\hat{R}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}) + (1 - \beta(1 - \delta)) E_t \hat{r}_{t+1}^k + \beta(1 - \delta) E_t \hat{q}_{t+1} \quad (33)$$

$$\hat{I}_t = \frac{1}{(1 + \beta)_t} \hat{q}_t + \frac{1}{(1 + \beta)} \hat{I}_{t-1} + \frac{\beta}{(1 + \beta)} E_t \hat{I}_{t+1} + \hat{\chi}_t \quad (34)$$

در معادلات بالا، m_t تراز حقیقی پول، b_t موجودی حقیقی اوراق مشارکت، و π_t نرخ تورم است. نرخ تورم به صورت $\frac{P_t}{P_{t-1}}$ تعریف می‌شود.

بنگاه تولیدکننده کالای نهایی

بنگاه تولیدکننده کالای نهایی در هر دوره $y_{j,t}$ واحد از هر کالای واسطه را در قیمت اسمی $P_{j,t}$ خریداری می‌کند تا مطابق با فناوری با بازده ثابت نسبت به مقیاس (۳۵) در تولید Y_t واحد از کالای نهایی استفاده کند:

$$Y_t \leq \left[\int_0^1 (y_{j,t})^{\frac{(\theta_t-1)}{\theta_t}} d_j \right]^{\frac{\theta_t}{\theta_t-1}} \quad (35)$$

$y_{j,t}$ مقدار کالای واسطه تولیدشده توسط بنگاه j است. θ_t کشش جانشینی^۱ بین کالاهاست. اندیس t دارد و بیانگر متغیر بودن مارک‌آپ (حاشیه سود) در طول زمان است. اگر شوک فشار هزینه (یا همان شوک عرضه) باشد، می‌توان فرض کرد که $\theta_t \approx -u_t$ یا به عبارت دیگر، شوک منفی کشش جانشینی معادل شوک مثبت فشار هزینه است. یک شوک مثبت در u_t باعث افزایش قیمت بهینه بدون چسبندگی می‌شود. در شرایط فقدان چسبندگی در اقتصاد، یک درصد افزایش در u_t باعث خواهد شد که بنگاه قیمت‌ش را یک درصد افزایش دهد. شوک فشار هزینه از طریق نوسانات در کشش جانشینی $\hat{\theta}_t$ ایجاد می‌شود. همچنین، فرض بر این است که u_t از فرایند (۳۶) تبعیت می‌کند:

$$\log u_t = (1 - \rho_\theta) \log u + \rho_\theta \log u_{t-1} + \varepsilon_t^\theta \quad (36)$$

شوک به u_t یا همان ε_t^θ می‌تواند به صورت شوک مارک‌آپ قیمت تفسیر گردد. بنگاه کالاهایش را در یک بازار رقابت کامل به فروش می‌رساند. تولیدکننده کالای نهایی به دنبال کمینه کردن هزینه‌های خود است. از حل این مسئله، تقاضا برای کالای واسطه u_t به شکل معادله (۳۷) به‌دست می‌آید:

$$y_{j,t} = \left(\frac{P_{j,t}}{P_t}\right)^{-\theta_t} Y_t \quad (37)$$

$P_{j,t}$ قیمت کالای واسطه z و P_t سطح قیمت کالای نهایی (یا همان سطح قیمت کل) است. تقاضا برای کالای z تابعی از نسبت قیمت آن کالا به سطح عمومی قیمت‌ها و همچنین تولید کل است. در نهایت، با توجه به فرض وجود رقابت کامل در بخش تولیدکننده کالای نهایی، می‌توان سطح قیمت کل را به صورت معادله (38) نوشت:

$$P_t = \left[\int_0^1 (P_{j,t})^{1-\theta_t} dj \right]^{\frac{1}{1-\theta_t}} \quad (38)$$

بنگاه تولیدکننده کالای واسطه

در این مدل فرض بر این است که تعداد z بنگاه تولیدکننده کالای واسطه در یک بازار رقابت انحصاری فعالیت می‌کنند. بنابراین، سطح نهاده‌های تولید (نیروی کار و سرمایه) و قیمت کالای خود را طوری انتخاب می‌کنند که سودشان بیشینه شود. تابع تولید کالاهای واسطه به شکل کاب داگلاس — با بازده ثابت به مقیاس — تعریف می‌شود:

$$y_{j,t} \leq A_t (L_{j,t})^{1-\alpha} (\tilde{K}_{j,t-1})^\alpha \quad (39)$$

$\tilde{K}_{j,t-1}$ سرمایه موثر یا بهره‌برداری شده است ($\tilde{K}_{j,t-1} = z_t K_{j,t-1}$). α سهم سرمایه در تولید و A_t بیانگر شوک بهره‌وری مشترک در میان تمام بنگاه‌هاست که از فرایند خودرگرسیون مرتبه اول ذیل تبعیت می‌کند:

$$\log A_t = \rho_A \log A_{t-1} + \varepsilon_t^A \quad (40)$$

مسئله تصمیم‌گیری بنگاه عبارت است از تعیین سرمایه و نیروی کار، به‌نحوی که هزینه‌هایش کمینه شود. به این ترتیب، تابع تقاضای نیروی کار و همچنین هزینه نهایی بنگاه به شکل زیر به‌دست می‌آیند:

$$L_t = \frac{(1-\alpha) r_t^k \tilde{K}_{t-1}}{\alpha w_t} \quad (41)$$

$$mc_t = \varpi_t = \frac{w_t^{1-\alpha} (1-\alpha)^{\alpha-1} (r_t^k)^\alpha}{A_t \alpha} \quad (42)$$

در این پژوهش قصد داریم با جایگذاری مدل‌های مختلف قیمتگذاری در یک مدل تعادل عمومی،

به بررسی و مقایسه عملکرد آن‌ها با یک مدل قیمتگذاری مبنا^۱ بپردازیم. بنابراین، ابتدا نیاز داریم یک مدل مبنا یا پایه را تعریف نماییم. فرض بر این است که در مدل پایه، مدل قیمتگذاری بنگاه یک مدل کالوو با لحاظ شاخص‌بندی جزئی است.

دولت

در هر دوره، دولت مخارج مصرفی‌اش را از طریق منابع مختلفی تامین مالی می‌نماید. این منابع شامل مالیات، اوراق مشارکت و استقراض از بانک مرکزی (در قالب افزایش بدهی دولت به بانک مرکزی) است. بنابراین، قید بودجه دولت را می‌توان این‌گونه تعریف کرد:

$$G_t + i_t \frac{B_{t-1}}{P_t} = \frac{T_t}{P_t} + \frac{B_t}{P_t} - \frac{B_{t-1}}{P_t} + \frac{(M_t - M_{t-1})}{P_t} \quad (43)$$

همچنین، فرض می‌شود مخارج دولت تحت فرایندهای سیاسی بودجه‌ریزی و به صورت برون‌زا تعیین می‌گردد.

$$G_t = \rho_g G_{t-1} + (1 - \rho_g) \bar{G} + \varepsilon_t^g \quad (44)$$

$\bar{G}$ مقدار باثبات متغیر هزینه‌های دولت است.

بانک مرکزی

مطالعات انجام‌شده در رابطه با شناسایی تابع واکنش بانک مرکزی ایران دلالت بر این دارد که بانک مرکزی از قاعده‌های مرسوم سیاست پولی (نظیر قاعده تیلور، مک‌کالووم^۲) تبعیت نمی‌کند (Hemmaty & Jalali-Naini, 2015; Jalali-Naeini & Hemmaty, 2013). بر اساس شواهد تجربی، نرخ رشد پایه پولی (به عنوان ابزار سیاستگذار پولی در ایران) به‌طور فعال به شکاف تولید و نرخ تورم از مقدار هدف واکنش نشان نمی‌دهد. همچنین، بر اساس مطالعات داخلی، برخلاف ضرایب مربوط به متغیرهای هدف (شکاف تورم و تولید) که نه علامت‌شان مطابق با نظریه‌های اقتصادی است و نه این‌که از نظر آماری معنادار هستند، ضریب وقفه اول نرخ رشد پایه پولی (که به عنوان ابزار سیاستگذاری پولی در نظر گرفته می‌شود) مثبت و معنادار است و بنابراین، می‌توان فرایند خودرگرسیون (۴۵) را برای بستن مدل بکار گرفت:

1. Benchmark
2. McCallum

$$\mu_t = \rho_\mu \mu_{t-1} + v_t \quad (45)$$

در رابطه (45) μ_t نرخ رشد پایه پولی در دوره t است ($\mu_t = \frac{M_t}{M_{t-1}}$). حجم پایه پولی اسمی است. فرم لگاریتم خطی نرخ رشد پایه پولی برحسب تراز حقیقی پول به صورت $\hat{\mu}_t = \hat{m}_t - \hat{m}_{t-1} + \hat{\pi}_t$ است.

تسویه بازار کالا

شرط تسویه بازار کالا به صورت رابطه (46) است:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + \Psi(z_t) K_{t-1} \quad (46)$$

نتایج پژوهش

روش مورد استفاده برای برآورد پارامترهای ساختاری مدل‌های قیمتگذاری، بیزین است. در این پژوهش از الگوریتم متروپولیس-هستینگز^۱ برای برآورد پارامترهای مدل پایه و سایر مدل‌ها استفاده شده است. با توجه به این که شش شوک ساختاری شامل شوک بهره‌وری، ترجیحات، فشار هزینه، سرمایه‌گذاری، سیاست مالی و پولی در مدل وجود دارد، بنابراین می‌توان حداکثر شش متغیر قابل مشاهده برای برآورد مدل استفاده کرد. با توجه به شوک‌های ساختاری مدل، از شش متغیر قابل مشاهده شامل شکاف متغیرهای تولید، هزینه‌های مصرفی خصوصی، تورم، تشکیل سرمایه ثابت ناخالص، هزینه‌های مصرفی دولتی و نرخ رشد پایه پولی در فرایند برآورد بیزی استفاده شده است.

تعیین توزیع‌های پیشین پارامترها

توزیع پیشین برای هر پارامتر بر اساس ویژگی‌های آن پارامتر و ویژگی‌های توزیع مورد نظر انتخاب می‌شود. همان‌طور که در **جدول (۱)** نشان داده می‌شود، از توزیع بتا برای پارامترهای $\gamma_p, \eta, \alpha, \phi, \omega, h$ و ضرایب فرایندهای خودرگرسیون که در بازه صفر تا یک قرار دارند استفاده شده است. برای پارامترهایی مانند $\sigma_m, \sigma_c, \sigma_m$ که دارای دامنه مثبت هستند، از توزیع گاما استفاده می‌شود. از توزیع نرمال برای پارامترهایی مانند λ استفاده می‌شود که بیکران هستند. برای انحراف معیار شوک‌ها، توزیع در نظر گرفته شده گامای معکوس با انحراف معیار بی‌نهایت است. توزیع، میانگین و انحراف معیار پیشین و نتایج حاصل از برآورد بیزی پارامترهای سه مدل (میانگین و انحراف معیار پسین پارامترها) در **جدول (۱)** آورده شده است.

توزیع پیشین و پسین پارامترهای هر یک از مدل‌ها در **پیوست ۱** آورده شده است). به منظور تشخیص همگرایی تک‌تک پارامترها و کل پارامترهای مدل شبیه‌سازی شده از آزمون تشخیصی زنجیره مونت‌کالوی مارکوف تک‌متغیره و چندمتغیره^۱ استفاده شده است (**پیوست ۲** را ببینید). آزمون‌های همگرایی بروکز و گلن بیانگر این است که مشکلی در تخمین پارامترهای مدل وجود ندارد و این تخمین‌ها قابل اتکا هستند، زیرا تقریباً پس از گذشت ۴۰ هزار نمونه‌گیری همگرایی کلی حاصل شده است. همچنین، بررسی این آزمون برای تک‌تک پارامترها نیز رضایت‌بخش بوده است.^۲

جدول ۱: توزیع پسین پارامترهای مدل‌ها

پارامتر توزیع	میانگین پیشین (انحراف معیار پیشین)	مدل (۱) هایبرید	مدل (۲) چسبندگی اطلاعات	مدل (۳) چسبندگی دوگانه	مدل (۴) چنذبخشی	مدل (۵) کالوو تعمیم‌یافته
h بتا	۰/۳۲۳ (۰/۱)	۰/۲۳۸۹ {۰/۱۴-۰/۳۴}	۰/۲۴۰۵ {۰/۱۴-۰/۳۴}	۰/۲۶۲۳ {۰/۱۶-۰/۳۷}	۰/۲۵۸۷ {۰/۱۵-۰/۳۶}	۰/۲۵۳۹ {۰/۱۴-۰/۳۶}
σ_c گاما	۴۴/۱۶ (۰/۱)	۴/۱۵۹۸ {۳/۹۹-۴/۳۲}	۴/۱۶۵ {۳/۹۹-۴/۳۲}	۰/۴۱۶۸۷ {۴-۴/۳}	۴/۱۷۳۲ {۴-۴/۳۳}	۴/۱۵۶۵ {۳/۹۹-۴/۳۲}
σ_l گاما	۲/۸۹ (۰/۱)	۲/۹۵۱۲ {۲/۷۸-۳/۱۲}	۲/۸۹۷ {۲/۷۴-۳/۰۶}	۲/۸۹۹۳ {۲/۷-۳/۰۶}	۲/۸۹۹۴ {۲/۷-۳/۱}	۲/۹۲۸۱ {۲/۷۷-۳/۰۹}
σ_m گاما	۱/۸۵ (۰/۱۹)	۲/۱۷۴۲ {۱/۸۵-۲/۴۹}	۲/۰۱۲ {۱/۷۱-۲/۳۱}	۱/۹۵۵۸ {۱/۷۹-۲/۱}	۲/۱۱۱۳ {۱/۸-۲/۴}	۱/۸۰۸۴ {۱/۵-۲/۱۱}
ω بتا	۰/۳۹۳۱۵ (۰/۰۱۹۶)	۰/۵۲۶۳ {۰/۵۱-۰/۵۴}	-	۰/۴۷۶۳ {۰/۴۴-۰/۵۱}	۰/۵۳۰۸ {۰/۴۶-۰/۵۹}	-
ϕ بتا	۰/۵۱ (۰/۰)	-	۰/۷۹۷ {۰/۷۸-۰/۸۱}	۰/۷۳۸۷ {۰/۷۱-۰/۷۶}	۰/۶۶۱۰ {۰/۵۹-۰/۷۳}	-
α بتا	۰/۴۴۳ (۰/۰۵)	۰/۴۷۷۵ {۰/۳۹-۰/۵۶}	۰/۴۲۸ {۰/۳۵-۰/۵۱}	۰/۴۴۰۰ {۰/۴۱-۰/۴۷}	۰/۴۳۷۵ {۰/۴-۰/۴۷}	۰/۴۴۳۷ {۰/۴۱-۰/۴۷}

1. MCMC Univariate/Multivariate Convergence Diagnostic

۲. نتایج مربوط به آزمون‌های بروکز و گلن برای تک‌تک پارامترهای هر یک از سه الگوی مورد بررسی به دلیل کمبود فضا گزارش نشده است و به درخواست خواننده قابل ارسال است.

۳. مبتنی بر برآورد مدل AR(1)

۴. عینیان و نیلی (۲۰۱۶)

۵. مبتنی بر برآورد بیزی این پارامتر در پژوهش توکلیان (۲۰۱۵)

ادامه جدول ۱: توزیع پسین پارامترهای مدل‌ها

پارامتر	توزیع	میانگین پیشین (انحراف معیار پیشین)	مدل (۱) هایرید	مدل (۲) چسبندگی اطلاعات	مدل (۳) چسبندگی دوگانه	مدل (۴) چندبخشی	مدل (۵) کالوو تعمیم یافته
ψ	نرمال	۰/۰۵ (۰/۰۱)	۰/۱۳۳۱ {۰/۱۲-۰/۱۴}	۰/۱۷۲ {۰/۱۵-۰/۱۹}	۰/۱۳۶۴ {۰/۱۳-۰/۱۴}	۰/۱۷۹۷ {۰/۱۵-۰/۲۱}	۰/۱۵۸۷ {۰/۱۵-۰/۱۷}
l	نرمال	۹/۰۵۳ ^۱ (۱/۳۵۹)	۱/۷۸۱۳ {۰/۹۶-۲/۶}	۷/۷۸۹ {۵/۳۲-۱۰/۲}	۸/۴۸۶۳ {۶/۳-۱۰/۷}	۸/۷۱۲۶ {۶/۴-۱۰/۹}	۸/۴۷۶۸ {۶/۱-۱۰/۸}
ρ_a	بتا	۰/۸۵ (۰/۰۵)	۰/۸۱۲۲ {۰/۷۵-۰/۸۷}	۰/۸۷۲ {۰/۸۲-۰/۹۲}	۰/۸۷۵۰ {۰/۸۳-۰/۹۲}	۰/۸۹۸۰ {۰/۸۶-۰/۹۴}	۰/۵۱۲ {۰/۴-۰/۶}
ρ_g	بتا	۰/۸۵ (۰/۰۵)	۰/۶۶۴۵ {۰/۵۴-۰/۷۹}	۰/۶۶۵ {۰/۵۴-۰/۸۷}	۰/۶۷۰۱ {۰/۵۵-۰/۷۹}	۰/۶۶۷۸ {۰/۵۴-۰/۸۷}	۰/۶۶۶۴ {۰/۵۵-۰/۷۹}
ρ_m	بتا	۰/۴۴ ^۲ (۰/۰۵)	۰/۲۷۴۴ {۰/۲۱-۰/۳۳}	۰/۳۰۲ {۰/۲۴-۰/۳۷}	۰/۳۰۲۰ {۰/۲۴-۰/۳۶}	۰/۳۰۱۴ {۰/۲۴-۰/۳۶}	۰/۳۰۵۹ {۰/۲۴-۰/۳۷}
ρ_f	بتا	۰/۳۷ ^۳ (۰/۱)	۰/۱۷۴۰ {۰/۰۷-۰/۲۷}	۰/۱۷۹ {۰/۰۷-۰/۲۸}	۰/۱۷۵۵ {۰/۰۷-۰/۲۸}	۰/۱۸۰۳ {۰/۰۷-۰/۲۹}	۰/۱۷۸۲ {۰/۰۷-۰/۲۷}
ρ_θ	بتا	۰/۸۵ (۰/۰۵)	۰/۵۲۱۶ {۰/۵۲-۰/۵۹}	۰/۶۲۰ {۰/۵۵-۰/۶۹}	۰/۵۰۱۷ {۰/۴۲-۰/۵۸}	۰/۴۱۳۱ {۰/۳۳-۰/۴۹}	۰/۵۶۰۲ {۰/۴۷-۰/۶۴}
ρ_χ	بتا	۰/۸۵ (۰/۰۵)	۰/۶۸۳۸ {۰/۵۷-۰/۸۸}	۰/۶۹۱ {۰/۵۷-۰/۸۲}	۰/۶۷۲۳ {۰/۵۵-۰/۸۸}	۰/۶۶۴۰ {۰/۵۹-۰/۷۹}	۰/۶۹۴۶ {۰/۵۷-۰/۸۲}
γ_p	بتا	۰/۷ ^۴ (۰/۰۵)	۰/۷۵۶۵ {۰/۶۸-۰/۸۳}	-	-	۰/۷۰۱۴ {۰/۶۸-۰/۷۳}	-
s_1	بتا	۰/۲۵ (۰/۰۵)	-	-	-	۰/۱۳۰۲ {۰/۰۹-۰/۱۷}	-
s_2	بتا	۰/۲۵ (۰/۰۵)	-	-	-	۰/۱۲۷۲ {۰/۰۹-۰/۱۷}	-
s_3	بتا	۰/۲۵ (۰/۰۵)	-	-	-	۰/۰۶۵۱ {۰/۰۶-۰/۰۷}	-

۱. آدولفسون و همکاران (۲۰۰۷)

۲. مبتنی بر برآورد مدل AR(1)

۳. گلین و کولیکوو (۲۰۱۱)

۴. مبتنی بر برآورد بیزی این پارامتر در پژوهش توکلین (۲۰۱۵)

ادامه جدول ۱: توزیع پسین پارامترهای مدل‌ها

پارامتر	توزیع	میانگین پیشین (انحراف معیار پیشین)	مدل (۱) هایبرید	مدل (۲) چسبندگی اطلاعات	مدل (۳) چسبندگی دوگانه	مدل (۴) چندبخشی	مدل (۵) کالوو تعمیم یافته
σ_a	گامای معکوس	۰/۰۱ (∞)	۰/۲۸۶۷ {۰/۲۴-۰/۳۳}	۰/۲۶۵ {۰/۲۲-۰/۳۱}	۰/۳۰۲۲ {۰/۲۶-۰/۳۴}	۰/۲۶۲۷ {۰/۲۲-۰/۳}	۰/۲۲۸۷ {۰/۱۹-۰/۲۶}
σ_θ	گامای معکوس	۰/۰۱ (∞)	۱/۴۳۳۴ {۱/۲۳-۱/۶۲}	۰/۸۶۵ {۰/۶۹-۱/۰۳}	۱/۴۴۲۸ {۱/۲-۱/۶}	۰/۱۹۸۸ {۰/۱۴-۰/۲۶}	۰/۸۵۸۴ {۰/۷۱-۰/۹۹}
σ_m	گامای معکوس	۰/۰۱ (∞)	۰/۰۵۰۰ {۰/۰۴-۰/۰۶}	۰/۰۵۰۶ {۰/۰۴-۰/۰۶}	۰/۰۵۰۷ {۰/۰۴-۰/۰۶}	۰/۰۵۰۷ {۰/۰۴-۰/۰۶}	۰/۰۵۰۸ {۰/۰۴-۰/۰۶}
σ_g	گامای معکوس	۰/۰۱ (∞)	۰/۰۷۷۳ {۰/۰۷-۰/۰۹}	۰/۰۷۷ {۰/۰۷-۰/۰۸}	۰/۰۷۷۴ {۰/۰۷-۰/۰۹}	۰/۰۷۷۲ {۰/۰۷-۰/۰۹}	۰/۰۷۷۱ {۰/۰۶۷-۰/۰۹}
σ_f	گامای معکوس	۰/۰۱ (∞)	۰/۱۷۸۳ {۰/۱۵-۰/۲۱}	۰/۱۶۷۸ {۰/۱۴-۰/۱۹}	۰/۱۸۴۰ {۰/۱۵-۰/۲۲}	۰/۱۷۸۹ {۰/۱۵-۰/۲۱}	۰/۱۸۸۷ {۰/۱۵-۰/۲۲}
σ_χ	گامای معکوس	۰/۰۱ (∞)	۰/۰۴۴۲ {۰/۰۳-۰/۰۵}	۰/۰۲۹۶ {۰/۰۲-۰/۰۴}	۰/۰۳۰۹ {۰/۰۳-۰/۰۴}	۰/۰۳۳۸ {۰/۰۳-۰/۰۴}	۰/۰۳۵۳ {۰/۰۳-۰/۰۴}

توضیح: اعداد داخل کروشه بیانگر فاصله اطمینان ۹۰ درصد است.

مقایسه مدل‌ها

معیارهایی که در این پژوهش برای مقایسه مدل‌های قیمتگذاری استفاده شده مبتنی بر (۱) مقایسه احتمال پسین مدل‌ها (روش مقایسه مدل بیزی^۱)، (۲) مقایسه گشتاورهای داده‌های شبیه‌سازی شده مدل با داده‌های دنیای واقعی، (۳) مقایسه خودهمبستگی نرخ تورم واقعی با میانه توزیع پسین هر یک از مدل‌ها، و (۴) بررسی توابع واکنش آنی (IRF) است. در این بخش هر یک از چهار معیار مذکور به ترتیب توضیح داده می‌شوند.

روش مقایسه مدل بیزی

در این پژوهش، با استفاده از راست‌نمایی نهایی، مدل‌های مختلف قیمتگذاری با یکدیگر مقایسه می‌شوند. با این روش، می‌توانیم تعیین کنیم که هر یک از مدل‌های قیمتگذاری تا چه حد توانسته‌اند

داده‌های واقعی را توضیح دهند. یک مزیت معیار راست‌نمایی نهایی این است که از افزایش بی‌رویه پارامترها^۱ ممانعت می‌کند. بر اساس این معیار، مدل‌هایی با چسبندگی‌های بیش‌تر لزوماً رتبه بهتری به‌دست نخواهند آورد اگر چسبندگی‌های اضافی به توضیح بیش‌تر داده‌ها منجر نگردد. **جدول (۲)**، راست‌نمایی‌های نهایی را برای مدل‌های مختلف قیمتگذاری ارائه می‌دهد. بر اساس نتایج مشاهده می‌شود که مدل چسبندگی دوگانه با داده‌های دنیای واقعی سازگاری بیش‌تری دارد. در ستون دوم **جدول (۲)** احتمال پسین آورده شده است. در مقایسه مدل‌ها به روش بیز، احتمال پیشین مدل‌ها برابر فرض شده است. همان‌طور که اعداد ستون دوم نشان می‌دهد، داده‌های دنیای واقعی قویاً از مدل قیمتگذاری چسبندگی دوگانه پشتیبانی می‌کنند. احتمال پسین مدل قیمتگذاری چسبندگی دوگانه یک و این احتمال برای سایر مدل‌های قیمتگذاری صفر است. اگر احتمال‌های پسین به عنوان معیار کلی سازگاری با دنیای واقعی تفسیر گردند، آنگاه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل قیمتگذاری چسبندگی دوگانه به‌طور معناداری بهتر از سایر مدل‌های مورد بررسی قادر است داده‌های دنیای واقعی را توضیح دهد.

جدول ۲: مقایسه احتمال پسین مدل‌ها

احتمال پسین	لگاریتم راست‌نمایی نهایی	
۰	۵۵۶/۵۱	هایبرید
۰	۵۴۷/۸۷	اطلاعات چسبیده
۱	۵۸۷/۵۵	چسبندگی دوگانه
۰	۵۶۶/۱۶	کالوو تعمیم‌یافته
۰	۵۲۰/۰۹	چندبخشی

توضیح: مقایسه مدل‌ها مبتنی بر تقریب لاپلاس^۲ است. از یک توزیع یکنواخت برای تعیین احتمال‌های پیشین مدل‌ها استفاده شده و احتمال ۰/۲ برای تمامی مدل‌ها در نظر گرفته شده است.

بررسی گشتاورهای داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های واقعی

هر کدام از پنج مدل مورد بررسی برای یکصد هزار دوره شبیه‌سازی شده‌اند. پس از شبیه‌سازی

مدل‌ها، گشتاورهای داده‌های تولیدشده توسط هر مدل با گشتاورهای مشاهده‌شده در داده‌های دنیای واقعی مقایسه شده است. مدلی که نزدیک‌ترین گشتاور به گشتاور داده‌های دنیای واقعی را تولید کرده باشد، به عنوان بهترین مدل که توانسته است واقعیات آشکارشده در اقتصاد ایران را نسبت به سایر مدل‌ها توضیح دهد انتخاب می‌شود. در **جدول (۳)**، مقایسه گشتاورهای مدل‌های قیمتگذاری مختلف آورده شده است. در این جدول از انحراف معیار به عنوان شاخص نوسانات استفاده شده است. این مقایسه صرفاً با تمرکز بر دو متغیر کلیدی، یعنی تورم و تولید، انجام شده است.

جدول ۳: مقایسه گشتاورهای واقعی و شبیه‌سازی‌شده نرخ تورم و شکاف تولید

نوسانات تورم	نوسانات شکاف تولید
داده‌های واقعی	۰/۰۱۷۴۵۶
مدل هایپرید	۰/۰۱۶۶۳۶
مدل اطلاعات چسبنده	۰/۰۲۳۳۱۱
مدل چسبندگی دوگانه	۰/۰۱۸۵۱۱
مدل کالوو تعمیم‌یافته	۰/۰۲۴۹۸۱
مدل چندبخشی	۰/۰۲۱۵۸۱

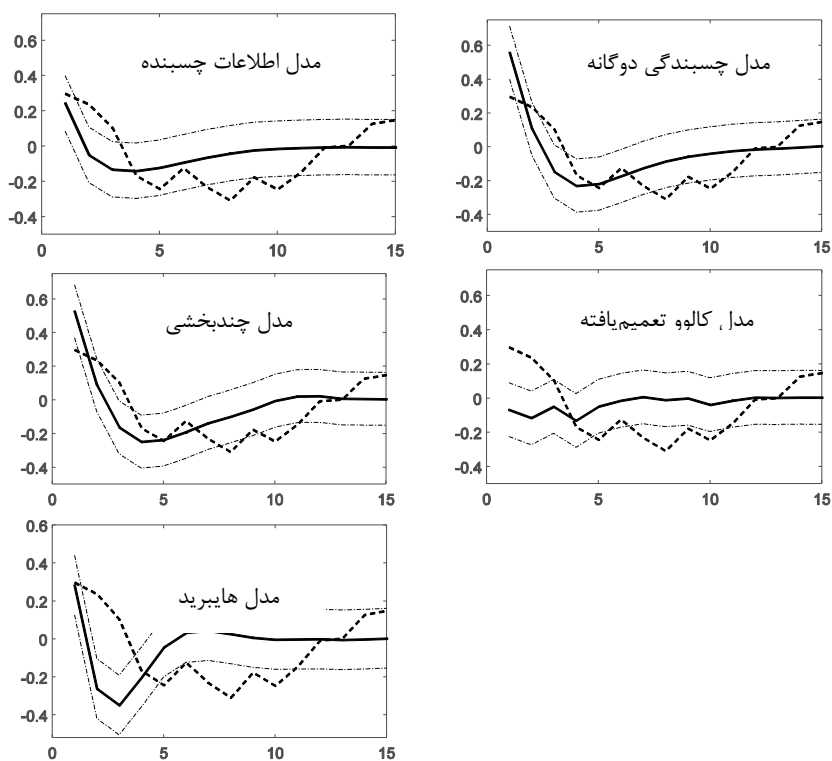
توضیح: منظور از نوسانات همان انحراف معیار است.

همان‌طور که از **جدول (۳)** مشاهده می‌شود، مدل هایپرید نزدیک‌ترین گشتاور به گشتاور داده‌های واقعی تورم را تولید کرده است. البته با وجود آن‌که مدل هایپرید نوسانات تورم را بهتر از سایر مدل‌ها شبیه‌سازی می‌کند، اما این مدل در شبیه‌سازی نوسانات شکاف تولید در مقایسه با بسیاری از مدل‌ها در وضعیت بدتری قرار دارد. مدل چسبندگی دوگانه پس از مدل هایپرید بیش‌ترین نزدیکی را به گشتاور داده‌های واقعی تورم دارد. علاوه بر این، مدل چسبندگی دوگانه عملکرد خوبی نیز در شبیه‌سازی نوسانات شکاف تولید دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل چسبندگی دوگانه بهترین عملکرد را در توضیح گشتاورهای داده‌های واقعی نرخ تورم و شکاف تولید دارد.

معیار ماندگاری تورم

در ادبیات، در حمایت از دو مدل اطلاعات چسبنده و چسبندگی دوگانه بیان می‌شود که

این مدل‌ها به دلیل نوع تصریحی که دارند، قادر هستند ماندگاری تورم را بدون در نظر گرفتن شاخص‌بندی یا درجه بالای چسبندگی نشان دهند. بنابراین، یک روش مرسوم در ادبیات برای مقایسه عملکرد مدل‌های قیمتگذاری مختلف، بررسی توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی ماندگاری تورم است. به همین منظور **شکل (۳)** ضرایب خودهمبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده نرخ تورم را با میزان ضرایب خودهمبستگی داده‌های تاریخی تورم نشان می‌دهد.



شکل ۳: بررسی و مقایسه خودهمبستگی داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی تورم (در مدل‌های قیمتگذاری مختلف)

توضیح: خط پیوسته نشان‌دهنده خودهمبستگی مربوط به داده‌های شبیه‌سازی شده و خط (-) نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۰ درصدی است. خط نقطه‌چین (---) بیانگر ضرایب خودهمبستگی داده‌های تاریخی تورم است.

با وجود آن که مدل هایبرید در وقفه اول بهتر از سایر مدل ها می تواند خودهمبستگی داده های واقعی تورم را شبیه سازی نماید، اما در وقفه های بیش تر از یک، ضرایب خودهمبستگی به سرعت کاهش می یابد و به زیر صفر می رود. در بیش تر وقفه ها، مدل هایبرید ماندگاری تورم را بیش از حد برآورد می کند. در مدل هایبرید، فاصله اطمینان ۹۰ درصدی، ضرایب خودهمبستگی در ۸ وقفه از ۱۵ وقفه را دربر نمی گیرد.

از میان مدل های مختلف، ضرایب خودرگرسیونی در مدل چسبندگی دوگانه بیش ترین همبستگی را با ضرایب خودرگرسیونی داده های واقعی تورم دارد (تقریباً ۷۰ درصد). همچنین، از میان ۱۵ وقفه مورد بررسی تنها ۴ وقفه در فاصله اطمینان ۹۰ درصدی قرار نمی گیرند و سایر ضرایب در داخل این دامنه اطمینان هستند. البته شکاف میان ضرایب خودرگرسیونی داده های واقعی در این ۴ وقفه (وقفه یکم، سوم، هشتم، و دهم) با باند ۹۰ درصد نسبت به سایر مدل ها قابل اغماض است. این شواهد دلالت بر این دارد که مدل چسبندگی دوگانه توانسته است ماندگاری تورم را به صورت درونزا و از طریق نوع تصریح الگو و نه لحاظ شاخص بندی تولید کند. پس از مدل چسبندگی دوگانه، مدل چندبخشی نسبت به سایر مدل ها در شبیه سازی ماندگاری داده های واقعی تورم بهتر عمل کرده است. از میان ۱۵ وقفه مورد بررسی ۵ وقفه در فاصله اطمینان ۹۰ درصدی قرار نمی گیرند.

در مجموع، علت عملکرد بهتر دو مدل چسبندگی دوگانه و چندبخشی می تواند در نوع تصریح آن ها باشد. در مدل چسبندگی دوگانه، نرخ تورم در دوره جاری به نرخ تورم در دوره گذشته، نرخ تورم انتظاری و همچنین انتظارات گذشته از نرخ تورم بستگی دارد. به نوعی می توان گفت این مدل ترکیبی از دو تصریح مدل کالوو با شاخص بندی و مدل اطلاعات چسبنده را در خود جای داده است. در مدل چندبخشی نیز با توجه به سهم هر یک از چهار نوع بنگاه قیمنگذار (سهم بنگاه هایی که قیمت آن ها کاملاً انعطاف پذیر بوده ناچیز است) می توان بیان کرد که در این مدل نیز مانند مدل چسبندگی دوگانه نرخ تورم به سه جزء (۱) وقفه یکم تورم، (۲) نرخ تورم انتظاری، و (۳) انتظارات گذشته از نرخ تورم بستگی دارد. بنابراین همان طور که مشاهده می شود، این دو مدل در نشان دادن ماندگاری تورم نسبت به سایر مدل ها بهتر عمل کرده اند. البته باید توجه کرد که مدل چسبندگی چندبخشی نسبت به مدل چسبندگی دوگانه در وقفه های بیش تری ماندگاری تورم را از آنچه در دنیای واقعی است بیش تر برآورد کرده است. علت این بیش برآوردی شاید نوع تصریح مدل چندبخشی و سهم زیاد بنگاه های گذشته نگر در این مدل باشد. همان طور که در بخش های قبل گفته شد، حدود ۶۸ درصد از بنگاه ها در این مدل قیمت کالای خود را به صورت درصدی از تورم دوره گذشته تعدیل می کنند.

مدل کالوو تعمیم یافته در میان مدل‌ها بدترین عملکرد را از حیث شبیه‌سازی ماندگاری تورم داشته است. ضرایب خودهمبستگی در بیش‌تر وقفه‌ها در این مدل منفی برآورد شده است که با واقعیات اقتصاد ایران همخوانی ندارد. عملکرد ضعیف این مدل در تناقض با نتایج مطالعات بین‌المللی است که نشان می‌دهند تعمیم مدل کالوو استاندارد، به‌خوبی می‌تواند پویایی‌های تورم را توضیح دهد (Dixon & Le Bihan, 2012). علت این امر می‌تواند این باشد که در پژوهش حاضر برای مقداره‌ی به نرخ‌های بقا از تابع مخاطره که در مطالعه همتی و بیات (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی خانوارها برآورد گردیده استفاده شده است. با توجه به عدم دسترسی آزاد به مظنه‌های قیمت در اقتصاد ایران و محرمانه بودن این آمار، در پژوهش همتی و بیات (۲۰۱۳) به‌ناچار از شاخص قیمت اقلام مصرفی برای برآورد تابع خطر استفاده شده که همین امر برآوردها را با تورش مواجه ساخته است.

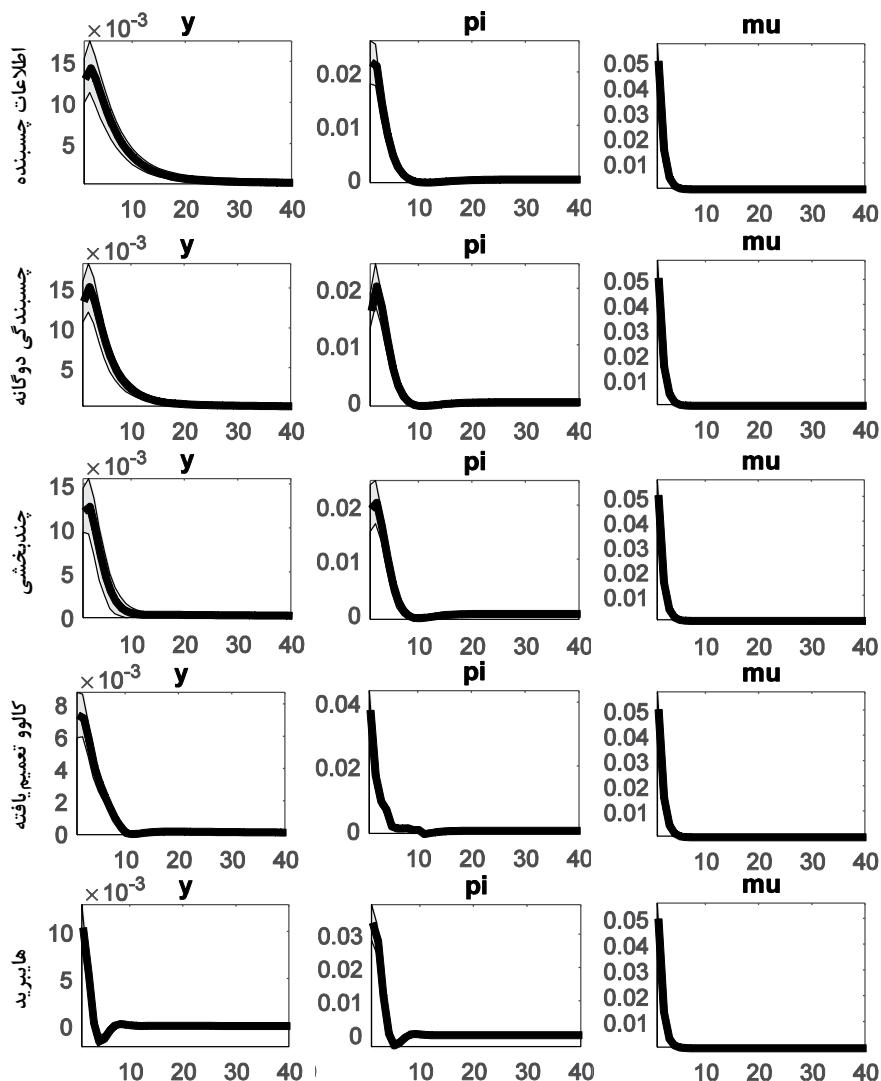
بررسی توابع واکنش آنی

برای بررسی پویایی‌های متغیرهای کلیدی (نرخ تورم و شکاف تولید) نسبت به تکانه‌های مختلف، از توابع واکنش آنی، که بر اساس الگوی برآوردشده به‌دست می‌آیند، استفاده می‌شود. در این پژوهش توجه و تاکید اصلی بر بررسی تکانه‌های سیاست پولی بر اقتصاد است. پرسش مهم در تحلیل اثر تکانه‌های پولی این است که آیا نحوه واکنش تورم به تکانه پولی را می‌توان با نمودار کوهانی شکل^۱ نشان داد؟ به عبارت دیگر، آیا مدت زمانی طول خواهد کشید تا اثر یک تکانه پولی به‌طور کامل بر متغیر تورم تخلیه شود یا در همان لحظه وقوع تکانه، شاهد بیش‌ترین واکنش تورم خواهیم بود؟ منکیو و رایس (۲۰۰۲)، بیان می‌کنند که واکنش همراه با تاخیر تورم به شوک پولی در مدل‌های نوکینزی — با فرض مدل کالوو — مشاهده نمی‌شود. به عبارت دیگر، تابع واکنش نرخ تورم نسبت به شوک پولی کوهانی شکل نیست. این واقعیات آشکارشده معیار مرسوم برای ارزیابی نظری مدل‌های قیمتگذاری در ادبیات است (Christiano et al., 2005). شکل (۴)، میانه واکنش تورم به شوک پولی (به اندازه یک انحراف معیار) را به همراه فاصله اطمینان ۹۰ درصد برای پنج مدل قیمتگذاری این مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس تصریح منحنی فیلیپس تحت اطلاعات چسبنده و چسبندگی دوگانه انتظار بر این است که این دو مدل بتوانند به‌خوبی لختی تورم و واکنش کُند قیمت‌ها به شوک پولی را شبیه‌سازی نمایند.

برخلاف انتظار در مدل اطلاعات چسبنده، واکنش همراه با تاخیر تورم مشاهده نمی‌شود و نرخ تورم در همان لحظه وقوع شوک پولی بیش‌ترین واکنش را نشان می‌دهد. در دوره دوم میزان واکنش قیمت‌ها با کاهش ناچیزی حول میزان واکنش دوره اول (وقوع شوک) باقی می‌ماند و در دوره‌های بعدی روند نزولی به خود می‌گیرد و در دوره نهم خط صفر را قطع می‌کند (به عبارت دیگر، اثر شوک پولی پس از ۹ دوره از بین می‌رود). این در حالی است که در مدل چسبندگی دوگانه تابع واکنش آنی تورم به شوک پولی کوهانی‌شکل است. به بیان دیگر، شوک پولی بیش‌ترین تاثیر خود را بر تورم در دوره دوم بر جای می‌گذارد که بیانگر لختی تورم است. همانند مدل اطلاعات چسبنده، تاثیر شوک پولی پس از گذشت ۹ فصل از بین می‌رود.

مدل چندبخشی به دلیل نوع تصریح و شباهت‌هایی که به مدل چسبندگی دوگانه دارد توانسته است تا حدودی واکنش همراه با تاخیر تورم به شوک پولی را نشان دهد. البته همان‌طور که از **شکل (۴)** مشخص است، تفاوت واکنش در دوره یکم و دوم در این مدل بسیار ناچیز است. رفتار تورم در مدل کالوو تعمیم‌یافته و هایبرید نیز مانند مدل اطلاعات چسبنده به‌نحوی است که شوک پولی در همان دوره اول بیش‌ترین تاثیر را بر این متغیر دارد. آنچه در مدل کالوو تعمیم‌یافته به چشم می‌خورد غیریکنواخت^۱ بودن تابع واکنش تورم است. این خاصیت غیریکنواخت بودن IRF تورم در تابع واکنش تورم به‌دست‌آمده از مدل VAR نیز مشاهده می‌شود.

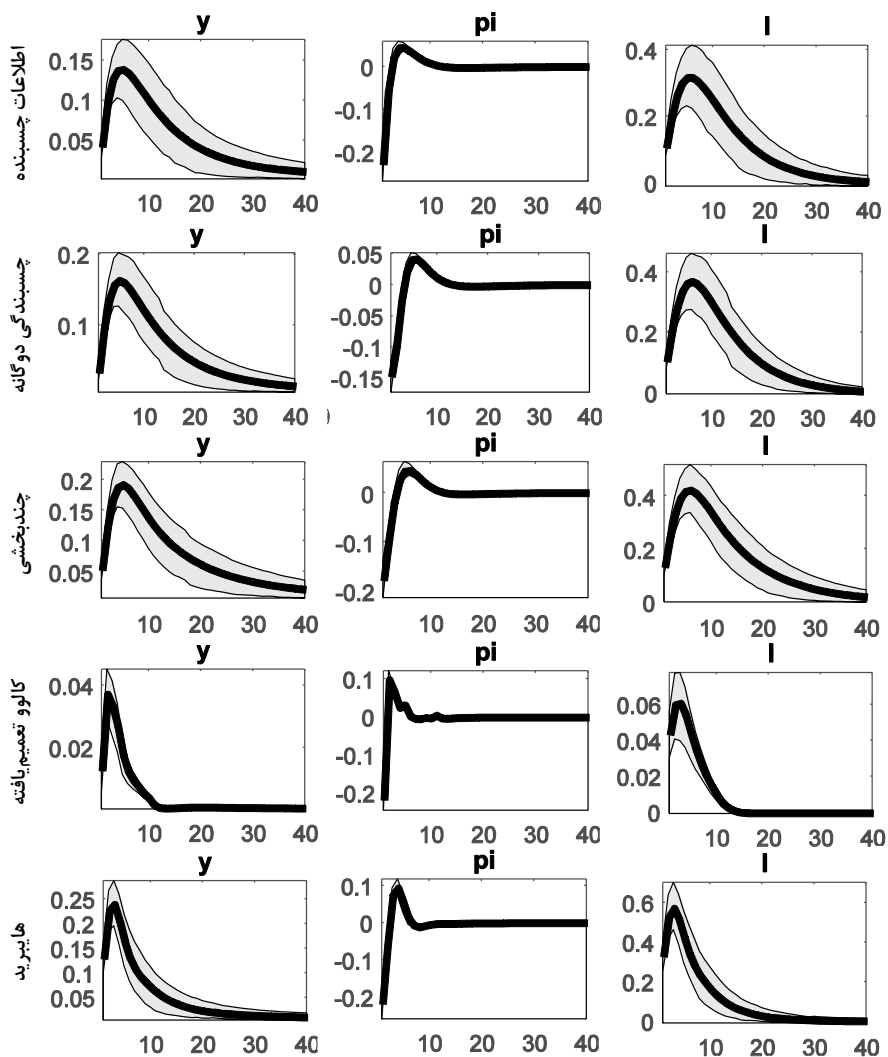
بررسی تابع واکنش شکاف تولید به شوک پولی در مدل چسبندگی دوگانه نیز بیانگر کوهانی بودن این تابع است. به عبارت دیگر، حداکثر واکنش شکاف تولید به شوک پولی با یک وقفه همراه خواهد بود که نشان‌دهنده آثار با وقفه سیاست پولی بر تولید در این مدل است. به عبارت دیگر، اثر شوک انبساطی پولی بر تولید ابتدا به صورت افزایشی است، زیرا تقاضا در طول زمان رشد می‌کند و سرانجام کاهش می‌یابد، زیرا در نتیجه آن قیمت‌ها تعدیل می‌شود. وقفه زمانی میان اعمال سیاست پولی و اثر آن بر تولید و تورم توسط بسیاری از پژوهش‌های تجربی تایید شده است (Walsh, 2010). بنابراین می‌توان گفت الگوی چسبندگی دوگانه در نشان دادن آثار سیاست پولی نسبت به سایر الگوها قرابت بیش‌تری با واقعیات آشکار شده در اقتصاد ایران دارد.



شکل ۴: توابع واکنش آنی نسبت به یک شوک پولی به اندازه یک انحراف معیار

توضیح: خط پیوسته نشان دهنده میانه واکنش ها در توزیع پسین است. نواحی خاکستری نشان دهنده فاصله اطمینان ۹۰ درصد هستند. محور افقی بر حسب فصل است (اندازه شوک پولی که به صورت یک انحراف معیار تعریف می شود در حدود ۵ درصد است).

علاوه بر بررسی اثر شوک پولی بر دو متغیر کلیدی تورم و تولید، در **شکل (۵)** توابع واکنش سه متغیر تورم، تولید، و سرمایه‌گذاری نسبت به شوک بهره‌وری آورده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، واکنش تورم در اثر اصابت یک شوک بهره‌وری در تمامی مدل‌ها آنی است. به عبارت دیگر، در همان دوره یکم بیش‌ترین تاثیر شوک بهره‌وری بر تورم بروز می‌کند (برخلاف تاثیر همراه با تاخیر شوک پولی). همانند **شکل (۴)**، مشاهده می‌شود که IRF تورم در مدل کالوو تعمیم‌یافته نیز غیریکنواخت است. تابع واکنش تولید و سرمایه‌گذاری در اثر اصابت شوک بهره‌وری مثبت در تمامی مدل‌های مورد بررسی به شکل کوهانی است. البته در سه مدل اطلاعات چسبنده، چسبندگی دوگانه و چندبخشی این کوهانی بودن در مقایسه با دو مدل کالوو تعمیم‌یافته و هایبرید ملموس‌تر است و شوک بهره‌وری تاثیر طولانی‌تری بر تولید و سرمایه‌گذاری در این سه مدل مذکور دارد (اثر شوک پس از گذشت ۴۰ دوره از بین می‌رود).



شکل ۵: توابع واکنش آنی نسبت به یک شوک بهره‌وری به اندازه یک انحراف معیار

توضیح: خط پیوسته نشان‌دهنده میانه واکنش‌ها در توزیع پسین است. نواحی خاکستری نشان‌دهنده فاصله اطمینان ۹۰ درصد هستند. محور افقی بر حسب فصل است.

بحث و نتیجه گیری

هدف از این پژوهش مقایسه تطبیقی انواع مختلف تصریح‌های منحنی فیلپس و انتخاب تصریحی است که بیش‌ترین انطباق را با واقعیات آشکار شده در اقتصاد ایران، به‌ویژه در خصوص پویایی‌های نرخ تورم داراست. به منظور مقایسه مدل‌های قیمتگذاری مختلف از چهار معیار شامل (۱) مقایسه احتمال پسین مدل‌ها، (۲) مقایسه گشتاورهای داده‌های شبیه‌سازی شده مدل با داده‌های دنیای واقعی، (۳) مقایسه خودهمبستگی نرخ تورم واقعی با میانه توزیع پسین هر یک از مدل‌ها، و (۴) بررسی توابع واکنش آنی (IRF) استفاده شد.

بر اساس معیار نخست، احتمال پسین مدل چسبندگی دوگانه نسبت به سایر مدل‌ها به‌طور قابل‌توجهی بالاتر بود. احتمال پسین مدل قیمتگذاری چسبندگی دوگانه یک و این احتمال برای سایر مدل‌های قیمتگذاری صفر است. نتایج بیانگر آن است که داده‌های دنیای واقعی قویاً از مدل قیمتگذاری چسبندگی دوگانه پشتیبانی می‌کنند. اگر احتمال‌های پسین به عنوان معیار کلی انطباق و سازگاری با دنیای واقعی تفسیر گردند، آنگاه می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل قیمتگذاری چسبندگی دوگانه به‌طور معناداری بهتر از سایر مدل‌های مورد بررسی قادر است که داده‌های دنیای واقعی را توضیح دهد.

بر اساس معیار دوم، مدل چسبندگی دوگانه بهترین عملکرد را در توضیح همزمان گشتاورهای داده‌های واقعی نرخ تورم و شکاف تولید دارد.

بر اساس معیار سوم، ضرایب خودرگرسیون تورم در مدل چسبندگی دوگانه بیش‌ترین همبستگی را با ضرایب خودرگرسیون داده‌های واقعی تورم دارد (تقریباً ۷۰ درصد). همچنین از میان ۱۵ وقفه مورد بررسی تنها ۴ وقفه در فاصله اطمینان ۹۰ درصدی قرار نمی‌گیرند و سایر ضرایب در داخل این دامنه اطمینان هستند. البته شکاف میان ضرایب خودرگرسیون داده‌های واقعی در این ۴ وقفه (وقفه یکم، سوم، هشتم، و دهم) با فاصله اطمینان ۹۰ درصد نسبت به سایر مدل‌ها قابل‌اغماض است. این شواهد دلالت بر این دارد که مدل چسبندگی دوگانه توانسته است ماندگاری تورم را به صورت درون‌زا و از طریق نوع تصریح الگو و نه لحاظ شاخص‌بندی تولید کند.

بر اساس معیار چهارم نیز مدل چسبندگی دوگانه نسبت به سایر مدل‌ها بهتر می‌تواند لختی تورم و واکنش کند قیمت‌ها به شوک پولی را شبیه‌سازی کند. در این مدل تابع واکنش آنی تورم به شوک پولی کوهانی شکل است. به بیان دیگر، شوک پولی بیش‌ترین تاثیر خود را بر تورم در دوره دوم بر جای می‌گذارد و تاثیر شوک پولی پس از گذشت ۹ فصل از بین می‌رود.

در مجموع، منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه (چسبندگی همزمان قیمت و اطلاعات) نسبت به سایر تصریح‌های فیلیپس با واقعیات آشکار شده در اقتصاد ایران سازگاری بیش‌تری دارد. در تصریح منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه علاوه بر جزء تورم انتظاری و انتظارات گذشته از تورم (پیش‌بینی تورم با استفاده از اطلاعات قدیمی)، جزء با وقفه تورم نیز به صورت درون‌زا و به دلیل فرض همزمان دو نوع چسبندگی قیمت و اطلاعات ظاهر می‌شود. چسبندگی قیمت باعث می‌شود که تنها بخشی از بنگاه‌ها بتوانند قیمت کالای خود را تغییر دهند و از سویی دیگر، چسبندگی اطلاعات باعث می‌شود که بخشی از بنگاه‌هایی هم که فرصت تغییر قیمت می‌یابند، مانند بنگاه‌های دوره گذشته قیمت‌گذاری انجام دهند (زیرا اطلاعاتی که بر اساس آن تصمیم‌گیری می‌کنند قدیمی است). این فروض باعث می‌شود که قیمت‌ها با وقفه خود همبسته باشند. بنابراین، جزء با وقفه تورم به دلیل تعامل این دو نوع چسبندگی ظاهر می‌شود. مدل چسبندگی دوگانه نسبت به مدل هایبرید، پایه خرد قابل‌قبول‌تری برای لختی تورم ارائه می‌دهد. در مدل هایبرید بنگاه‌ها گذشته‌نگر فرض می‌شوند و جزء با وقفه تورم به صورت برون‌زا در مدل لحاظ می‌گردد.

با توجه به این‌که عملکرد طیف متنوعی از مدل‌های قیمت‌گذاری تحلیل و مقایسه شد، پژوهش حاضر می‌تواند به عنوان مرجعی در خصوص تعیین مدل قیمت‌گذاری مناسب در ساخت الگوهای تعادل عمومی پویای تصادفی در اقتصاد ایران مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر، این پژوهش سهم بسزایی در شناسایی رفتار قیمت‌گذاری بنگاه‌های اقتصادی در اقتصاد ایران و در نتیجه رفتار و پویایی‌های نرخ تورم دارد.

با توجه به این‌که منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه در شبیه‌سازی پویایی‌های تورم در اقتصاد ایران عملکرد بهتری نسبت به سایر تصریح‌ها دارد، به منظور تحلیل اثرات سیاست پولی و بده-بستان نرخ تورم و تولید لازم است سیاستگذار نقش کلیدی و مهم چسبندگی اطلاعات را در کنار چسبندگی قیمت‌ها مد نظر قرار دهد. به عبارت دیگر، دو عامل چسبندگی اطلاعات و قیمت در کنار هم باعث می‌شود که نرخ تورم ماندگاری بیش‌تری داشته باشد و این ویژگی در صورتی که سیاستگذار پولی از سیاست‌های صلاح‌دید و غیرقابل‌پیش‌بینی استفاده کند، باعث می‌شود که نتواند در کنترل نرخ تورم موفق عمل کند.

اظهاریه قدردانی

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های معنوی و توصیه‌های ارزشمند داوران محترم و ناشناس که نقش مهمی در ارتقای سطح کیفی مقاله داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

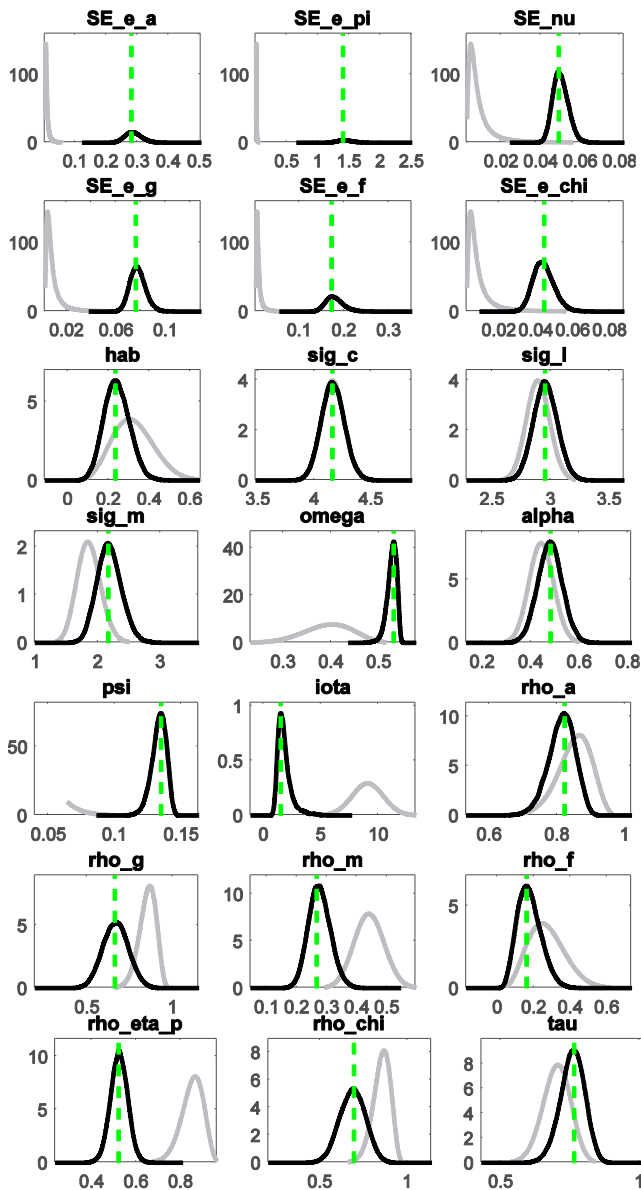
منابع

الف) انگلیسی

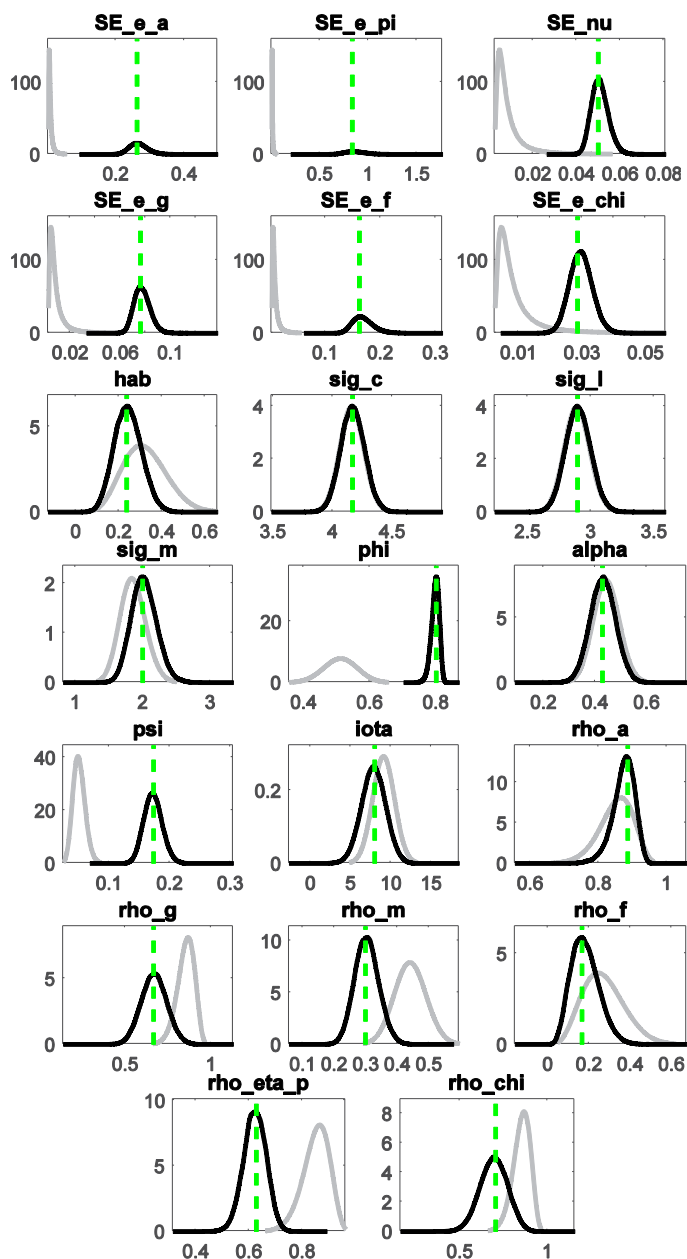
- Adolfson, M., Laséen, S., Lindé, J., & Villani, M. (2007). Bayesian Estimation of an Open Economy DSGE Model with Incomplete Pass-Through. *Journal of International Economics*, 72(2), 481-511. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2007.01.003>
- Bils, M., & Klenow, P. J. (2004). Some Evidence on the Importance of Sticky Prices. *Journal of Political Economy*, 112(5), 947-985. <https://doi.org/10.1086/422559>
- Christiano, L. J., Eichenbaum, M., & Evans, C. L. (2005). Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy. *Journal of Political Economy*, 113(1), 1-45. <https://doi.org/10.1086/426038>
- Coibion, O. (2010). Testing the Sticky Information Phillips Curve. *The Review of Economics and Statistics*, 92(1), 87-101. <https://doi.org/10.1162/rest.2009.11148>
- Coibion, O., & Gorodnichenko, Y. (2011). Strategic Interaction among Heterogeneous Price-Setters in an Estimated DSGE Model. *Review of Economics and Statistics*, 93(3), 920-940. https://doi.org/10.1162/REST_a_00102
- Dixon, H., & Le Bihan, H. (2012). Generalised Taylor and Generalised Calvo Price and Wage Setting: Micro-Evidence with Macro Implications. *The Economic Journal*, 122(560), 532-554. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2012.02497.x>
- Dupor, B., Kitamura, T., & Tsuruga, T. (2010). Integrating Sticky Prices and Sticky Information. *The Review of Economics and Statistics*, 92(3), 657-669. https://doi.org/10.1162/REST_a_00017
- Einian, M., & Nili, M. (2016). Consumption Smoothing and Borrowing Constraints: Evidence from Household Surveys of Iran. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2805089>
- Elahi, N., Najarzadeh, A., & Asgari, M. (2014). Investigating the Inflation Persistence in Iran. *Planning and Budgeting*, 19(3), 47-68. <http://jpbud.ir/article-1-1205-fa.html>
- Gelain, P., & Kulikov, D. (2011). An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model with Financial Frictions for Estonia. *Eastern European Economics*, 49(5), 97-120. <https://doi.org/10.2753/EEEE0012-8775490505>
- Hemmaty, M., & Bayat, S. (2013). Price Setting in Iran: Some Stylized Facts from CPI Micro Data. *Journal of Money and Economy*, 8(1), 75-108.
- Hemmaty, M., & Jalali-Naini, A. (2015). Monetary Policy Reaction Functions in Iran: An Extended Kalman Filter Approach. *Journal of Money and Economy*, 10(3), 29-48.
- Hemmaty, M., Pedram, M., & Tavakolian, H. (2016). The Role of Sticky Information

- on Inflation Dynamics: Evidence from Iran. *Economics Research*, 16(60), 107-151. <https://doi.org/10.22054/joer.2016.4203>
- Jalali-Naeini, A. & Hemmaty, M. (2013). *Linear and Non-Linear Estimation of Monetary Policy Reaction Functions in Iran*. 23th Annual Conference on Monetary and Foreign Exchange Policies. <https://civilica.com/doc/842850/>
- Kavand, H. (2009). *Explaining the Effects of Oil Revenues and Monetary Policies in the Form of a Trend Commercial Trend in the Iranian Economy*. (Doctoral Dissertation). University of Tehran,
- Khan, H., & Zhu, Z. (2006). Estimates of the Sticky-Information Phillips Curve for the United States. *Journal of Money, Credit and Banking*, 38(1), 195-207. <https://doi.org/10.1353/mcb.2006.0018>
- Klenow, P. J., & Kryvtsov, O. (2008). State-Dependent or Time-Dependent Pricing: Does It Matter for Recent US Inflation? *The Quarterly Journal of Economics*, 123(3), 863-904. <https://doi.org/10.1162/qjec.2008.123.3.863>
- Knotek II, E. S. (2010). A Tale of Two Rigidities: Sticky Prices in a Sticky-Information Environment. *Journal of Money, Credit and Banking*, 42(8), 1543-1564. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4616.2010.00353.x>
- Komijani, A., & Tavakolian, H. (2012). Monetary Policy under Fiscal Dominance and Implicit Inflation Target in Iran: A DSGE Approach. *Journal of Economic Modeling Research*, 3(8), 87-117. <http://jemr.khu.ac.ir/article-1-539-fa.html>
- Mankiw, N. G., & Reis, R. (2002). Sticky Information versus Sticky Prices: A Proposal to Replace the New Keynesian Phillips Curve. *The Quarterly Journal of Economics*, 117(4), 1295-1328. <https://doi.org/10.1162/003355302320935034>
- Smets, F., & Wouters, R. (2003). An Estimated Dynamic Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area. *Journal of the European Economic Association*, 1(5), 1123-1175. <https://doi.org/10.1162/154247603770383415>
- Taiebnia, A., Amiri, H., & Ravishi, F. (2014). The New Keynesian Phillips Curve and Forecasting Inflation. *Planning and Budgeting*, 18(4), 3-26. <http://jpbud.ir/article-1-1114-fa.html>
- Tavakolian, H. (2015). Optimal, Discretionary and Rule-Based Monetary Policy in Achieving 5-Year Development Plans' Inflation Target: A Dynamic Stochastic General Equilibrium Approach. *Journal of Monetary and Banking Research*, 8(23), 1-38. <https://jmbr.mbri.ac.ir/article-1-225-en.html>
- Tehranchian, A. M., Jafari Samimi, A., & Balounejad Nouri, R. (2013). Inflation Persistence Test in Iran (1972-2011): Application of ARFIMA Models. *Economic Growth and Development Research*, 3(11), 28-19. https://egdr.journals.pnu.ac.ir/article_410.html
- Walsh, C. E. (2010). Transparency, the Opacity Bias, and Optimal Flexible Inflation Targeting. *ZBW Working Paper, No. 10-17*. <http://hdl.handle.net/10419/64078>
- Woodford, M., & Walsh, C. E. (2005). Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy. *Macroeconomic Dynamics*, 9(3), 462-468. <https://doi.org/10.1017/S1365100505040253>

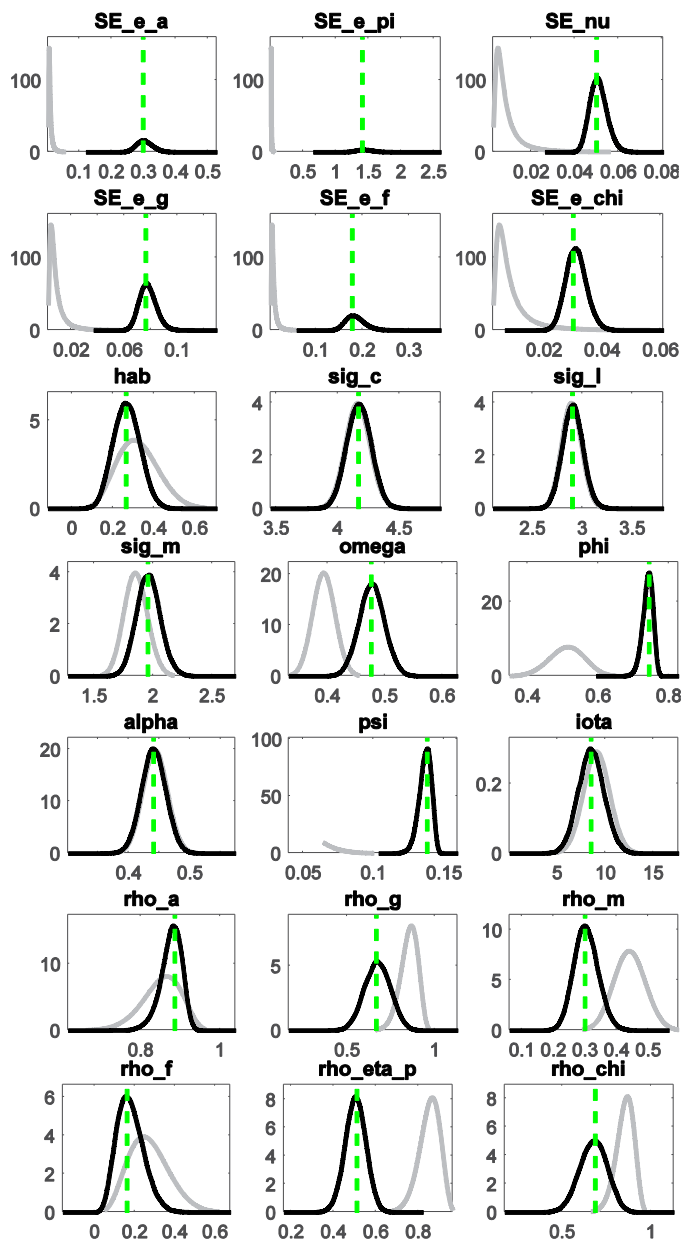
پیوست ۱:



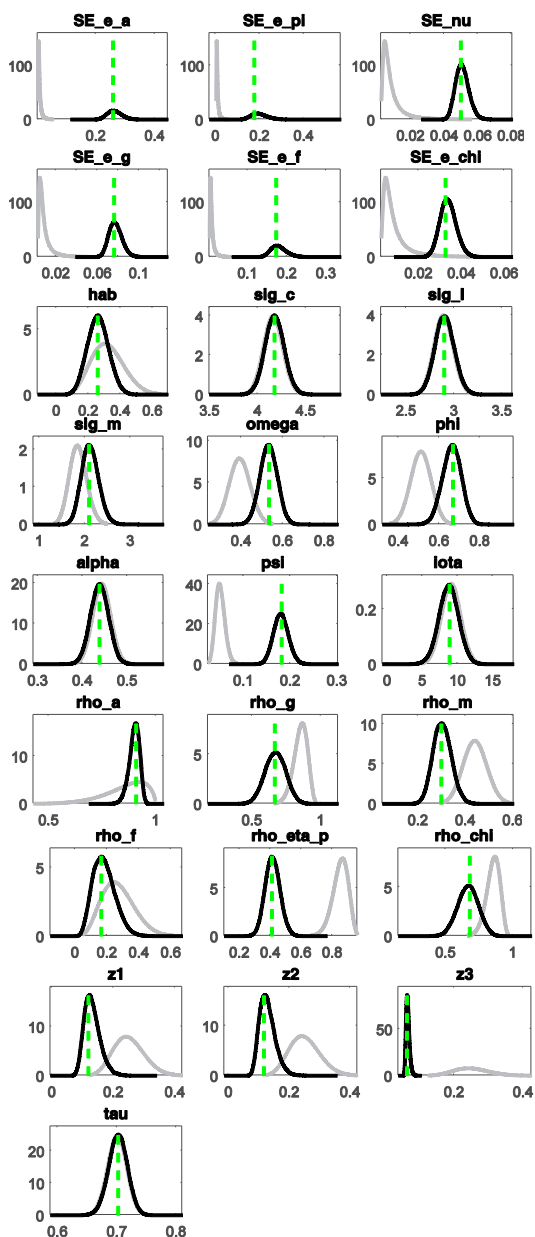
شکل ۱: توزیع پیشین و پسین پارامترهای مدل هایبرید



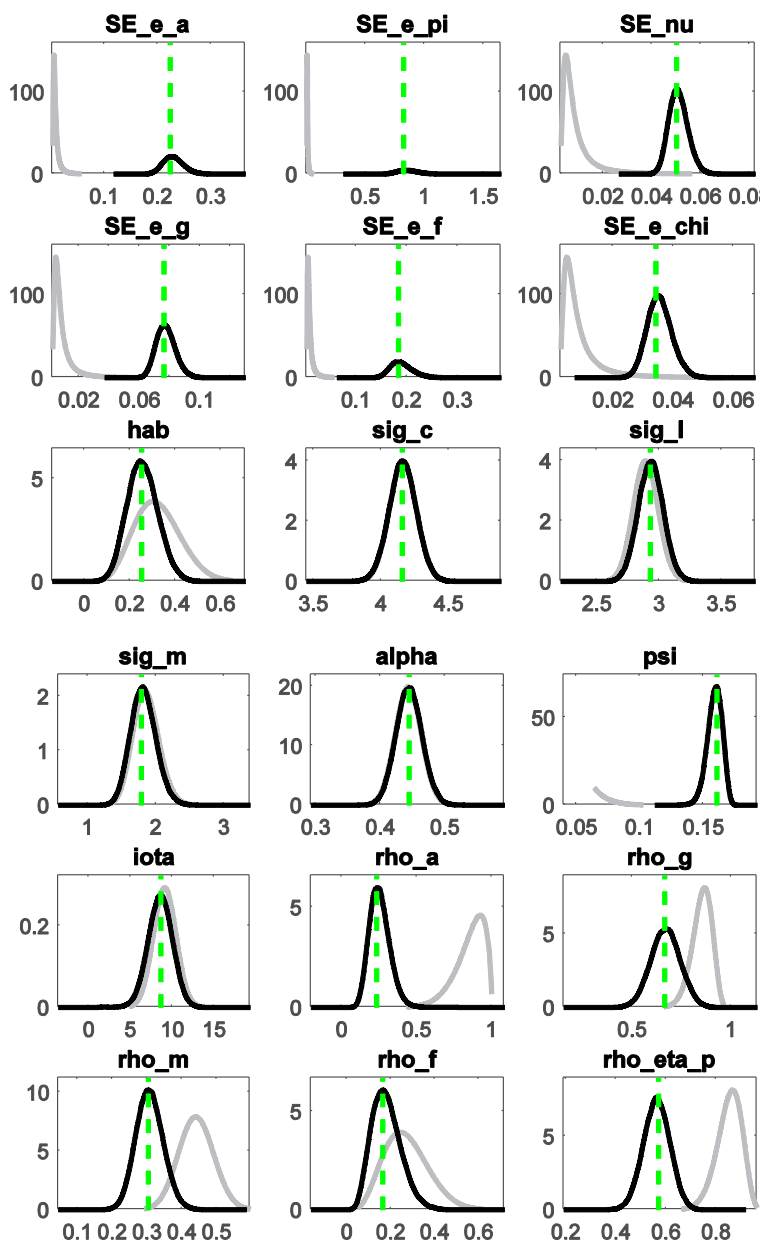
شکل ۲: توزیع پیشین و پسین پارامترهای مدل اطلاعات چسبنده



شکل ۳: توزیع پیشین و پسین پارامترهای مدل چسبندگی دوگانه

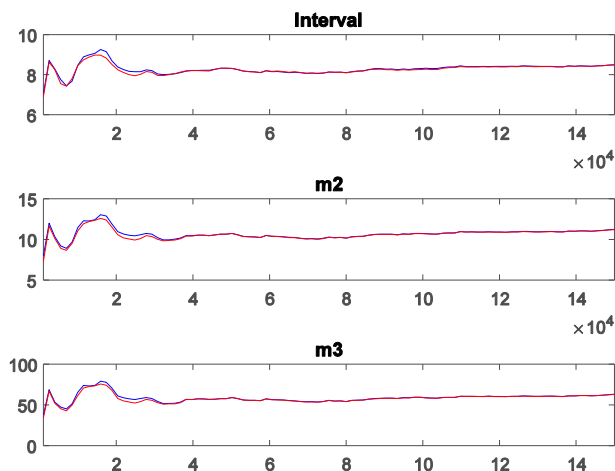


شکل ۴: توزیع پیشین و پسین پارامترهای مدل چندبخشی



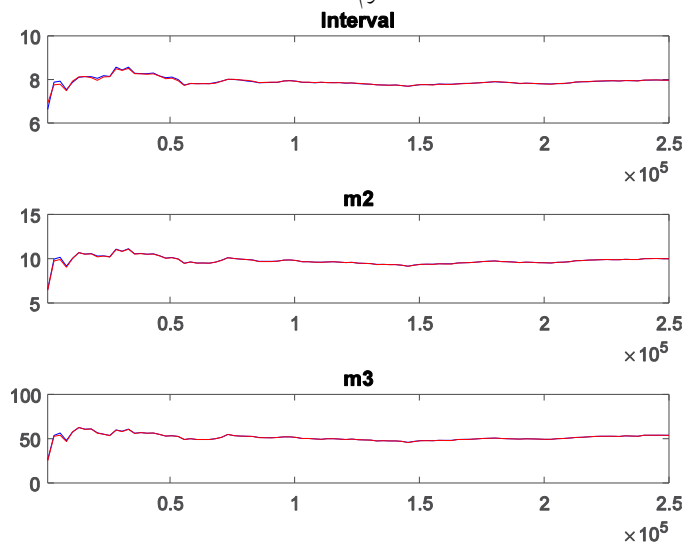
شکل ۵پ: توزیع پیشین و پسین پارامترهای مدل کالوو تعمیم یافته

پیوست ۲: آزمون تشخیصی زنجیره مونت کارلو مارکوف (MCMC) چندمتغیره

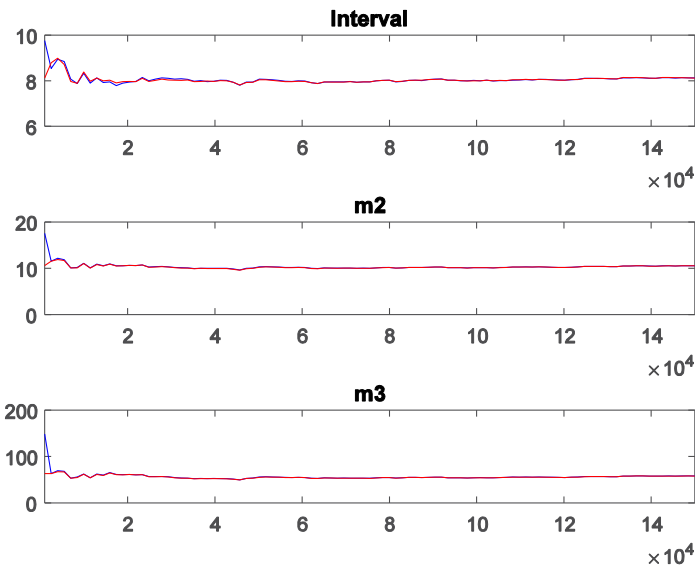


شکل ۶: آزمون همگرایی بوروکز و گلن در مدل هایپرید

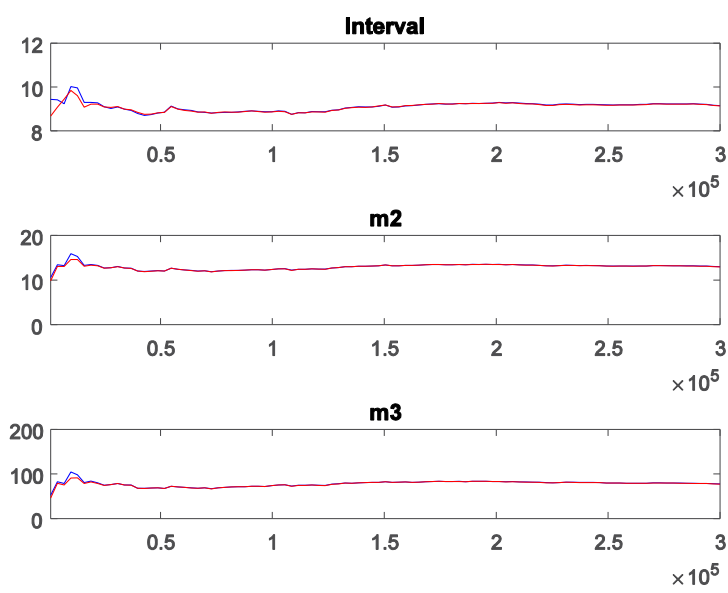
توضیح: خط آبی و قرمز به ترتیب نشان دهنده گشتاور مورد نظر بین زنجیره‌های و درون زنجیره‌ای است. اندازه «Interval» با استفاده از فواصل اطمینان ۸۰ درصد حول میانگین محاسبه می‌شود. «m۲» و «m۳» به ترتیب مبنی بر واریانس و گشتاور مرتبه سوم هستند.



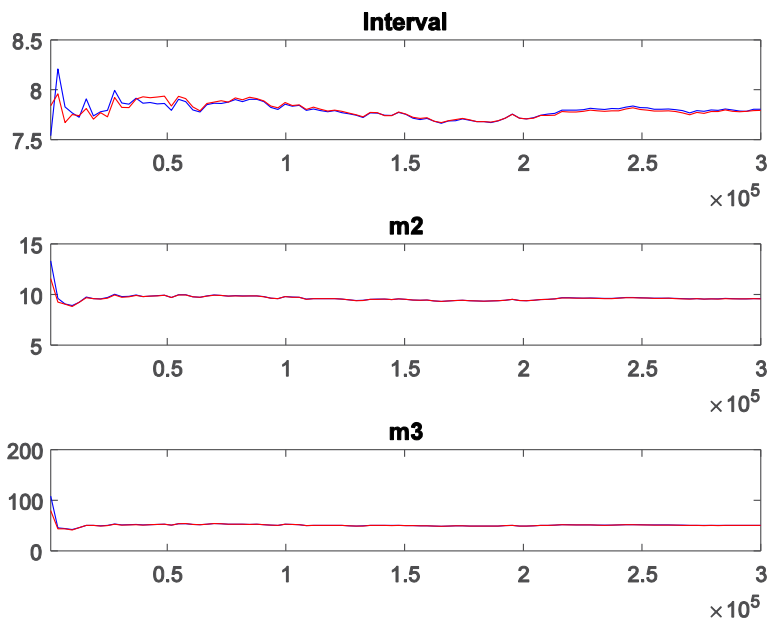
شکل ۷: آزمون همگرایی بوروکز و گلن در مدل اطلاعات چسبده



شکل ۸: آزمون همگرایی بوروکز و کلمن در مدل چسبندگی دوگانه



شکل ۹: آزمون همگرایی بوروکز و کلمن در مدل چندبخشی



شکل ۱۰: آزمون همگرایی بوروکز و گلن در مدل کالوو تعمیم یافته

نحوه ارجاع به مقاله:

همتی، مریم (۱۴۰۱). مقایسه تطبیقی منحنی فیلیپس تحت چسبندگی دوگانه با منحنی‌های فیلیپس با لحاظ ناهمگنی در اقتصاد ایران. نشریه برنامه‌ریزی و بودجه، ۲۷(۳)، ۷۴-۲۷.

Hemati, M. (2022). Comparative Study of Phillips Curve under Dual-stickiness Model Considering Heterogeneity in Iran's Economy. *Planning and Budgeting*, 27(3), 27-74.

DOI: <https://doi.org/10.52547/jpbud.27.3.27>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



انتخاب قاعده مالی برای دولت با هدف کاهش آثار منفی تحریم نفتی بر متغیرهای منتخب اقتصاد کلان در ایران: کاربردی از مدل تطبیق روانه انباره

maghsoudpour@uk.ac.ir | محمد علی مقصودپور

دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

مصطفی سلیمی فر | mostafa@um.ac.ir

استاد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران (نویسنده مسئول).

n.salehnia@um.ac.ir | نرگس صالح‌نیا

دانشیار، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

مقاله پژوهشی

يذيرش: ١٤٠١/٠٩/٢٦

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵

چکیده: قواعد مالی می‌توانند با منظم ساختن روابط مالی بخش عمومی، از نوسان‌ها و تلاطم‌های بودجه‌ای جلوگیری کنند. این پژوهش برای انتخاب قاعده مالی، چهار قاعده مالی را در چارچوب مدل تطبیق روانه انباره تحلیل می‌کند. این قواعد عبارت‌اند از: مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی، کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی، بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی، و بودجه متوازن. نتایج شبیه‌سازی مدل پژوهش برای دوره زمانی ۵۰ ساله (۱۴۴۰-۱۳۹۰) نشان می‌دهد که انتخاب قاعده مالی بسته به اهداف دولت، افق زمانی مورد نظر، و شرایط حاکم بر اقتصاد می‌تواند متفاوت باشد. از میان قواعد مورد بررسی، قاعده مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی در شرایط تحریم نفتی بهینه است و آثار منفی تحریم نفت بر متغیرهای اقتصاد کلان منتخب مدل را کاهش می‌دهد. با توجه به اهمیت انتخاب قاعده مالی متناسب با تغییر شرایط اقتصادی مانند تحریم نفتی، پیشنهاد می‌گردد که قواعد مالی متناسب با شرایط اقتصاد کشور و اهداف سیاست‌گذار طراحی گردد و با تغییر شرایط اقتصادی یا تغییر در اولویت اهداف، بازنگری شود و در صورت لزوم تغییر کند.

کلیدواژه‌ها: تحریم نفتی، قواعد مالی، کسری بودجه دولت، ماتریس ترازنامه، ماتریس تراکنش‌ها، مدل تطبیق روانه انبار.

طبقه بندی JEL: E27, E6, G38, H3.

مقدمه

نوسان قیمت نفت و وابستگی زیاد بودجه به درآمدهای نفتی، عوارض زیادی برای اقتصادهای نفت خیز داشته است که رشد پرنوسان و غالباً کم، آسیب پذیری زیاد نسبت به شوک های بیرونی، و تنوع کم اقتصادی از جمله این عوارض به شمار می روند (مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۴). در کنار راهکارهای مختلف برای متنوع سازی اقتصادها و کاهش وابستگی به نفت، به منظور کنترل نوسان ها و عوارض مختلف اتکا به درآمدهای نفتی، در سال های اخیر استفاده از قواعد و چارچوب های خاصی تحت عنوان قواعد مالی توسعه داده شده است. استفاده از این قواعد مالی، علاوه بر منظم ساختن روابط مالی بخش عمومی، از نوسان ها و تلاطم های بودجه ای جلوگیری می کند و می تواند با ایجاد انعطاف مالی بیش تر برای دولت، در پیاده سازی سیاست های اقتصادی موثر واقع شود. استفاده از قواعد مالی طی دو دهه گذشته در نظام بودجه ریزی کشورها مورد توجه سیاستگذاران و پژوهشگران قرار گرفته است، به طوری که گزارش صندوق بین المللی پول نشان می دهد، در حالی که در سال ۱۹۸۵ فقط نه کشور از قواعد مالی در نظام بودجه ریزی خود استفاده می کردند، این تعداد در سال ۲۰۱۵ به ۹۶ کشور و تا پایان سال ۲۰۲۱ به ۱۰۵ کشور افزایش یافته است که کشورهای پیشرفته در این زمینه پیشتاز بوده اند. اقتصادهای نوپا در رتبه بعدی قرار دارند، اما فقط معدودی از کشورهای کم درآمد از این قواعد استفاده می کنند (Davoodi et al., 2022). هدف اصلی از ایجاد این قواعد کنترل کسری بودجه، جلوگیری از افراط در هزینه ها به ویژه در دوران رونق، خاصیت ضد چرخه ای بودن، کنترل شوک های قیمتی ناشی از نوسان در منابع طبیعی از جمله نفت، و ایجاد توازن بین نسلی است. قواعد مالی تا قبل از بحران مالی سال ۲۰۰۹ بسیار ساده و انعطاف پذیر بودند و تاکید کمی بر قابلیت اجرا وجود داشت، اما بعد از بحران مالی، قواعدی در اتحادیه اروپا معرفی شده اند که قابلیت اجرا، انعطاف پذیری، و عملیاتی بودن را دارند (Tavakolian et al., 2020).

قاعده مالی به قاعده ای گفته می شود که یک قید بلندمدت را از طریق محدودیتی کمی بر ارقام بودجه ای وضع می کند. به این ترتیب، سیاست مالی در چارچوب اعداد و ارقامی شکل داده می شود که به راحتی قابل انحراف یا تلاطم نیستند. به طوری که اتخاذ قواعد مالی، فضای اندکی برای سیاستگذاری مصلحتی مقام های پولی و مالی باقی خواهد گذاشت و بهترین حافظ در مقابل فشارها برای تامین مالی پولی دولت خواهد بود (Davoodi et al., 2022). در اقتصاد ایران، موضوع اصلاح ساختاری بودجه همواره یکی از مباحث اصلی اقتصادی به شمار می آید، اما بی توجهی به تعیین قواعد مالی باعث شده که این اصلاحات نتواند به اهداف مورد نظر خود دست یابد و تنها قاعده مالی اقتصاد ایران، که واریز

بخشی از درآمدهای نفتی به صندوق توسعه ملی است، به دلیل صلاح‌دیدی عمل کردن در طول سال‌های اخیر از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده است.

بکارگیری قواعد مالی توسط دولت ابعاد مختلفی دارد و هر کدام از مطالعات انجام‌شده جنبه خاصی از آن را بررسی کرده است. اما انتخاب قاعده مالی متناسب با اهداف دولت و تغییر شرایط اقتصادی از جمله در شرایط تحریمی، به گونه‌ای که قاعده مالی بتواند آثار منفی تحریم نفتی را بر متغیرهای کلان اقتصادی کاهش دهد، به عنوان شکاف در ادبیات تجربی قواعد مالی مطرح است که تاکنون در مطالعات پیشین پاسخی برای این شکاف مشاهده نشده است. همچنین، شکاف دیگر در روش‌های مدلسازی است. در این پژوهش، برای نخستین بار از مدل‌های تطبیق روانه انباره، که امکان اتصال جنبه‌های واقعی و مالی اقتصاد را در چارچوبی منسجم و یکپارچه فراهم می‌کنند، برای مدلسازی و انتخاب قاعده مالی در ایران استفاده شده است. انتخاب این روش مدلسازی، این امکان را فراهم می‌کند که سناریوهای مختلف قواعد مالی در مدل انتخاب شوند و با شبیه‌سازی مدل در سناریوهای مختلف برای یک افق زمانی بلندمدت و مقایسه آن‌ها، قاعده مالی مناسب در شرایط تحریم نفتی انتخاب گردد. بنابراین، سهم پژوهش حاضر در پیشبرد ادبیات تجربی قواعد مالی این است که با تجزیه و تحلیل چهار قاعده مختلف مالی و پاسخ آن‌ها به شوک‌های نامطلوب تحریم نفت در یک مدل تطبیق روانه انباره، نشان دهد که یک قاعده بهینه مالی برای دولت چگونه باید انتخاب شود. سهم دیگر این پژوهش در بکارگیری روش جدید و متفاوتی از مدلسازی اقتصاد کلان برای مقایسه و انتخاب قاعده مالی است.

بنابراین، پرسش این پژوهش به این صورت مطرح می‌شود که آیا تغییر شرایط اقتصادی، مانند وضع تحریم نفتی، بر انتخاب قاعده مالی مناسب برای دولت اثرگذار است و آیا می‌توان روشی از مدلسازی اقتصادی را معرفی کرد که انتخاب قاعده مالی را در شرایط مختلف و متناسب با اهداف دولت امکان‌پذیر کند؟

مبانی نظری پژوهش

در سه دهه اخیر، طیف وسیعی از نوآوری‌های نهادی و مالی شامل قواعد مالی و چارچوب‌های بودجه میان‌مدت در سراسر دنیا به وجود آمده‌اند تا از سیاست‌های مالی متعادل و محتاطانه‌تر پشتیبانی کنند. افزایش استفاده از قواعد مالی منعکس‌کننده نگرانی‌ها در مورد به اصطلاح «سوءگیری

کسری» در سیاست مالی است که ناشی از کوتاه‌نظری دولت‌ها^۱ و مشکل استخر مشترک^۲ است (Altunbaş & Thornton, 2019). کوتاه‌نظری دولت می‌تواند ناشی از نگرانی‌های حزب حاکم در مورد چشم‌انداز انتخابات باشد که ممکن است به نبود توجه کافی به الزامات بودجه بلندمدت منجر شود (Persson & Svensson, 1989)، یا این که دولت‌ها فرصت‌طلبانه هزینه‌ها را افزایش یا مالیات‌ها را کاهش دهند تا چشم‌انداز خود را برای انتخاب مجدد بیفزایند (Rogoff, 1987). همچنین، ممکن است حزب حاکم زمانی که احتمال انتخاب مجدد خود را پایین بداند، عمداً سطح بدهی عمومی را افزایش دهد تا فضای مانور دولت‌های آینده در سیاست‌های مالی محدود شود (Alesina & Tabellini, 1988). مشکل استخر مشترک به دلیل تاثیر گروه‌های ذی‌نفوذ در جریان تهیه و تنظیم بودجه رخ می‌دهد. گروه‌های ذی‌نفوذ به گروه‌هایی اطلاق می‌شود که هدف و مقصود مشترکی را دنبال می‌کنند و از نفوذ و قدرت مسلطی در یک زمینه خاص برخوردارند. البته هر سازمان یا گروهی ممکن است در موقعیت‌های خاص، حالت گروه ذی‌نفوذ را به خود بگیرد، اما منظور از گروه در این جا گروه‌ها و تشکلهایی هستند که با نفوذ در خط‌مشی‌گذاری، آثار تعیین‌کننده و جهت‌دهنده‌ای بر جای می‌گذارند. به‌طور کلی، گروه ذی‌نفوذ به گروهی اطلاق می‌شود که هدف اصلی آن (صرف نظر از هدف مدون و قانونی) اثرگذاری بر فراگرد خط‌مشی‌گذاری عمومی باشد و در این راه، منافع و اهداف خود را مد نظر داشته باشد (Alvani et al., 2012).

یکی از راه‌های کاهش سوءگیری کسری مالی، اتخاذ قواعد مالی است. قاعده مالی یک محدودیت بلندمدت در سیاست مالی از طریق محدودیت‌های عددی در مجموع بودجه است که محدودیت‌های الزام‌آوری را بر اجرای سیاست‌های مالی تحمیل می‌کند. این کار شامل تعیین هدف عددی در یک دوره زمانی برای هدایت سیاست مالی، و مشخص کردن شاخص مالی عملیاتی خلاصه است که این قاعده در مورد آن اعمال می‌شود (Kopits & Symansky, 1998). در عمل، کشورهایی که قواعد مالی را اتخاذ می‌کنند، معمولاً قواعدی را برمی‌گزینند که ارتباط نزدیکی با پایداری بدهی و معیارهای تراز بودجه دارند: مانند محدودیت صریح یا هدف برای بدهی عمومی، محدودیت در مخارج اولیه یا جاری دولت یا حداقل سطح درآمدهای دولت با هدف افزایش جمع‌آوری درآمد یا جلوگیری از بار مالیاتی بیش از حد (Altunbaş & Thornton, 2019). بدون محدودیت‌های کلی، بودجه‌ریزی افزایشی می‌تواند به فرایندی بی‌پایان تبدیل شود که در آن دولت‌ها با صرف هزینه‌هایی بیش‌تر از آنچه که

1. Governments' Short-Sightedness
2. Common Pool Problem

دارند، خواسته‌ها را برآورده می‌کنند. قاعده مالی دو ویژگی اساسی دارد: اول این که محدودیتی را ارائه می‌دهد که تصمیم‌های سیاسی اتخاذشده توسط قوه مقننه و مجریه را مقید می‌کند و دوم، به عنوان یک شاخص مشخص از مدیریت مالی قوه مجریه عمل می‌کند.

بیش‌تر قواعد مالی به شکل سقف‌های کل مانند کسری، بدهی عمومی یا مخارج عمومی هستند، اما جزئیات اجزای بودجه را مشخص نمی‌کنند. یکی از مشکلات این است که قواعد مالی سیاست‌های دولت را محدود می‌کند، اما نباید انتخاب‌های دموکراتیک را محدود کند. آن‌ها باید به تصحیح سوءگیری‌های شناسایی‌شده کسری و نارسایی‌های هماهنگی در فرایند تصمیم‌گیری پیچیده کمک کنند، اما نباید به عنوان یک محدودیت دیوان‌سالارانه [= بوروکراتیک] برای مردم‌سالاری [= دموکراسی] ظاهر شوند. همچنین، باید توجه داشت در حالی که قوانین مالی می‌تواند به دولت‌ها برای دستیابی به اهداف و انضباط مالی کمک کند، هیچ قاعده یکسانی برای همه کشورها وجود ندارد. قواعد مالی را می‌توان بر اساس هدفگذاری قیود و نقطه تاثیر آن‌ها تقسیم‌بندی کرد. یک نوع تقسیم‌بندی رایج این قواعد که صندوق بین‌المللی پول از آن استفاده می‌کند، با توجه به اهداف، راهنمای عملیاتی، و میزان شفافیت قواعد مالی صورت می‌گیرد. بر اساس این، قواعد مالی به پنج دسته مختلف قواعد بدهی، قواعد تعادل بودجه‌ای، قواعد تعادل ساختاری بودجه‌ای، قواعد مخارج، و قواعد درآمد قابل تقسیم‌بندی هستند (Schaechter et al., 2012).

قواعد بدهی محدودیت یا هدف مشخصی را برای بدهی عمومی برحسب درصد تولید ناخالص داخلی تعیین می‌کند. این نوع قاعده، طبق تعریف، از نظر اطمینان از همگرایی به هدف بدهی موثرترین است و ارتباط نسبتاً آسانی دارد. با این حال، سطوح بدهی زمان می‌برد تا تحت تاثیر اقدامات بودجه‌ای قرار گیرد. بنابراین، راهنمایی کوتاه‌مدتِ روشنی برای سیاستگذاران ارائه نمی‌دهد. بدهی همچنین می‌تواند تحت تاثیر تحولات خارج از کنترل دولت باشد، مانند تغییرات در نرخ بهره و نرخ ارز، که نیاز به تعدیل‌های مالی غیرواقعی بزرگ دارد. علاوه بر این، زمانی که اقتصاد تحت تاثیر شوک است و هدف بدهی، که به عنوان نسبتی از تولید ناخالص داخلی تعریف می‌شود، الزام‌آور است، سیاست مالی ممکن است موافق چرخه‌ای شود. از سوی دیگر، زمانی که بدهی بسیار کم‌تر از سقف آن است، چنین قاعده‌ای هیچ راهنمای الزام‌آوری ارائه نمی‌دهد.

قواعد تراز بودجه متغیری را که عمدتاً بر نسبت بدهی تاثیر می‌گذارد و عمدتاً تحت کنترل سیاستگذاران است، محدود می‌کند. بنابراین، چنین قواعدی راهنمایی عملیاتی روشنی ارائه می‌دهند و می‌توانند به تضمین پایداری بدهی کمک کنند. قواعد تراز بودجه را می‌توان به عنوان تراز کلی

بودجه و تراز ساختاری یا چرخه‌ای تعدیل شده بودجه مشخص کرد. در حالی که قاعده‌های نوع اول دارای ویژگی‌های تثبیت‌کننده اقتصادی نیستند، قاعده دیگر به‌صراحت شوک‌های اقتصادی را توضیح می‌دهد.

قواعد مخارج محدودیت‌هایی را برای مخارج کل، اولیه یا جاری تعیین می‌کند. چنین محدودیت‌هایی معمولاً به صورت مطلق یا نرخ رشد و گاهی اوقات برحسب درصد تولید ناخالص داخلی با افق زمانی بین سه تا پنج سال تعیین می‌شوند. این قواعد مستقیماً با هدف پایداری بدهی مرتبط نیستند، زیرا بخش درآمد را محدود نمی‌کنند. با این حال، آن‌ها می‌توانند ابزاری عملیاتی برای ایجاد یکپارچگی مالی مورد نیاز منطبق با پایداری، زمانی که با قواعد بدهی یا تراز بودجه همراه باشند، فراهم کنند. علاوه بر این، آن‌ها می‌توانند هزینه‌ها را در طول دوره‌های رونق موقت محدود کنند، زمانی که درآمدهای بادآورده به‌طور موقت بالا هستند و محدودیت‌های کسری سرفصل به‌راحتی قابل‌رعایت است. علاوه بر این، قواعد مخارج عملکرد تثبیت اقتصادی، سیاست مالی را در زمان شوک‌های نامطلوب محدود نمی‌کند، زیرا نیازی به تعدیل کاهش دوره‌ای یا اختیاری در درآمدهای مالیاتی ندارد. حتی با حذف اقلام مخارج حساس به دوره‌ای، مانند حمایت از بیکاری، می‌توان به سیاست ضدچرخه‌ای بیش‌تر دست یافت، البته به قیمت ایجاد فاصله بیش‌تر با هدف پایداری. همچنین، قواعد مخارج با محرک‌های مالی اختیاری سازگار نیست. با این حال، سقف‌های مخارج به‌طور مستقیم میزان منابع عمومی مصرف‌شده توسط دولت را مشخص می‌کند و به‌طور کلی ارتباط و نظارت نسبتاً آسان است.

قواعد درآمدی سقف یا کفی را برای درآمدها تعیین می‌کند و هدف آن افزایش جمع‌آوری درآمد یا جلوگیری از بار مالیاتی بیش از حد است. بسیاری از این قواعد مستقیماً با کنترل بدهی عمومی مرتبط نیستند، زیرا هزینه‌ها را محدود نمی‌کنند. علاوه بر این، تعیین سقف یا کف برای درآمدها می‌تواند چالش‌برانگیز باشد، زیرا درآمدها ممکن است دارای اجزای چرخه‌ای بزرگی باشند که به‌طور گسترده با چرخه تجاری در نوسان هستند. **جدول (۱)**، خلاصه مزایا و معایب قواعد مالی مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مزایا و معایب قواعد مالی مختلف (Schaechter et al., 2012)

نوع قاعده	مزایا	معایب
قواعد بدهی	ارتباط مستقیم با ثبات سازی بدهی ها، اعمال و کنترل آسان	- نبود راهنمای عملیاتی واضح در اجرای کوتاه مدت، زمانی که تاثیر سیاست بر نرخ بدهی سریع و محدود نباشد. - نبود ویژگی ثبات ساز اقتصادی (این قواعد ممکن است موافق چرخه های درآمدی نیز باشند). - ممکن است تحت تاثیر نیروهای خارج از کنترل دولت قرار بگیرد.
قواعد تعادل بودجه ای	راهنمای عملیاتی واضح، ارتباط نزدیک با ثبات بدهی، اعمال و کنترل آسان	- این قواعد ممکن است موافق چرخه های درآمدی نیز باشند. - ممکن است تحت تاثیر نیروهای خارج از کنترل دولت قرار بگیرد (برای مثال یک رکود اقتصادی بزرگ).
قواعد تعادل ساختاری بودجه ای	راهنمای عملیاتی نسبتاً واضح، ارتباط نزدیک با ثبات بدهی، دارای ویژگی ثبات سازی اقتصادی (در مقابل شوک های اقتصادی)، به حساب آوردن عوامل یکباره یا موقتی را امکان پذیر می کند.	- تصحیح دوره ای، به ویژه برای کشورهایی که با تغییرات ساختاری مواجه هستند پیچیده است. - وجود پیش تعریفی از عوامل موقت یا یکباره برای پیشگیری استفاده احتیاطی از آن ها لازم است. - پیچیدگی این دسته از قواعد، اعمال و کنترل آن را دشوار می سازد.
قواعد مخارج	راهنمای عملیاتی واضح، امکان ثبات سازی اقتصادی، کنترل و هدایت اندازه دولت، اعمال و کنترل آسان	- از آن جایی که محدودیتی در بخش درآمد وجود ندارد، مستقیماً با ثبات بدهی مرتبط نیستند. - امکان تغییر در نوع توزیع هزینه ها و تغییرات در طبقات هزینه ای برای رسیدن رعایت سقف های مخارج.
قواعد درآمدی	کنترل و هدایت اندازه دولت، بهبود مدیریت و سیاست گذاری درآمدی می تواند از مخارج موافق چرخه ای جلوگیری کند (قواعدی که استفاده از درآمدهای مقطعی را محدود می کنند).	- مستقیماً با ثبات بدهی مرتبط نیستند (به استثنای قواعدی که استفاده از درآمدهای مقطعی را محدود می کنند). - نبود ویژگی های ثبات ساز اقتصادی (ممکن است موافق چرخه باشد).

بسیاری از کشورها دو یا چند قاعده مالی را ترکیب می کنند. همه انواع قواعد مالی برای حمایت از پایداری، تثبیت اقتصادی و احتمالاً اندازه اهداف دولت، حتی زمانی که ویژگی های طراحی آن به خوبی تنظیم شده باشد، به یک اندازه مناسب نیستند. استفاده از ترکیبی از قواعد مالی می تواند به رفع شکاف ها کمک کند. برای مثال، یک قاعده بدهی همراه با یک قاعده مخارج، پیوندی با پایداری بدهی

ایجاد می‌کند و در عین حال به سیاستگذاران در تصمیم‌گیری‌های عملیاتی کوتاه‌مدت تا میان‌مدت کمک می‌کند، اجازه می‌دهد تا حدی سیاست ضدچرخه‌ای داشته باشد و صراحتاً اندازه دولت را هدف قرار می‌دهد. این امر می‌تواند به‌طور مشابه از طریق ترکیبی از بدهی و قاعده تعادل بودجه تنظیم‌شده به صورت دوره‌ای به‌دست آید.

پیشینه پژوهش

لیپر و همکاران^۱ (۲۰۱۰)، الگوی تعادل عمومی پویای تصادفی (DSGE)^۲ را برای اقتصاد آمریکا طراحی نمودند که شامل قواعد سیاستی برای مخارج دولت، پرداخت‌های انتقالی و مالیات‌های سرمایه، مصرف و درآمد بوده است. به عقیده نویسندگان، سیاست‌های مالی باید از قواعدی پیروی کنند که سه ویژگی اصلی داشته باشند: نخست باید دارای اجزای تثبیت‌کننده خودکار باشند تا تغییرات حرکت متغیرهای مالی را موثر سازند. این ویژگی به صورت واکنش آنی به انحرافات تولید از سطح پایدار لحاظ شده است. دوم، تمام ابزارها و قواعد مجازند به وضعیت بدهی دولت پاسخ دهند. سوم، تغییر در نرخ مالیات باید به صورت همزمان بر نرخ‌های دیگر هم اثر داشته باشد. بدین ترتیب، قواعد مالی بر مالیات‌ها و پرداخت‌های انتقالی اعمال می‌شود. **جالس**^۳ (۲۰۱۸)، با استفاده از روش پنل و داده‌های سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۸۰ تاثیر قواعد مالی بر رفتار ادواری سیاست مالی را در ۶۰ کشور مورد پژوهش قرار داد. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که سیاست مالی ضدچرخه‌ای است و در طی زمان افزایش می‌یابد و در اقتصادهای پیشرفته بزرگ‌تر است. همچنین قواعد مالی، درجه ضدادواری سیاست مالی را در اقتصادهای پیشرفته کاهش می‌دهد. **برنالد و ترزد**^۴ (۲۰۱۹)، قیمت کالا و طراحی سیاست مالی را با وجود قواعد مالی در قالب مدل عاملی پویا تجزیه و تحلیل می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که برخلاف نظریه‌های رایج، با اجرای قاعده مالی، سیاست مالی در ارتباط با قیمت کالا موافق ادواری است و بدین وسیله سیاست مالی، نوسانات قیمت کالاها را در اقتصاد داخلی تشدید می‌کند. **اوموتوشو**^۵ (۲۰۲۲)، سیاست پولی را در یک اقتصاد کوچک باز صادرکننده نفت، با تمرکز بر نقش سرمایه مالی و شدت نفتی تولید داخلی و بر اساس مدل DSGE مطالعه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که شوک منفی قیمت نفت تولید داخلی را منقبض می‌کند، تورم داخلی را کاهش می‌دهد،

1. Leeper *et al.*
2. Dynamic Stochastic General Equilibrium
3. Jalles
4. Bjørnland & Thorsrud
5. Omotosho

نرخ ارز را کاهش می‌دهد، تورم تولیدکننده را افزایش می‌دهد و باعث انقباض سیاست پولی می‌شود. نکته قابل توجهی که نتایج نشان می‌دهد این است که ورود سرمایه به اقتصاد در مدل، واکنش‌های تولید و تورم را به شوک قیمت نفت تعدیل می‌کند.

بهرامی و رافعی (۲۰۱۴)، با بکارگیری یک مدل تعادل عمومی تصادفی کینزی برای اقتصاد ایران به بررسی اثر تکانه‌های تصادفی بر متغیرهای اقتصاد کلان در حضور انواع مختلف قواعد واکنش مالی می‌پردازند. در این پژوهش پاسخ متغیرهای مزبور به تکانه‌های تصادفی در سناریوهایی که در آن دولت هیچ‌گونه واکنش سیاستی اعمال نمی‌کند با دیگر سناریوهای بدیل، هنگامی که دولت به صورت ضدادواری و از طریق قواعد مالی واکنش نشان می‌دهد، مقایسه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که انحراف متغیرها از وضعیتِ ثابت‌شان، زمانی که دولت سیاست فعال اتخاذ می‌کند، کم‌تر است. **قاسمی و مهاجری (۲۰۱۵)**، قواعد مالی مناسب را برای سیاست‌گذاری مالی در ایران ارزیابی می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که حساب ذخیره ارزی، صندوق توسعه ملی و هدفگذاری کسری تراز عملیاتی از مهم‌ترین قواعد مالی طراحی شده در ایران هستند، اما در عمل نتوانسته‌اند محدودیت عملیاتی برای دولت در استفاده منابع حاصل از صادرات نفت ایجاد کنند. همچنین، در این پژوهش سه قاعده مالی برای کشور پیشنهاد می‌شود که عبارت‌اند از: تعیین سقف کسری بودجه بدون نفت و کاهش سالانه آن، تعیین سقف استفاده ریالی از منابع حاصل از نفت در بودجه و میزان تغییرات سالانه آن و مرتبط کردن میزان افزایش هزینه‌ها با مقدار افزایش درآمدهای غیرنفتی. پژوهش **فرهادی و همکاران (۲۰۱۹)** با استفاده از مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، که شامل خانوارهایی با افق برنامه‌ریزی نامحدود، بنگاه تولیدکننده کالای نهایی، بنگاه‌های تولیدکننده کالای واسطه‌ای، دولت - مقام پولی، بخش نفت و صندوق توسعه ملی است، به سناریوسازی در دو حالت اعمال قاعده مالی ضدادواری و عدم اجرای آن پرداخته است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در مورد تکانه نفتی، قاعده مالی ضدادواری مبتنی بر درآمدهای نفتی، شدت نوسانات متغیرهای کلان اقتصادی را در مقایسه با نبود قاعده مالی، کاهش داده است. همچنین، در مورد تکانه پولی، تفاوت محسوسی در اثرگذاری اجرای قاعده مالی نسبت به عدم اجرای آن مشاهده نشده است. **توکلیان و همکاران (۲۰۲۰)**، با استفاده از الگوی تعادل عمومی پویای تصادفی، با در نظر گرفتن خانوار ریکاردویی و غیرریکاردویی و مدلسازی بخش نفت به صورت مجزا در سه سناریوی پایه، قواعد مالی درآمدی و قاعده تراز بودجه به بررسی قاعده مناسب برای اقتصاد ایران پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که قاعده تراز بودجه می‌تواند با توجه به ساختار اقتصاد ایران به عنوان یک کشور صادرکننده نفت از عملکرد بهتری برخوردار باشد و تابع زبان سیاستگذار را کمینه کند.

روش‌شناسی پژوهش

تصریح مدل

مدل‌های اقتصاد کلان تطبیق روانه انباره (SFC)^۱ بر جنبه مالی سیستم اقتصادی و بر وابستگی‌های متقابلی که ترازنامه‌های بخش‌های نهادهی مختلف را به معاملات واقعی آن‌ها متصل می‌کند، تمرکز می‌کنند. این رویکرد در کارهای پیشگامانه گادلی و لاووی^۲ در دهه ۱۹۷۰ پایه‌گذاری شد و پس از انتشار کتاب «اقتصاد پولی: رویکردی یکپارچه به اعتبار، پول، درآمد، تولید و ثروت»^۳ (Godley & Lavoie, 2006) که اصول اولیه مدل‌سازی SFC و بررسی جنبه‌های مختلف اقتصاد کلان، مانند مدل‌های اقتصاد باز، سیستم‌های مالی واقعی و رشد را معرفی می‌کند، گسترش یافت و توسط تعداد زیادی از اقتصاددانان پذیرفته شد. این مدل در پیش‌بینی رکود اقتصادی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۷ موفق بود و امروزه برای پرداختن به موضوع‌های مالی و توزیع درآمد اقتصاد کشورهای مختلف گسترش یافته است که می‌توان به مطالعات نیکی‌فارس و ززا^۴ (۲۰۱۸) برای اقتصاد آمریکا، پاپادیمیتریو و همکاران^۵ (۲۰۱۳؛ ۲۰۱۶) برای اقتصاد یونان، برگس و همکاران^۶ (۲۰۱۶) برای اقتصاد انگلستان، ززا (۲۰۱۸) برای اقتصاد ایتالیا، و بریالس و رضا^۷ (۲۰۲۰) برای اقتصاد دانمارک اشاره کرد. همچنین این مدل امروزه در هسته اصلی پژوهش‌های اقتصاد اکولوژی قرار گرفته است (Dafermos et al., 2017; Mercure et al., 2018; Dunz et al., 2021).

مدلسازی با رویکرد تطبیق روانه انباره شامل سه مرحله است که مرحله یکم ساخت ماتریس ترازنامه^۸ است. در این پژوهش، اقتصاد به سه بخش کلی بخش خصوصی داخلی (شامل بنگاه‌ها و خانوارها)، بخش عمومی داخلی که شامل دولت و بانک مرکزی است و بخش خارجی تقسیم شده است. معیار اصلی مدلسازی در این پژوهش، توانایی مدل برای نشان دادن اصول اساسی مدلسازی

1. Stock Flow Consistent Model
2. Godley & Lavoie
3. Monetary Economics: An Integrated Approach to Credit, Money, Income, Production and Wealth
4. Nikiforos & Zezza
5. Papadimitriou et al.
6. Burgess et al.
7. Byrialsen & Raza
8. Balance Sheet Matrix

SFC است. در این راستا، برخی ساده‌سازی‌های مهم اقتصادی برای وضوح و درک مطلب در مدل ایجاد شده است. بدین منظور اقتصادی فرض می‌شود که فقط کالاها و خدمات مصرفی غیربادوام تولید می‌کند و در آن کل تولید در همان دوره مصرف می‌شود. با این حال، مفروضات ساده‌کننده دیگری نیز وجود دارد. برای مثال، دستمزد و قیمت مدلسازی نمی‌شود و همچنین تورم حذف می‌شود. فرض دیگر مدل این است که بنگاه‌ها واحدهای تولیدی خالصی هستند که در اختیار خانوارها قرار دارند و بنابراین دارایی ندارند. همچنین، نقش مالی واسطه‌ای بانک‌های تجاری که معمولاً توسط مدل‌های استاندارد SFC در نظر گرفته می‌شود، نادیده گرفته شده است.^۱

در ماتریس ترازنامه این پژوهش، دارایی‌ها در سه دسته کلی پول نقد، اوراق مشارکت دولتی که در اختیار خانوارها هستند، و ذخایر خارجی که در اختیار بانک مرکزی است، قرار می‌گیرند. دارایی با علامت (+) و بدهی با علامت (-) نشان داده شده است. ثروت خالص هر بخش، مجموع دارایی‌های آن بخش است که به اشکال مختلفی از دارایی‌ها نگهداری می‌شود. از آن‌جا که در مورد دارایی‌های مالی، دارایی هر بخش بدهی یک یا چند بخش دیگر است، مجموع دارایی‌های مالی اقتصاد صفر است و بنابراین مجموع خالص ثروت همه بخش‌های اقتصاد نیز برابر صفر است. در مدل ارائه‌شده، پول توسط بانک مرکزی منتشر می‌شود و فقط در اختیار خانوارهاست. همچنین، اوراق مشارکت توسط دولت در زمانی که با کسری بودجه مواجه شود منتشر می‌شود و توسط بخش خصوصی داخلی و بانک مرکزی نگهداری می‌شود. با توجه به اهدافی که این پژوهش دنبال می‌کند، فرقی ندارد که بخش خصوصی چه ترکیبی از پول و اوراق مشارکت نگهداری می‌کند. در واقع، بخش خصوصی ترکیبی از پول نقد که عایدی انتظاری ندارد اما نقدینگی بالایی دارد، و اوراق مشارکت دولتی که عایدی دارد اما نقدینگی کم‌تری دارد، نگهداری می‌کند تا امنیت مالی خود را با تنوع بیش‌تر بالا ببرد.

ماتریس ترازنامه مدل در **جدول (۲)** نشان داده شده است. پول (H) پر قدرت چون توسط بانک مرکزی منتشر می‌شود و توسط خانوارها نگهداری می‌شود، به عنوان بدهی بانک مرکزی و دارایی بخش خصوصی در نظر گرفته می‌شود. این بدان معناست که پول نه تنها یک دارایی است، بلکه همزمان نشان‌دهنده یک بدهی برای بانک مرکزی است. خانوارها کل ثروت خود را (Vh) به صورت ترکیبی از پول و اوراق مشارکت نگهداری می‌کنند. فرض می‌شود که خانوارها خرید دارایی‌های مالی را فقط از منابع غیرمالی خود تامین می‌کنند که همیشه مثبت است و نمی‌توانند با بدهکار کردن خود دارایی خریداری کنند. بنابراین، کل

۱. لازم به اشاره است که اگر این ساده‌سازی‌ها انجام نگیرد، پیچیدگی مدل به‌طور غیرضروری افزایش می‌یابد. برای اطلاع از مدل‌های کامل تطبیق روانه انبار می‌توان به **گادلی و لاووی (۲۰۰۶)** رجوع شود.

ثروت آن‌ها نتیجهٔ پس‌انداز انباشته دوره‌های قبلی است که اگرچه مقدار آن برای بخش خصوصی داخلی مثبت است، اما با علامت منفی وارد می‌شود تا از صفر بودن مجموع تمام ردیف‌ها اطمینان حاصل شود. بخش عمومی داخلی برای تامین مالی مخارج خود اقدام به فروش نفت و جمع‌آوری مالیات می‌کند و در زمانی که کسری بودجه داشته باشد برای تامین مالی کسری بودجه خود در دورهٔ جاری، اوراق مشارکت منتشر می‌کند. چنانچه اوراق مشارکت منتشرشده بیش‌تر از مقدار اوراق مشارکت مورد تقاضای بخش خصوصی باشد، این مازاد توسط بانک مرکزی خریداری می‌شود. همچنین، بانک مرکزی تبادلات مالی بین اقتصاد داخلی و سایر نقاط جهان را با استفاده از ذخایر خارجی (FX) بر عهده دارد.

جدول ۲: ماتریس ترازنامه

بخش خصوصی داخلی	بخش عمومی داخلی		بخش خارجی مجموع
	دولت	بانک مرکزی	
موجودی پول نقد (پول پر قدرت)	$+H_d$	$-H_s$	•
اوراق مشارکت	$+B_h$	$-B$	•
ذخایر خارجی بانک مرکزی		$+FX_d$	$-FX_s$ •
ثروت خالص	$-V_h$	$-V_g$	$-V_{row}$ •
مجموع	•	•	•

گام دوم ساختن ماتریس تراکنش‌ها^۱ است که تغییرات در تعاملات واقعی و مالی در حال حرکت در اقتصاد را در یک دورهٔ خاص ثبت می‌کند. این ماتریس در قالب **جدول (۳)** به تصویر کشیده شده است که امکان ثبت جریان‌های مالی را در میان بخش‌های مختلف در یک چارچوب یکپارچه فراهم می‌کند. نیمه بالایی ماتریس، جریان‌های استاندارد کلان اقتصادی و نیمه پایین **جدول (۳)** به روابط مالی اختصاص دارد. ردیف ماقبل آخر تغییرات ذخایر ارزی (FX) را ثبت می‌کند که نتیجهٔ صادرات و واردات است. فرض می‌شود معاملات بین خانوارها و سایر نقاط جهان توسط بانک مرکزی واسطه می‌شود و ذخایر خارجی در مقابل انتشار پول داخلی انباشته می‌شود.^۲ در آخر اشاره به این نکته ضروری است که علامت منفی در ماتریس نشان‌دهندهٔ یک جریان خروجی یا استفاده از وجوه و علامت مثبت نشان‌دهندهٔ یک جریان یا منابع ورودی مرتبط است.

1. Transaction Flow Matrix

۲. فرض می‌شود نرخ ارز ثابت و برابر یک است.

جدول ۳: ماتریس تراکش‌ها

بخش مجموع	بخش خارجی	بخش عمومی داخلی		بخش خصوصی داخلی	
		بانک مرکزی	دولت	بنگاه	خانوار
.	.	.	.	$+PX_s$	$-PX_d$
.	.	.	$-G_d$	$+G_s$	.
.	$-EX_d$	.	EX_{oil}	$+EX_f$	.
.	$+IM_s$	.	.	$-IM_d$	.
.	.	.	.	$-[YN]$	$+ [YN]$
.	.	.	$+T_d$	$-Ts$	.
.	.	$-r_b[-1]*B_{cb}[-1]$	$+r_b[-1]*B_{cb}[-1]$	.	.
.	.	$+r_b[-1]*B_{cb}[-1]$	$-r_b[-1]*B[-1]$	$+r_b[-1]*B_h[-1]$	.
.	.	$+\Delta H_s$	.	$-\Delta H_d$	.
.	.	$-\Delta B_{cb}$	$+\Delta B$	$-\Delta B_h$	.
.	$+\Delta FX_s$	$-\Delta FX_d$	.	.	.
.	.	.	.	.	.

چون در این پژوهش بنگاه‌ها به صورت واحدهای اقتصادی در اختیار خانوار در نظر گرفته شده‌اند، فرض می‌شود که همه مالیات توسط خانوارها پرداخت می‌شود. همچنین، بانک مرکزی از بابت خرید و نگهداری اوراق مشارکت دولتی سودی به دست می‌آورد که با توجه به ساختار بانک مرکزی در ایران، این سود به دولت می‌رسد. مدل سه‌بخشی معرفی شده در بالا به شکل ابتدایی در نظر گرفته می‌شود، اما از پیچیدگی کافی برای نشان دادن اساسی‌ترین اصول مدل‌های SFC برخوردار است. معادلات اساسی مدل پژوهش را می‌توان به شرح رابطه (۱) بیان کرد:

$$Y \sim PX + GS + SAN_{cb}(EX_s - IM_d) \quad (1)$$

که Y تولید ناخالص داخلی است و از دو بخش تولید نفتی (Y_{oil}) و تولید غیرنفتی (Y_N) تشکیل شده است، PX مخارج بخش خصوصی است و در واقع مجموع مصرف خانوارها و سرمایه‌گذاری بنگاه‌هاست، G مخارج دولت، EX صادرات که مجموع صادرات نفتی و غیرنفتی است، و IM واردات^۱

۱. فرض می‌شود کل واردات توسط بنگاه‌ها صورت می‌گیرد و به شکل مواد اولیه در تولید داخلی بکار گرفته می‌شود.

است. ضریب SAN_{ch} میزان دسترسی بانک مرکزی به ذخایر ارزی را نشان می‌دهد و نشان‌دهنده شدت تحریم بانک مرکزی است. مقدار این ضریب بین صفر و یک است و زمانی که بانک مرکزی تحریم نباشد برابر یک، و در زمان تحریم کوچک‌تر از یک است. فرض می‌شود که همه تولید نفت صادر می‌شود و نیاز داخلی به نفت از طریق واردات تامین می‌شود.

$$Y_{oil} = EX_{oil} \quad (2)$$

درآمد قابل تصرف خانوارها (Y_d) برابر است با درآمد غیرنفتی (Y_N) منهای مالیات‌های پرداختی به علاوه عایدی حاصل از نگهداری اوراق مشارکت دولتی؛

$$Y_d = Y_N - T_s + r_b[-I] * B_h[-I] \quad (3)$$

مالیات‌های پرداختی به عنوان نسبتی (θ) از تولید ناخالص داخلی اسمی غیرنفتی تعریف می‌شوند که در آن θ نرخ مالیات بر درآمد (مشمول مالیات) است.

$$T_s = \theta Y_N \quad (4)$$

با توجه به لزوم پایداری ردیف‌های ماتریس تراکنش‌ها داریم که؛

$$T_d = T_s \quad (5)$$

مخارج دولت (G) معمولاً به صورت برون‌زا در نظر گرفته می‌شود. با وجود این، می‌توان دولت را به رعایت قواعد مالی مشخصی ملزم کرد. این پژوهش چهار قاعده سیاست مالی را در قالب سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد که عبارت‌اند از:

قاعده یکم: مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی؛ قاعده دوم: کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی؛ قاعده سوم: بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی؛ و قاعده چهارم: بودجه متوازن. معادله (۶) قاعده یکم را نشان می‌دهد:

$$G_d = \lambda_l . Y_{-l} \quad (6)$$

هزینه‌های دولت مجموع مخارج دولت (G) و بهره پرداختی بابت اوراق قرضه منتشرشده دولت $((rb-I).B-I)$ است و درآمدهای دولت از سه مجرای فروش نفت (Y_{oil})، اخذ مالیات (T)، و سود بانک مرکزی (F_{cb}) است. اگر مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی باشد، آنگاه کسری بودجه دولت تفاوت هزینه‌ها و درآمدهای دولت خواهد بود. پس کسری بودجه دولت به شکل معادله (۷) خواهد بود.

$$DG = G_d + (rb-I).B_{-l} - Y_{oil} - T - F_{cb} \quad (7)$$

قاعده دوم قانونی است که در آن دولت نسبت هدفی برای کسری بودجه خود دارد. در این صورت:

$$DG = \lambda_2 \cdot Y_{-l} \quad (8)$$

با در نظر گرفتن سناریوی دوم، دولت می‌تواند فراتر از درآمدهای خود هزینه نماید. این امر در معادله (۹) نشان داده شده است.

$$G_d = DG - (r_{b-l}) \cdot B_{-l} + Y_{oil} + T + F_{cb} \quad (9)$$

طبق قاعده سوم، دولت یک بدهی هدف (B^T) را برای خود تعیین می‌کند که مقدار آن نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی است.

$$B^T = \lambda_3 \cdot Y_{-l} \quad (10)$$

در این صورت، مقدار مخارج دولت همانند معادله (۹) خواهد شد و کسری بودجه آن به صورت تابع (۱۱) خواهد بود.

$$DG = \Delta B^T \quad (11)$$

$$\Delta B^T = B^T - B_{-l}^T \quad (12)$$

در نهایت، آخرین قاعده این است که در آن بودجه متعادل است.

$$DG = 0 \quad (13)$$

در این حالت، مخارج دولت به شکل معادله (۱۴) خواهد بود.

$$G_d = Y_{oil} + T + F_{cb} - (r_{b-l}) \cdot B_{-l} \quad (14)$$

و با توجه به ماتریس تراکنش‌ها؛

$$G_s = G_d \quad (15)$$

تابع مخارج بخش خصوصی^۱ را می‌توان به شکل معادله (۱۶) تعریف کرد:

$$PX = \alpha_1 Y_d + \alpha_2 V_{h-l} \quad 0 < \alpha_2 < \alpha_1 < 1 \quad (16)$$

که در آن مخارج با میل به مصرف از درآمد قابل تصرف (α_1) و میل به مصرف از ثروت دوره قبلی (α_2) تعیین می‌شود. ثروت متغیر انبار باوقفه است و بنابراین، یک مولفه پویای ضروری بین دوره‌های متعاقب مدل سه‌بخشی پژوهش است:

$$V_h = V_{h-l} + Y_d - PX \quad (17)$$

معادله (۱۶) را می‌توان به شکل معادله (۱۸) هم نوشت:

$$V_h = V_{h-l} + Y_d - [\alpha_1 Y_d + \alpha_2 V_{h-l}] \quad (18)$$

۱. از آن جایی که در این پژوهش بنگاه‌ها واحدهای تولیدی خالصی هستند که در اختیار خانوارها قرار دارند، مخارج بخش خصوصی نشان‌دهنده مجموع مخارج سرمایه‌گذاری و مصرف است.

همچنین، از آن جا که ثروت بخش خصوصی به شکل سرمایه مالی (پول نقد و اوراق مشارکت دولتی) است، متغیر ثروت را که در واقع همان انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی است، می توان به شکل معادله (۱۹) هم نوشت:

$$V_h = H_d + B_d \quad (19)$$

از ماتریس تراکنش های پژوهش، رابطه (۲۰) برای مخارج بخش خصوصی قابل استخراج است:

$$PX_S = PX_d \quad (20)$$

صادرات کشور از دو بخش صادرات نفتی و صادرات غیرنفتی تشکیل شده است.

$$EX = EX_{oil} + EX^d \quad (21)$$

تعریف تجارت بین الملل اتخاذ شده در این پژوهش نزدیک به تعریف ارائه شده توسط رویکرد مدل های رشد محدود تراز پرداخت^۱ است. به پیروی از تیرل وال^۲ (۲۰۱۲) و لavoie^۳ (۲۰۱۴)، واردات و صادرات به ترتیب به صورت زیر تعریف می شوند:

$$IM = \left(\frac{e.p_f}{p_d} \right)^{\bar{d}} \cdot (Y)^{\bar{d}} \quad (22)$$

$$EX_f = \left(\frac{p_d}{e.p_f} \right)^{\bar{d}} \cdot (Y_{ROW})^{\bar{d}} \quad (23)$$

e نرخ ارز، p_f قیمت کالاهای وارداتی به ارز، p_d قیمت به پول داخلی، $\bar{d}$ و $\bar{p}$ به ترتیب کشش قیمتی واردات و صادرات، $\bar{d}$ و $\bar{p}$ به ترتیب کشش درآمدی واردات و صادرات هستند، و Y_{ROW} درآمد جهانی است. برای تمرکز بر اثرات مقداری کالاها، فرض می شود که قیمت ها (چه خارجی چه داخلی) و نرخ ارز ثابت بوده و به یک نرمال شده اند. این فرض توسط تعدادی از مدل های رشد محدود تراز پرداخت بکار گرفته شده است (Thirlwall, 1979; Thirlwall Hussain, 1982; Moreno-Brid, 1998; 2003; Mazzi, 2013).
توجیه این ساده سازی از مطالعات تجربی ناشی می شود، مانند آنچه توسط تیرل وال و حسین (۱۹۸۲) انجام شد، که نشان می دهد اثرات نرخ ارز در واردات و صادرات اندک است. حتی با در نظر گرفتن ویژگی های خاص هر کشور، گاویا و لیما^۴ (۲۰۱۳) و بالتار^۵ (۲۰۱۵) در مطالعات بین کشوری تایید می کنند که کشش های درآمدی (صادرات و واردات) بیش ترین تغییرات تجاری را به خود اختصاص می دهند، در حالی که کشش های نرخ ارز برای بیش تر کشورها کوچک یا از نظر آماری ناچیز است. با لحاظ کردن این

1. Balance of Payment Constrained Growth Models
2. Thirlwall
3. Lavoie
4. Gouvea & Lima
5. Baltar

مفروضات در مدل، واردات و صادرات به ترتیب معادلات (۲۴) و (۲۵) خواهند بود.

$$IM_d = Y^{\bar{d}} \quad (24)$$

$$EX_f = (Y_{ROW})^{\bar{p}} \quad (25)$$

$$Y_{ROW} = (1 + g_{row}) * Y_{ROW}[-1] \quad (26)$$

از نظر عملی، این معادلات به این معناست که صادرات و واردات نسبت به نرخ ارز و قیمت‌های نسبی کشش ندارند و فقط در برابر رشد اقتصاد خارجی و داخلی کشش دارند. متغیر (EX_{oil}) درآمدهای حاصل از صادرات نفت است که با توجه به سهمیه مشخص صادرات نفتی ایران توسط اوپک و فروض مدل درباره ثابت و برابر با یک بودن قیمت‌ها و نرخ ارز، به صورت معادله (۲۷) تعریف می‌شود:

$$EX_{oil} = SAN_{oil} * EX_{oil-1} \quad (27)$$

در این جا پارامتر SAN_{oil} نشان‌دهنده تحریم نفتی است که مقدار آن بین صفر و یک است. در زمانی که تحریم نفتی وجود نداشته باشد، مقدار آن یک است و متناسب با افزایش شدت تحریم‌ها مقدار آن به سمت صفر کاهش می‌یابد. با توجه به ماتریس تراکنش‌های پژوهش می‌توان برای واردات نوشت:

$$IM_s = IM_d \quad (28)$$

از منظر حسابداری، می‌توان گفت که مجموع اجزای درآمد ملی (Y) باید برابر با مصارف آن باشد. پس می‌توان نوشت که:

$$PX_s + G_s + EX_s - IM_d = Y = PX_d + T_s + \Delta B_h + \Delta H_d \quad (29)$$

از آن جا که $B + \Delta H = \Delta V \Delta$ است، می‌توان معادله (۲۹) را به شکل معادله (۳۰) بازنویسی کرد:

$$PX_s + G_s + EX_s - IM_d = PX_d + T_s + \Delta V \iff (G_s - T_s) + (EX_s - IM_d) = \Delta V \quad (30)$$

برای کامل شدن مدل، باید همه متغیرها پوشش داده شود. بنابراین، جنبه مالی مدل یعنی موجودی پول (H)، اوراق مشارکت دولتی (B)، و ذخایر خارجی (FX) باید تعریف شوند. معادله (۳۱)، عرضه پول (H_s) را نشان می‌دهد.

$$H_s \sim H_s[-1] + Bcb - Bcb[-1] + FX_s - FX_s[-1] \quad (31)$$

موجودی ذخایر خارجی به عنوان ضریبی از خالص صادرات در نظر گرفته می‌شود که فرض می‌شود در زمان مازاد توسط بانک مرکزی نگهداری می‌شود و معادل ارزش آن پول داخلی منتشر می‌شود و در زمان کسری عکس این اتفاق رخ می‌دهد. در واقع، مازاد حساب جاری مانند سیاست پولی انبساطی و کسری آن مانند سیاست پولی انقباضی عمل می‌کند.

$$FX_s \sim FX_s[-1] + \lambda(EX_s - IM_d) \quad (32)$$

از ماتریس ترازنامه داریم؛

$$FX_d \sim FX_d[-I] + FX_s - FX_s[-I] \quad (33)$$

نتیجه مدیریت بدهی دولت با عرضه اوراق مشارکت (BS) بیان می‌شود.

$$B_s = BS[-I] + DG \quad (34)$$

بخش خصوصی دارایی خود را به صورت ترکیبی از پول نقد که نقدینگی بالایی دارد اما بازدهی ندارد، و اوراق مشارکت دولتی که نقدشوندگی کم‌تری دارد اما بازدهی دارد، نگهداری می‌کند.

$$H_d = \varphi \cdot V_h \quad 0 < \varphi < 1 \quad (35)$$

معادله (۳۵)، تقاضای بخش خصوصی برای پول نقد و معادله (۳۶) تقاضای اوراق مشارکت را نشان می‌دهد.

$$B_h = (1-\varphi) \cdot V_h \quad 0 < \varphi < 1 \quad (36)$$

متغیر φ ربحان نقدینگی بخش خصوصی را نشان می‌دهد. همچنین، بانک مرکزی بخشی از اوراق مشارکت عرضه شده توسط دولت را که مازاد بر تقاضای بخش خصوصی است، خریداری می‌کند.

$$B_{cb} = B_s - B_h \quad (37)$$

برای اطمینان از ثبات ماتریس ترازنامه، تقاضا و عرضه پول باید برابر باشد.

$$H_d = H_s \quad (38)$$

چون خانوارها ثروت خود را به شکل پول و اوراق مشارکت نگهداری می‌کنند - که هر دو از اشکال سرمایه مالی هستند - می‌توان نتیجه گرفت که ثروت انباشته‌شده در هر دوره، در واقع، انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی در آن دوره است.

نحوه ورود تکانه تحریم به مدل

این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه قواعد مالی مختلف دولت و انتخاب قاعده مالی مناسب با هدف کاهش پیامدهای منفی تحریم نفتی بر متغیرهای کلان اقتصادی ایران انجام گرفته است و برای نشان دادن تحریم نفت از معادله (۲۷) استفاده شده است که پارامتر SA_{oil} نشان‌دهنده تحریم نفتی است که مقدار آن بین صفر و یک است. در زمانی که تحریم نفتی وجود نداشته باشد، مقدار آن یک است و متناسب با افزایش شدت تحریم‌ها، مقدار پارامتر به سمت صفر کاهش می‌یابد، به طوری که مقدار صفر نشان‌دهنده وضعیتی است که صادرات نفت متوقف بشود و به صفر برسد. در این پژوهش مقدار پارامتر ۰/۸ در نظر گرفته شده است که نشان می‌دهد در طول دوره زمانی تحریم، دولت در هر سال ۲۰ درصد

از ظرفیت صادرات نفت خود را نسبت به سال قبل از دست می‌دهد. همچنین، فرض شده است که تحریم نفتی موقت است، به‌طوری که در سال پنجم دوره پژوهش شروع می‌شود و در سال دهم پایان می‌یابد.

تعیین مقادیر اولیه و پارامترهای مدل

داده‌های مربوط به متغیرهای برون‌زا و همچنین نقطه شروع داده‌ها در ماتریس ترازنامه و سایر داده‌های مورد نیاز برای تخمین پارامترهای پژوهش، از داده‌های موجود در بانک اطلاعات سری‌های زمانی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران^۱ برای دوره زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۷ گرفته شده است. خلاصه اطلاعات داده‌های مربوط به مقادیر اولیه متغیرها (سال ۱۳۹۰) و پارامترهای مورد استفاده در پژوهش در **جدول (۴)** آمده است.

جدول ۴: خلاصه داده‌های متغیرها و پارامترهای پژوهش

نام متغیر	نماد	نوع متغیر	مقدار اولیه متغیر / پارامتر (ریال)	روش محاسبه
تولید ناخالص داخلی اسمی	Y	درون‌زا	۶۳۹۶۳۳۱ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
مخارج اسمی بخش خصوصی داخلی	PX	درون‌زا	۴۷۱۳۱۴۹ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
مخارج اسمی بخش دولتی	G	درون‌زا	۱۱۶۶۷۰۳ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
صادرات اسمی	EX	برون‌زا	۱۶۳۹۵۶۹ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
واردات اسمی	IM	درون‌زا	۱۱۲۳۰۹۰ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
درآمد قابل‌تصرف اسمی	Yd	درون‌زا	۵۹۸۰۵۶۹۴ میلیارد	محاسبات پژوهش
مالیات	T	درون‌زا	۴۱۵۷۶۱۵ میلیارد	محاسبات پژوهش
خالص ثروت بخش خصوصی داخلی	Vh	درون‌زا	۳۷۹۲۱۵ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش
خالص ثروت بخش عمومی داخلی	Vg	درون‌زا	۱۳۷۲۶۴ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش
ذخایر ارزی خارجی	FX	درون‌زا	۵۱۶۴۷۹ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش
تقاضا برای موجودی پول نقد	H _d	درون‌زا	۳۱۰۹۵۶ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش

1. <https://tsd.cbi.ir/>

ادامه جدول ۴: خلاصه داده‌های متغیرها و پارامترهای پژوهش

نام متغیر	نماد	نوع متغیر	مقدار اولیه متغیر / پارامتر (ریال)	روش محاسبه
عرضه موجودی پول نقد	Hs	درون‌زا	۳۱۰۹۵۶ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
عرضه اوراق مشارکت دولتی	Bs	درون‌زا	۷۶۰۰۶ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران
تقاضا بخش خصوصی برای اوراق مشارکت	B _d	درون‌زا	۶۸۲۵۹ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش
تقاضا بانک مرکزی برای اوراق مشارکت	B _{cb}	درون‌زا	۷۷۴۷ میلیارد	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش
پارامتر رجحان نقدینگی بخش خصوصی	φ	برون‌زا	۰/۵	فروض پژوهش
پارامتر نشان‌دهنده شدت تحریم	SAN	پارامتر	$0 \leq \text{SAN} \leq 1$	فروض پژوهش
میل به مخارج از درآمد	α_1	پارامتر	۰/۶۵۷	تخمین معادله رگرسیون با داده‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۹
میل به مخارج از ثروت	α_2	پارامتر	۰/۳۰۹	تخمین معادله رگرسیون با داده‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۹
نرخ مالیات	θ	پارامتر	۰/۰۶۵	داده‌های بانک مرکزی ایران و محاسبات پژوهش
کشش درآمدی واردات	$\bar{\theta}$	پارامتر	۰/۹۶	پهلوانی و همکاران (۱۳۸۶)
کشش درآمدی صادرات	$\bar{\rho}$	پارامتر	۱/۷۹	پهلوانی و همکاران (۱۳۸۶)
نسبت مخارج دولت به تولید ناخالص داخلی	λ_1	پارامتر	۰/۱۹	متوسط متغیر در طول دوره پژوهش
نسبت کسری بودجه دولت به تولید ناخالص داخلی	λ_2	پارامتر	۰/۰۳	محاسبات پژوهش بر اساس شرایط واقعی اقتصاد ایران
نسبت بدهی دولت به تولید ناخالص داخلی	λ_3	پارامتر	۰/۰۷	فرض پژوهش با در نظر گرفتن شرایط واقعی اقتصاد ایران
نرخ بهره اوراق مشارکت	r_b	پارامتر	۰/۰۲	فرض پژوهش با در نظر گرفتن فروض مدل برای اقتصاد ایران*
نرخ رشد اقتصاد جهانی	g_{row}	پارامتر	۰/۰۳	متوسط نرخ رشد اقتصاد جهانی در دوره پژوهش

* چون در این پژوهش تورم لحاظ نشده است و نگهداری پول نقد به عنوان تنها دارایی جانشین اوراق مشارکت دولتی، فاقد عایدی است، نرخ بهره اوراق مشارکت پایین در نظر گرفته شده است تا به نوعی نشان‌دهنده اختلاف عایدی دو دارایی باشد.

حالت پایدار (وضعیت ثابت) مدل

قبل از کار با مدل و شبیه‌سازی یک شوک اقتصادی، مدل پژوهش برای رسیدن به یک حالت پایدار اجرا شده است. منظور از حالت پایدار وضعیتی است که متغیرهای کلیدی مدل، در یک رابطه ثابت با یکدیگر باقی می‌مانند. این وضعیت هر دو متغیرهای انباره و ذخیره را شامل می‌شود. علاوه بر این، هنگامی که سطوح متغیرها ثابت هستند، حالت پایدار ساکن است. در این پژوهش از عبارت «وضعیت ثابت»^۱ به جای «وضعیت پایدار»^۲ استفاده شده است، زیرا مدل پژوهش رشد را حذف می‌کند و پس از رسیدن به شرایط باثبات، مقدار متغیرها تغییر نمی‌کند. در مدل‌هایی که رشد اقتصادی در نظر گرفته می‌شود، نسبت مقادیر متغیرها ثابت می‌مانند، اما خود مقادیر می‌توانند تغییر کنند و در واقع تغییر می‌کنند. به‌طور کلی، وضعیت پایدار یک اقتصاد رو به رشد خواهد بود اگر نسبت متغیرها ثابت بماند.

قرار دادن مدل در یک وضعیت ثابت بسیار مهم است، در غیر این صورت، نمی‌توان اثر یک شوک خاص را از «توسان پس‌زمینه» که پویایی متغیرها را به سمت وضعیت پایدار هدایت می‌کند، جدا کرد. استعاره‌ای در میان مدلسازان تطبیق روانه انباره وجود دارد که به‌خوبی این مفهوم را به تصویر می‌کشد: «اگر بخواهیم تاثیر سنگ پرتاب‌شده در یک حوض آب را مطالعه کنیم، باید منتظر بمانیم که آب حوض ته‌نشین شود، در غیر این صورت، نمی‌توانیم موج‌های ایجادشده توسط سنگ را از امواج کوچک ایجادشده توسط هر عامل تصادفی دیگر تشخیص دهیم».

بنابراین، مدل پژوهش ابتدا برای به‌دست آوردن وضعیت ثابت برای دوره زمانی ۵۰ ساله (۱۴۴۰-۱۳۹۰) با استفاده از نسخه ۴/۲/۱ نرم‌افزار R و پکیج sfcr که مختص مدل‌های تطبیق روانه انباره است، اجرا شده که نتایج آن در **نمودار (۱)** نشان داده شده است. سپس برای بررسی اثر تکانه تحریم نفتی، از مقادیر متغیرها در این وضعیت ثابت به عنوان «مقادیر اولیه» استفاده می‌شود که در آن سناریوهای مختلف به منظور تحلیل اثرات شوک‌های مختلف بر اقتصاد مقایسه می‌شوند. همه آزمایش‌ها با شروع از این وضعیت ثابت مدل به عنوان حالت پایه انجام خواهد شد. این کار مقایسه بین نتیجه دو سناریو را در مواقعی که مورد نیاز خواهد بود، ممکن می‌کند. لازم به اشاره است که در مدل‌های تطبیق روانه انباره، برای به‌دست آوردن مقادیر وضعیت ثابت مدل، مقدار اولیه متغیرها صفر در نظر گرفته می‌شود، اما می‌توان از مقادیر متغیرهای مدل در یک سال مشخص (مثلاً مقادیر سال ۱۳۹۰) نیز به عنوان نقطه شروع استفاده کرد.

1. Stationary State
2. Steady State

شبیه‌سازی مدل در سناریوهای مختلف

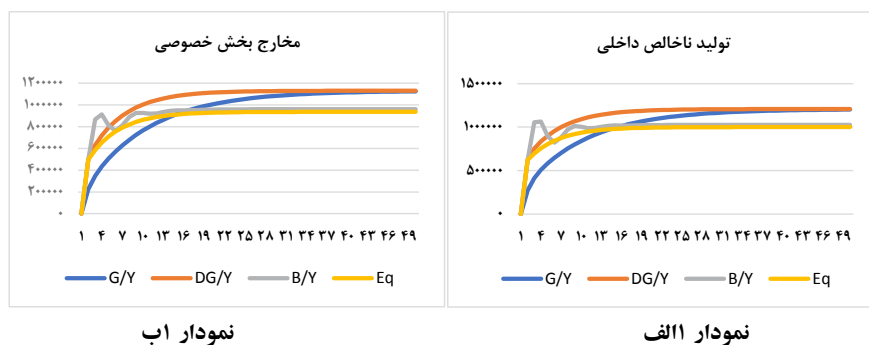
در ادامه، به بررسی رفتار مدل پژوهش با قواعد مالی مختلف پرداخته شده است. با استفاده از حالت پایه، آزمایش‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی ویژگی‌های بلندمدت متغیرهای مدل اجرا می‌شود. شبیه‌سازی‌ها طبق روش‌شناسی **گادلی و لاووی (۲۰۰۶)**، با اصلاح یک پارامتر یا متغیر برون‌زا از مدل در هر زمان انجام می‌گیرد. بر اساس این، توجه ویژه‌ای به تفاوت میان پیامدهای اولیه برخی تغییرات (دوره کوتاه‌مدت)، مسیرهای متغیرها و پیامدهای پایانی در حالت پایدار نهایی خواهد شد. بنابراین، شبیه‌سازی مدل از یک نقطه ثابت حالت پایه مدل شروع می‌شود و با ایجاد تغییرات جداگانه در پارامتر، تحریم نفتی در سناریوهای مختلف نشان داده می‌شود و نتایج سناریوها بررسی و تحلیل می‌گردد. لازم به اشاره است که مقادیر متغیرهای مدل بعد از تکانه موقت دوباره به حالت قبل از تکانه برخورد گشت، اما در مورد تکانه‌های دائم در یک سطح جدید قرار خواهد گرفت که با مقادیر قبل از تکانه متفاوت خواهد بود. پس از بررسی وضعیت پایدار متغیرهای درون‌زای مدل با قواعد مالی چهارگانه پژوهش به‌طور جداگانه، نتایج قواعد مالی با هم مقایسه می‌شود و سپس تکانه تحریم به مدل وارد می‌شود و نتایج واکنش متغیرهای مدل به تکانه تحریم نفت در سناریوهای مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد تا با مقایسه نتایج، قاعده بهینه مالی انتخاب شود. **جدول (۵)**، خلاصه چهار قاعده مالی پژوهش را نشان می‌دهد. در هر چهار قاعده، مقادیر اولیه متغیرهای درون‌زا، مقادیر پارامترها و معادلات یکسان وجود دارد، به غیر از مقادیر معادلاتی که نشان‌دهنده قاعده پولی هستند. بنابراین، تفاوت سناریوهای مختلف فقط در معادلات قواعد مالی است. همچنین، باید توجه داشت که هدف اصلی از این شبیه‌سازی‌ها ارائه پیش‌بینی نرخ رشد نیست، بلکه بررسی این موضوع است که چگونه یک اقتصاد مبتنی بر ساختار ارائه‌شده در این پژوهش، به تکانه‌های وارد شده واکنش نشان می‌دهد.

جدول ۵: خلاصه قواعد مالی پژوهش

ردیف	نماد	توضیح قاعده
قاعده یکم	G/Y	مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی
قاعده دوم	DG/Y	کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی
قاعده سوم	B/Y	بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی
قاعده چهارم	Eq	بودجه متوازن

ابتدا مدل پژوهش برای به دست آوردن وضعیت ثابت که در آن تحریم نفتی وجود ندارد^۱، برای دوره زمانی ۵۰ ساله شبیه سازی شده است که نتایج آن برای متغیرهای منتخب (تولید ناخالص داخلی، مخارج بخش خصوصی که مجموع مخارج مصرفی خانوارها و سرمایه گذاری بنگاههاست، مخارج دولت، کسری بودجه دولت، انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی) در نمودار (۱) نشان داده شده است.

نمودار (الف)، تولید ناخالص داخلی را با قواعد چهارگانه پژوهش نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، اختلاف بین رشد تولید ناخالص داخلی برای چهار قاعده قابل توجه است. هر چند که در وضعیت پایدار بلندمدت، درآمد ملی در قاعده یکم و دوم با هم برابر می شود و بین قاعده سوم و چهارم هم تفاوت چندانی وجود ندارد، اما در کوتاه مدت قاعده یکم کم ترین نرخ رشد اقتصادی را نسبت به سایر قواعد دارد. نتایج شبیه سازی مدل برای قواعد مالی چهارگانه پژوهش نشان می دهد، زمانی که هدف سیاستگذار افزایش تولید ناخالص داخلی در کوتاه مدت باشد، قاعده سوم می تواند به عنوان قاعده بهینه انتخاب شود، در حالی که اگر هدف رشد اقتصادی در بلندمدت باشد، قاعده مالی دوم به عنوان قاعده بهینه به دولت پیشنهاد می گردد.

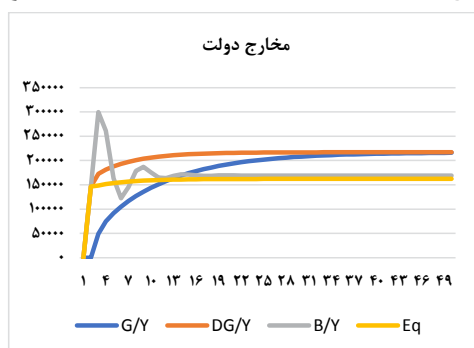


۱. مقدار پارامتر SANoil در معادله (۲۷) که نشان دهنده تحریم نفتی است، یک تعیین می شود.



نمودار اد

نمودار اج



نمودار اپ

نمودار ۱: شبیه‌سازی مدل برای متغیرهای پژوهش در زمان عدم تحریم نفتی با قواعد چهارگانه

در **نمودار (اب)**، مدل پژوهش برای مخارج بخش خصوصی شبیه‌سازی شده است. این متغیر مجموع مقادیر مصرف و سرمایه‌گذاری است که بخش مهم و بزرگی از تقاضای کل اقتصاد را دربر می‌گیرد. با توجه به تبعیت مخارج بخش خصوصی از تولید ناخالص داخلی، شباهت نتایج شبیه‌سازی به نتایج **نمودار (الف)** قابل انتظار است. **نمودار (اج)**، کسری بودجه دولت را در شبیه‌سازی مدل تحت چهار قاعده مالی استفاده‌شده برای پژوهش نشان می‌دهد. در قاعده چهارم که تعادل بودجه است، کسری بودجه صفر است. در قاعده سوم هم بعد از یک کسری بودجه نسبتاً بالا در سال‌های اولیه دوره شبیه‌سازی پژوهش، به سمت وضعیت پایدار بلندمدت خود در صفر متمایل می‌شود. نکته جالب، نتایج شبیه‌سازی مربوط به قاعده یکم است که در سال‌های اولیه دوره، مازاد بودجه‌ای را ایجاد می‌کند و سپس به سمت وضعیت پایدار بلندمدت خود، که با کسری بودجه قاعده یکم برابر است، حرکت می‌کند. بنابراین، در کوتاه‌مدت

قاعده یکم و در بلندمدت قاعده چهارم کمترین کسری بودجه را برای دولت به همراه خواهد داشت. **نمودار (۵۱)**، نتایج شبیه‌سازی مدل را برای متغیر انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی نشان می‌دهد. این متغیر ثروت انباشته‌شده بخش خصوصی است که از کانال‌های مختلف می‌تواند بر بخش حقیقی اقتصاد تاثیرگذار باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که برای انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی در کوتاه‌مدت قاعده سوم و در بلندمدت قاعده دوم می‌تواند به عنوان یک قاعده بهینه توسط دولت استفاده شود. **نمودار (۱پ)**، وضعیت متغیر مخارج دولت تحت چهار قاعده را نشان می‌دهد. در کوتاه‌مدت قاعده یکم و در بلندمدت قاعده چهارم کمترین مخارج را برای دولت ایجاد می‌کنند. در ادامه، با وارد کردن تکانه تحریم نفتی به مدل، نتایج شبیه‌سازی برای متغیرهای مدل تحلیل و بررسی شده است (**جدول ۶ و نمودار ۲**). در این پژوهش فرض می‌شود که تحریم نفت موقتی است، در سال پنجم دوره زمانی پژوهش شروع و در سال دهم برداشته می‌شود. تحریم نفتی به عنوان یک تکانه منفی بر متغیرهای اصلی اقتصاد کلان تاثیرگذار خواهد بود. در **جدول (۶)**، نتایج شبیه‌سازی مدل با وجود تحریم نفت در قواعد چهارگانه پژوهش به‌طور خلاصه نشان داده شده است.

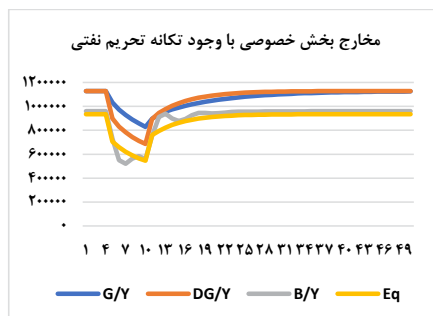
جدول ۶: خلاصه نتایج شبیه‌سازی مدل با وجود تکانه تحریم نفتی در قواعد مالی مختلف

متغیر	قاعده مالی	مقدار متغیر قبل از شروع تحریم	مقدار متغیر در سال پایانی تحریم	درصد تغییر در متغیر
تولید ناخالص داخلی	یکم (مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۱۲۰۷۰۸۸	۸۶۷۴۷۷	-۲۸/۱۳
	دوم (کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۱۲۰۷۳۶۹	۷۱۴۰۲۱	-۴۰/۸۶
	سوم (بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۱۰۲۶۲۶۴	۵۸۷۹۳۴	-۴۲/۷۱
	چهارم (بودجه متوازن)	۱۰۰۰۱۸۹	۵۶۸۰۹۸	-۴۳/۲۰
مخارج بخش خصوصی	یکم (مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۱۱۲۸۹۶۶	۸۲۸۴۴۸	-۲۶/۶۲
	دوم (کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۱۱۲۹۲۳۰	۶۸۶۴۹۶	-۳۹/۲۱
	سوم (بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۹۵۹۸۴۶	۵۵۸۵۳۶	-۴۱/۸۱
	چهارم (بودجه متوازن)	۹۳۵۴۵۸	۵۴۶۲۸۳	-۴۱/۶۰

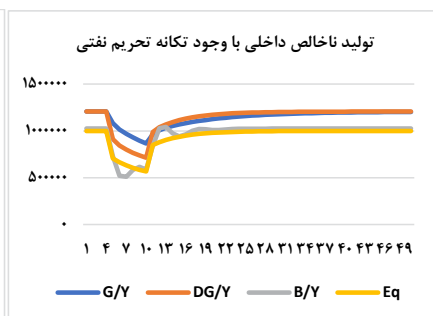
ادامه جدول ۶: خلاصه نتایج شبیه‌سازی مدل با وجود تکانه تحریم نفتی در قواعد مالی مختلف

متغیر	قاعده مالی	مقدار متغیر قبل از شروع تحریم	مقدار متغیر در سال پایانی تحریم	درصد تغییر در متغیر
مخارج دولت	یکم (مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۲۱۶۹۱۴	۱۶۱۲۱۱	-۲۵/۶۸
	دوم (کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۲۱۶۹۸۷	۱۱۹۰۱۶	-۴۵/۱۵
	سوم (بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۱۶۹۰۴۵	۹۵۶۷۱	-۴۳/۴۰
	چهارم (بودجه متوازن)	۱۶۲۱۴۲	۸۴۱۲۲	-۴۸/۱۱
انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی	یکم (مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۵۳۱۲۷۶	۴۱۴۱۶۱	-۲۲/۰۴
	دوم (کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۵۳۱۴۰۳	۳۴۹۵۹۴	-۳۴/۲۱
	سوم (بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۴۵۱۶۹۲	۲۷۵۱۲۹	-۳۹/۰۹
	چهارم (بودجه متوازن)	۴۴۰۲۱۶	۲۷۸۳۰۷	-۳۶/۷۸
کسری بودجه دولت	یکم (مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۳۶۱۶۶	۵۴۳۴۳	۲۶/۵۰
	دوم (کسری بودجه دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۳۶۲۲۱	۲۲۱۳۳	-۳۸/۸۹
	سوم (بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)	۰	۶۶۰۴	-
	چهارم (بودجه متوازن)	۰	۰	۰

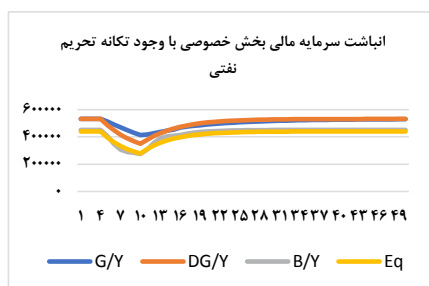
همان‌طور که مشاهده می‌شود، به دنبال تکانه تحریم نفتی مقدار متغیرهای تولید ناخالص داخلی، مخارج بخش خصوصی، انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی و مخارج دولت کاهش می‌یابند. با وجود این، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که میزان اثرگذاری تکانه تحریم نفتی بر متغیرهای منتخب، بسته به این‌که دولت از کدام قاعده مالی استفاده کند، متفاوت خواهد بود. **نمودار (۲)**، نحوه واکنش متغیرهای منتخب پژوهش به تکانه تحریم نفتی را نشان می‌دهد.



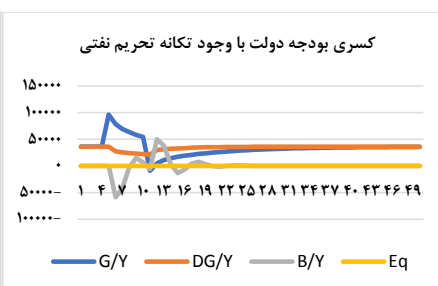
نمودار ۲ب



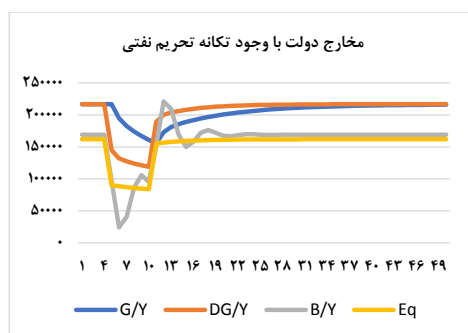
نمودار ۲الف



نمودار ۲د



نمودار ۲ج



نمودار ۲پ

نمودار ۲: شبیه سازی مدل برای متغیرهای پژوهش در زمان تحریم نفتی با قواعد چهارگانه

نمودار (۲الف)، نشان می دهد که در نتیجه تحریم نفتی تولید ناخالص داخلی کاهش می یابد. با وجود این، اگر دولت از قاعده یکم (مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی)

پیروی کند، اثر تحریم نفتی بر کاهش تولید ناخالص داخلی از سایر قواعد مالی کم‌تر است. **نمودار (۲ب)**، نشان می‌دهد که قاعده یکم یعنی مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی، می‌تواند بهتر از سایر قواعد مالی اثر تحریم نفتی را بر کاهش مخارج بخش خصوصی کاهش دهد. با وجود این، **نمودار (۲ج)** نشان می‌دهد قاعده یکم در شرایط تحریم نفتی باعث افزایش کسری بودجه دولت در زمان تحریم می‌شود. **نمودار (۲د)**، نشان می‌دهد که تحریم نفتی انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی را کاهش می‌دهد، اما اگر مخارج دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی باشد (قاعده یکم)، اثر تحریم نفتی بر کاهش انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی از سایر قواعد مالی کم‌تر است. **نمودار (۲پ)**، نشان می‌دهد که در نتیجه تحریم نفتی، مخارج دولت کاهش می‌یابد. با وجود این، اگر دولت تمایلی به کاهش مخارج خود نداشته باشد، می‌تواند با انتخاب قاعده یکم کم‌ترین کاهش در مخارج خود را نسبت به سایر قواعد مالی داشته باشد.

بررسی نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که قواعد مالی مختلف نتایج متفاوتی را در پی خواهند داشت که بسته به هدف دولت از انتخاب قاعده مالی و همچنین دوره زمانی، می‌تواند متفاوت باشد (**جدول ۷**). برای مثال، اگر هدف دولت رشد اقتصادی در کوتاه‌مدت باشد، قاعده سوم یعنی بدهی دولت به عنوان نسبت ثابتی از تولید ناخالص داخلی بهینه است، در حالی که دسترسی به هدف رشد اقتصادی بلندمدت با قاعده مالی دوم بهتر از سایر قواعد به دست می‌آید.

جدول ۷: جمع‌بندی نتایج شبیه‌سازی مدل پژوهش

هدف سیاستگذار	اولویت انتخاب قاعده در زمان عدم تحریم (از راست به چپ)		اولویت انتخاب قاعده در دوره زمانی تحریم (از راست به چپ)
	کوتاه‌مدت	بلندمدت	
رشد اقتصادی	قاعده سوم - قاعده دوم - قاعده چهارم	قاعده دوم - قاعده یکم - قاعده سوم - قاعده چهارم	قاعده یکم - قاعده دوم - قاعده سوم - قاعده چهارم
افزایش مصرف و سرمایه‌گذاری	قاعده سوم - قاعده دوم - قاعده چهارم	قاعده دوم - قاعده یکم - قاعده سوم - قاعده چهارم	قاعده یکم - قاعده دوم - قاعده سوم - قاعده چهارم
افزایش مخارج دولت	قاعده سوم - قاعده دوم - قاعده چهارم	قاعده دوم - قاعده یکم - قاعده سوم - قاعده چهارم	قاعده یکم - قاعده دوم - قاعده سوم - قاعده چهارم
انباشت سرمایه مالی بخش خصوصی	قاعده سوم - قاعده دوم - قاعده چهارم	قاعده دوم - قاعده یکم - قاعده سوم - قاعده چهارم	قاعده یکم - قاعده دوم - قاعده سوم - قاعده چهارم
کاهش کسری بودجه دولت	قاعده یکم - قاعده چهارم - قاعده سوم	قاعده چهارم - قاعده سوم - قاعده دوم - قاعده یکم	قاعده سوم - قاعده چهارم - قاعده دوم - قاعده یکم

در پایان اشاره به این نکته ضروری است که چون فرض پژوهش این است که تحریم موقت است و بعد از رفع تحریم متغیرها به حالت پایدار خود در قبل از تحریم برمی گردند، نتایج اولویت انتخاب قاعده مالی در جدول (۷) مربوط به دوره زمانی تحریم است.

بحث و نتیجه گیری

هدف پژوهش حاضر تجزیه و تحلیل چهار قاعده مختلف مالی و پاسخ آن‌ها به شوک‌های نامطلوب تحریم نفت در یک مدل تطبیق روانه انباره برای انتخاب قاعده بهینه مالی دولت است. نتایج کلیدی و مهم شبیه سازی مدل پژوهش را می توان این گونه بیان نمود:

• انتخاب قاعده مالی بسته به هدفی که دولت دنبال می کند می تواند متفاوت باشد. برای مثال، اگر دولت هدف رشد اقتصادی را دنبال کند، قاعده سوم بهترین و قاعده یکم بدترین قاعده از بین چهار قاعده است. در حالی که اگر هدف دولت اجتناب از کسری بودجه باشد، قاعده سوم بهترین و قاعده یکم بدترین انتخاب است. این امر لزوم انتخاب قاعده بهینه متناسب با اولویت بندی اهداف دولت را نمایان می کند و بیانگر این نکته است که در اقتصاد، ابزار سیاستی باید متناسب با هدف سیاستگذار انتخاب شود.

• قاعده ای که در کوتاه مدت بهینه محسوب می شود، لزوماً در بلندمدت هم بهینه نیست و سیاستگذار در انتخاب قاعده مالی باید به افق زمانی اثرگذاری آن نیز توجه کند. این امر به خاطر وجود وقفه ها در اقتصاد و متفاوت بودن کشش ها در کوتاه مدت و بلندمدت قابل انتظار است.

• تکانه هایی که به اقتصاد وارد می شوند می توانند اولویت بندی قواعد مالی را تغییر دهند. برای مثال، اگر هدف رشد اقتصادی باشد، در کوتاه مدت قاعده سوم، در بلندمدت قاعده دوم و در زمان تحریم نفتی قاعده یکم بهینه محسوب می شود. در شرایط نبود تحریم نفتی، از بین قواعد چهارگانه پژوهش، در کوتاه مدت قاعده سوم و در بلندمدت قاعده دوم می تواند بهترین نتایج را بر متغیرهای اصلی اقتصاد کلان داشته باشد. اما در شرایط تحریم نفتی، قاعده یکم بهینه است و آثار منفی تحریم نفت بر متغیرهای اقتصاد کلان منتخب مدل را کاهش می دهد. استدلال این نتیجه پژوهش این است که به علت نقش پررنگ نفت در اقتصاد ایران، تکانه تحریم نفتی بر بسیاری از متغیرهای اقتصادی ایران تاثیر خواهد گذاشت و شرایط اقتصادی به شکلی تغییر خواهد کرد که نیازمند انتخاب قاعده مالی متناسب با شرایط جدید اقتصاد، برای نیل به اهداف انتخابی خواهد بود.

این پژوهش دو سهم در پیشبرد ادبیات تجربی قواعد مالی در ایران دارد. سهم نخست، انتخاب

قاعده مالی مناسب برای دولت در شرایط مختلف اقتصادی از جمله تحریم‌ها و با در نظر گرفتن اهداف دولت و افق زمانی است. در این راستا، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در انتخاب قاعده مالی، باید به شرایط حاکم بر اقتصاد، اهداف اقتصادی، و افق زمانی توجه کرد. سهم دیگر این که پژوهش حاضر در پی یافتن روشی از مدلسازی اقتصادی است که انتخاب قاعده مالی را در شرایط مختلف و متناسب با اهداف دولت امکان‌پذیر کند. مدل تطبیق روانه انباره بکارگرفته‌شده در این پژوهش امکان اتصال جنبه‌های واقعی و مالی اقتصاد را در چارچوبی منسجم و یکپارچه فراهم می‌کند که مزیت مهم این مدل‌ها نسبت به مدل‌های رایج کلاسیک است. مدل پژوهش به گونه‌ای ساخته شده است که تغییرات ایجادشده در کل سیستم را هنگامی که یکی از پارامترها با تغییر در رفتار هر یک از بخش‌های درگیر در مدل اصلاح می‌شود، ثبت کند. این ویژگی به مدل اجازه می‌دهد که پیامدهای سیاست مالی یا پولی و همچنین تکانه‌های برون‌زا مانند تحریم را منعکس کند و نشان می‌دهد که چگونه ترازنامه‌های بخش‌های جداگانه به یکدیگر وابسته هستند.

نتایج شبیه‌سازی مدل، اهمیت و لزوم بازنگری در قواعد مالی را متناسب با تغییر شرایط اقتصادی (مانند تحریم) متذکر می‌شود. مهم‌ترین توصیه سیاستی آن است که با پذیرش اثرات منفی تحریم‌ها بر اقتصاد ایران، در درجه نخست برای رفع تحریم‌ها تلاش شود و مدامی که تحریم‌ها وجود دارند برای تبعات آن می‌بایست از پیش راهکارهایی اندیشیده شود. از جمله این که قواعد مالی متناسب با شرایط اقتصاد کشور و اهداف سیاستگذار طراحی گردد و با تغییر شرایط اقتصادی یا تغییر در اولویت اهداف، بازنگری شود و در صورت لزوم تغییر کند. همچنین، مدل استفاده‌شده در این پژوهش، رشد را حذف می‌کند و پس از رسیدن به شرایط باثبات، مقدار متغیرها تغییر نمی‌کند و مدل با یک حالت ساکن همگرا می‌شود. با وجود این، امکان استفاده از مدل‌های رشد در چارچوب الگوی تطبیق روانه انباره وجود دارد که در آن، نسبت مقادیر متغیرها ثابت می‌مانند، اما خود مقادیر می‌توانند تغییر کنند و به یک نرخ رشد پایدار همگرا شوند که در آن انباره‌ها دائماً در حال افزایش هستند.

برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌گردد از مدل‌های رشد استفاده شود. در پایان، اشاره به این نکته ضروری است که پیچیدگی مدل مورد استفاده در این پژوهش، نیازمند دسترسی به متغیرها و پارامترهای متعدد بسیاری است که مهم‌ترین محدودیت، دسترسی به داده‌های برخی از این متغیرها و دشواری کالبره کردن پارامترهاست.

اظهاریه قدردانی

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های معنوی و توصیه‌های ارزشمند داوران محترم و ناشناس، و همچنین ویراستار علمی محترم نشریه برنامه‌ریزی و بودجه (مازیار چابک)، که نقش مهمی در ارتقای سطح کیفی مقاله داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

منابع

الف) انگلیسی

- Alesina, A. F., & Tabellini, G. (1988). Voting on the Budget Deficit. *National Bureau of Economic Research Cambridge, Working Paper No. 2759*. <https://doi.org/10.3386/w2759>
- Altunbaş, Y., & Thornton, J. (2019). The Impact of Financial Development on Income Inequality: A Quantile Regression Approach. *Economics Letters*, 175(1), 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.12.030>
- Alvani, S. M., Poorezat, A., & Nikmaram, S. (2012). Reflection on Interest Groups' Influences on Budgeting in Iran. *Journal of Management Research in Iran*, 16(1), 1-18. https://mri.modares.ac.ir/article_50.html
- Bahrani, J., & Rafei, M. (2014). Sound Fiscal Reactions to Stochastic Shocks: A DSGE Approach. *Iranian Journal of Economic Research*, 19(58), 1-37. https://ijer.atu.ac.ir/article_977.html
- Baltar, C. T. (2015). Inflation and Economic Growth in an Open Developing Country: The Case of Brazil. *Cambridge Journal of Economics*, 39(5), 1263-1280. <https://doi.org/10.1093/cje/beu073>
- Bjørnland, H. C., & Thorsrud, L. A. (2019). Commodity Prices and Fiscal Policy Design: Procyclical Despite a Rule. *Journal of Applied Econometrics*, 34(2), 161-180. <https://doi.org/10.1002/jae.2669>
- Burgess, S., Burrows, O., Godin, A., Kinsella, S., & Millard, S. (2016). A Dynamic Model of Financial Balances for the United Kingdom. *Staff Working Paper No. 614*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2835386>
- Byrialsen, M., & Raza, H. (2020). An Empirical Stock-Flow Consistent Macroeconomic Model for Denmark. *Levy Economics Institute, Working Papers Series. No. 942*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3515450>
- Dafermos, Y., Nikolaidi, M., & Galanis, G. (2017). A Stock-Flow-Fund Ecological Macroeconomic Model. *Ecological Economics*, 131(1), 191-207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.08.013>
- Davoodi, M. H. R., Elger, P., Fotiou, A., Garcia-Macia, M. D., Han, X., Lagerborg, A., ... Medas, M. P. A. (2022). Fiscal Rules and Fiscal Councils: Recent Trends and Performance during the COVID-19 Pandemic. *International Monetary Fund, Working Paper, WP/22/11*. <https://doi.org/10.5089/9798400200472.001>
- Dunz, N., Naqvi, A., & Monasterolo, I. (2021). Climate Sentiments, Transition Risk, and Financial Stability in a Stock-Flow Consistent Model. *Journal of Financial Stability*, 54(1), 100872. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100872>

- Farhadi, D., Danesh, H. A., Ansari Samani, H., & Keshavarz, H. (2019). The Effect of Countercyclical Fiscal Rules on the Iranian Economy with an Emphasis on the Oil Sector (With the National Development Fund). *Economic Growth and Development Research*, 9(36), 77-94. https://egdr.journals.pnu.ac.ir/article_5822.html
- Ghasemi, M., & Mohajeri, P. (2015). Appropriate Fiscal Rules for Financial Policy in Iran. *Planning and Budgeting*, 20(2), 59-84. <http://jpbud.ir/article-1-1149-fa.html>
- Godley, W., & Lavoie, M. (2006). *Monetary Economics: An Integrated Approach to Credit, Money, Income, Production and Wealth*: Palgrave Macmillan.
- Gouvea, R. R., & Lima, G. T. (2013). Balance-of-Payments-Constrained Growth in a Multisectoral Framework: A Panel Data Investigation. *Journal of Economic Studies*, 40(2), 240-254. <https://doi.org/10.1108/01443581311283691>
- Jalles, J. T. (2018). Fiscal Rules and Fiscal Counter-Cyclicality. *Economics Letters*, 170(1), 159-162. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.06.020>
- Kopits, G., & Symansky, S. (1998). Fiscal Policy Rules. *International Monetary Found, Occasioanl Paper* 162. <https://doi.org/10.5089/9781557757043.084>
- Lavoie, M. (2014). A Comment on 'Endogenous Money and Effective Demand': A Revolution or a Step Backwards? *Review of Keynesian Economics*, 2(3), 321-332. <https://doi.org/10.4337/roke.2014.03.04>
- Leeper, E. M., Walker, T. B., & Yang, S.-C. S. (2010). Government Investment and Fiscal Stimulus. *Journal of Monetary Economics*, 57(8), 1000-1012. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2010.09.002>
- Mazzi, B. (2013). *Treasury Finance and Development Banking: A Guide to Credit, Debt, and Risk*: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118738177>
- Mercure, J.-F., Pollitt, H., Viñuales, J. E., Edwards, N. R., Holden, P. B., Chewpreecha, U.,... Knobloch, F. (2018). Macroeconomic Impact of Stranded Fossil Fuel Assets. *Nature Climate Change*, 8(7), 588-593. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0182-1>
- Moreno-Brid, J. C. (1998). On Capital Flows and the Balance-of-Payments-Constrained Growth Model. *Journal of Post Keynesian Economics*, 21(2), 283-298. <https://doi.org/10.1080/01603477.1998.11490194>
- Moreno-Brid, J. C. (2003). Capital Flows, Interest Payments and the Balance-of-Payments Constrained Growth Model: A Theoretical and Empirical Analysis. *Metroeconomica*, 54(2-3), 346-365. <https://doi.org/10.1111/1467-999X.00170>
- Nikiforos, M., & Zezza, G. (2018). Stock-Flow Consistent Macroeconomic Models: A Survey. *Analytical Political Economy*, 31(5), 63-102. <https://doi.org/10.1002/9781119483328.ch4>
- Omotosho, B. S. (2022). Oil Price Shocks and Monetary Policy in Resource-Rich Economies: Does Capital Matter? *Journal of Economic Dynamics and Control*, 143(1), 104479. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2022.104479>
- Papadimitriou, D. B., Nikiforos, M., & Zezza, G. (2013). The Greek Economic Crisis and the Experience of Austerity: A Strategic Analysis. *The Levy Economics Institute of Bard College*, 1-25.
- Papadimitriou, D. B., Nikiforos, M., & Zezza, G. (2016). *A Complementary Currency and Direct Job Creation Hold the Key to Greek Recovery*. Levy Economics Institute.
- Persson, T., & Svensson, L. E. (1989). Why a Stubborn Conservative Would Run a Deficit: Policy with Time-Inconsistent Preferences. *The Quarterly Journal of Economics*,

- 104(2), 325-345. <https://doi.org/10.2307/2937850>
- Rogoff, K. S. (1987). Equilibrium Political Budget Cycles. *National Bureau of Economic Research Cambridge, Working Paper No. 2428*. <https://doi.org/10.3386/w2428>
- Schaechter, M. A., Kinda, M. T., Budina, M. N., & Weber, A. (2012). Fiscal Rules in Response to the Crisis: Toward the "Next-Generation" Rules: A New Dataset. *International Monetary Fund, Working Paper, WP/12/187*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2169733>
- Tavakolian, H., Mohammadi, T., & Siami Iraqi, S. (2020). Determining the Fiscal Rule of the Budget Balance for the Iran Economy, Stochastic Dynamic General Balance Approach (DSGE). *Quarterly Journal of Economic Research and Policies*, 28(95), 7-53. <http://qjerp.ir/article-1-2647-fa.html>
- Thirlwall, A. P. (1979). The Balance of Payments Constraint as an Explanation of International Growth Rate Differences. *BNL Quarterly Review*, 32(128), 45-53.
- Thirlwall, A. P. (2012). Balance of Payments Constrained Growth Models: History and Overview. In P. A. Cerqueira (Ed.), *Models of Balance of Payments Constrained Growth* (pp. 11-49): Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9781137023957_2
- Thirlwall, A. P., & Hussain, M. N. (1982). The Balance of Payments Constraint, Capital Flows and Growth Rate Differences between Developing Countries. *Oxford Economic Papers*, 34(3), 498-510. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.oep.a041565>
- Zezza, F. (2018). Stock-Flow Consistent Macroeconomic Models: Theory, Practice and Applications. *Unpublished Phd Thesis, University of Siena*.

(ب) فارسی

- پهلوانی، مصیب؛ دهمرده، نظر، و حسینی، سیدمهدی (۱۳۸۶). تخمین توابع تقاضای صادرات و واردات در اقتصاد ایران با استفاده از روش همگرایی ARDL. *نشریه بررسی‌های اقتصادی*، ۴(۳)، ۱۲۰-۱۰۱.
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۴). *ضرورت تعیین قواعد مالی برای منابع و مصارف دولت*. معاونت پژوهش‌های اقتصادی مجلس، دفتر مطالعات بخش عمومی (گروه بودجه)، شماره مسلسل ۱۴۶۶۳.
- <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/952421>

نحوه ارجاع به مقاله:

مقصودپور، محمدعلی؛ سلیمی‌فر، مصطفی، و صالح‌نیا، نرگس (۱۴۰۱). انتخاب قاعده مالی برای دولت با هدف کاهش آثار منفی تحریم نفتی بر متغیرهای منتخب اقتصاد کلان در ایران: کاربردی از مدل تطبیق روانه انبار. نشریه برنامه‌ریزی و بودجه، ۲۷(۳)، ۷۵-۱۰۸.

Maghsoudpour, M., Salimifar, M., & Salehnia, N. (2022). Selecting the Government financial rule for Reducing the Negative Effects of the Oil Sanctions on the Selected Macroeconomic Variables in Iran: Adopting the Stock-Flow Consistent Model. *Planning and Budgeting*, 27(3), 75-108.

DOI: <https://doi.org/10.52547/jpbud.27.3.75>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا با تاکید بر عوامل نهادی، سرمایه انسانی و عقب‌ماندگی نسبی

m.esfandiari@eco.usb.ac.ir |

سعید جعفری

دکتری اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.

pahlavani@eco.usb.ac.ir |

مرضیه اسفندیاری

دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران، (نویسنده مسئول).

مصیب پهلوانی

دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۱

چکیده: روند بهره‌وری کل عوامل و رشد تولید ناخالص داخلی سرانه در بیش‌تر کشورهای شرق آسیا صعودی و در بیش‌تر کشورهای غرب آسیا نزولی یا نوسانی است. در این راستا پژوهش حاضر به دنبال بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل و در نتیجه رشد اقتصادی در کشورهای شرق و غرب آسیا است. این پژوهش به‌طور خاص به تحلیل نقش سرمایه انسانی، عوامل نهادی و عقب‌ماندگی نسبی در تفاوت بهره‌وری کشورهای شرق و غرب آسیا طی دوره زمانی ۲۰۱۹-۲۰۰۰ پرداخته است. اهمیت این مسئله از آن جهت است که عمده رشد اقتصادی کشورها از کانال بهره‌وری کل عوامل است و بررسی عوامل موثر بر بهره‌وری می‌تواند دلایل رشد کشورهای شرق آسیا و عقب‌ماندگی کشورهای غرب آسیا را نمایان کند. در این پژوهش، با تشکیل دو گروه مجزا از کشورهای شرق و غرب آسیا، مدل با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) ایستا برآورد شده و نتایج برای این دو گروه از کشورها مقایسه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که سرمایه انسانی، عوامل نهادی، و عقب‌ماندگی نسبی (شکاف فناوری) مهم‌ترین دلایل تفاوت بهره‌وری در کشورهای شرق و غرب آسیا هستند.

کلیدواژه‌ها: بهره‌وری کل عوامل، شرق و غرب آسیا، سرمایه انسانی، عوامل نهادی، فاصله از مرز فناوری.

طبقه‌بندی JEL: Q40, Q47, Q49, J24.

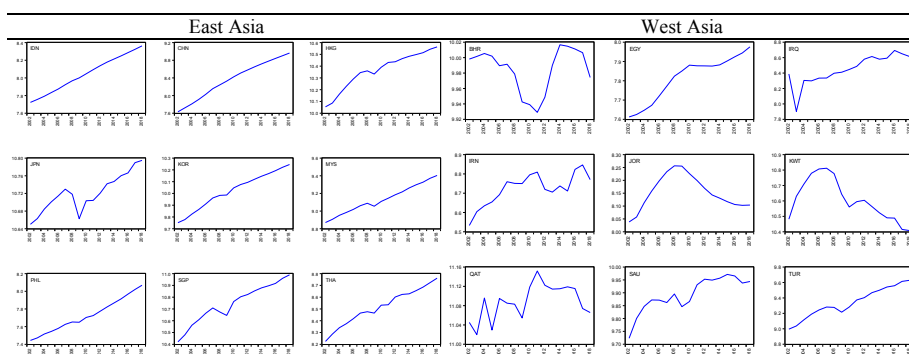
مقدمه

کشورهای شرق و غرب آسیا با آن که در یک قاره هستند، اما تفاوت قابل توجهی در ساختار و رشد اقتصادی دارند. ساختار اقتصادی کشورهای غرب آسیا به میزان قابل توجهی مبتنی بر درآمدهای نفتی است، در حالی که در کشورهای شرق آسیا درآمدهای نفتی بسیار ناچیز است. رشد اقتصادی در کشورهای غرب آسیا به میزان قابل توجهی تحت تاثیر درآمدهای نفتی است؛ حتی می توان گفت اتکای بیش از اندازه به درآمدهای نفتی، کشورهای غرب آسیا را از رشد بلندمدت و باثبات دور کرده است. در واقع، این کشورها دچار «بیماری هلندی»^۱ و پدیده «نفرین منابع طبیعی»^۲ هستند. اما اقتصاد کشورهای شرق آسیا - که تقریباً از منابع طبیعی بی بهره اند - مبتنی بر فناوری و فعالیت های نوآورانه و خلاقانه است. بر اساس شکل (۱)، سرانه تولید ناخالص داخلی واقعی در تمام کشورهای شرق آسیا روند صعودی دارد؛ هرچند این کشورها از نظر مقدار سرانه تولید ناخالص داخلی با هم متفاوت اند. این در حالی است که سرانه تولید ناخالص داخلی در برخی کشورهای غرب آسیا نوسانی، در برخی دیگر به صورت U معکوس، و در تعدادی از آنها صعودی است. مقدار بالای سرانه تولید ناخالص داخلی در کشورهای غرب آسیا به دلیل درآمدهای نفتی بالا و جمعیت کم کشورهاست. اما دلیل تفاوت رشد اقتصادی در کشورهای شرق و غرب آسیا چیست؟ بر اساس مدل رشد نئوکلاسیکی، رشد اقتصادی یا از کانال انباشت عوامل تولید حاصل می شود یا از طریق بهره‌وری کل عوامل^۳ (TFP) (Li & Wang, 2018). در واقع، عوامل تولید و بهره‌وری آنها در کنار یکدیگر می تواند زمینه ساز رشد اقتصادی کشور شود. نوین^۴ (۲۰۰۹)، استدلال می کند که انباشت عوامل در کوتاه مدت و میان مدت می تواند به رشد اقتصادی منجر شود و در بلندمدت - همچنان که سولو^۵ (۱۹۵۷) بیان کرد - TFP عامل اصلی رشد است.

بهره‌وری کل عوامل یا به تعبیر سولو (۱۹۵۷) «تغییر فنی»^۶، یکی از عوامل مهم تفاوت رشد اقتصادی در کشورهای مختلف در بلندمدت است. یافته‌های وی نشان می دهد که طی دوره زمانی ۱۹۴۹-۱۹۰۹، تولید ناخالص آمریکا به ازای هر نفر - ساعت دو برابر شده است و ۸۷/۵ درصد از این رشد ناشی از افزایش عامل تغییر فنی و ۱۲/۵ درصد آن ناشی از افزایش استفاده از سرمایه بوده

1. Dutch Disease
2. Natural Resources Curse
3. Total Factor Productivity
4. Nguyen
5. Solow
6. Technical Change

است. بنابراین، بهره‌وری کل عوامل عامل مهمی است که می‌تواند عمده تفاوت رشد اقتصادی کشورها را توضیح دهد. این عامل می‌تواند از متغیرهای بسیاری نظیر بهبود در آموزش نیروی کار و دیگر متغیرهایی که سبب انتقال تابع تولید می‌شود، تاثیر بپذیرد.



شکل ۱: لگاریتم طبیعی تولید ناخالص داخلی سرانه در کشورهای منتخب آسیای شرقی و غربی

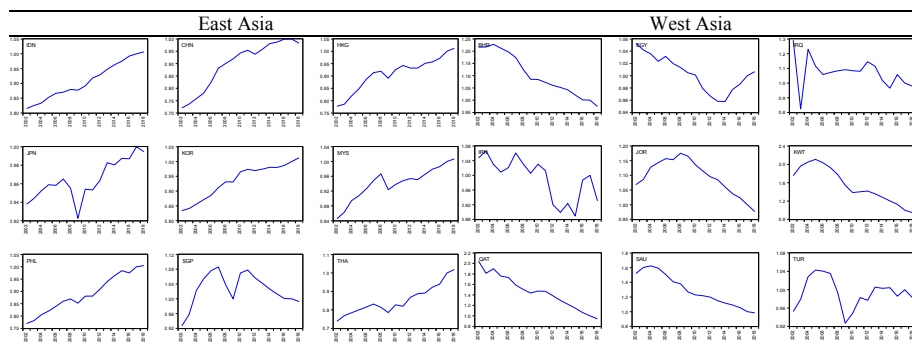
منبع داده‌ها: بانک جهانی

با بررسی داده‌های بهره‌وری کل عوامل مشاهده می‌شود که روند و مقدار TFP در کشورهای شرق و غرب آسیا، تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند. بر اساس **شکل (۲)**، روند بهره‌وری کل عوامل در بیش‌تر کشورهای مورد بررسی آسیای شرقی طی دوره زمانی پژوهش صعودی است، در حالی که این روند در بیش‌تر کشورهای آسیای غربی نزولی یا نوسانی است. برای نمونه، روند TFP در کشورهای اندونزی، چین، کره جنوبی، فیلیپین، هنگ‌کنگ و تایلند به‌طور مشخص و در کشور ژاپن نیز با وجود نوسانات، صعودی است. تنها در کشور سنگاپور روند بهره‌وری اندکی نوسانی است، ولی در مجموع مقدار آن نسبت به ابتدای دوره افزایش یافته است. این در حالی است که روند TFP در آسیای غربی در کشورهای بحرین، قطر، کویت و عربستان نزولی؛ در اردن، مصر و ایران نوسانی و نزولی؛ و در ترکیه و عراق نوسانی است. البته روند صعودی TFP در کشورهای آسیای شرقی و روند نزولی آن در کشورهای آسیای غربی منحصر به دوره زمانی پژوهش نیست و در سال‌های پیش از این نیز - حتی به شکل روشن‌تر - وجود دارد. بنابراین، می‌توان گفت تفاوت قابل توجهی میان کشورهای آسیای شرقی و غربی در روند و مقدار TFP وجود دارد. حال باید دید چه عواملی سبب تفاوت بهره‌وری در این دو ناحیه می‌شوند؟

بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که متغیرهای بسیاری از جمله سرمایه انسانی، عوامل نهادی، شاخص‌های عقب‌ماندگی نسبی^۱، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تورم، درجهٔ باز بودن تجاری و توسعه مالی می‌تواند بر بهره‌وری کل عوامل تاثیر داشته باشد. بررسی آمارها نشان می‌دهد که وضعیت کشورهای شرق آسیا در تمام شاخص‌های بیان‌شده مطلوب‌تر از کشورهای غرب آسیا است، اما این‌که دقیقاً کدام‌یک از این متغیرها عامل تفاوت بهره‌وری و رشد اقتصادی در کشورهای شرق و غرب آسیا است، نیاز به بررسی و تحلیل دارد. سرمایه انسانی از یک‌سو نوآوری را در فرایند تولید و از سوی دیگر، سرعت انطباق با فناوری‌های موجود را افزایش می‌دهد و از این دو طریق بر بهره‌وری کل عوامل تاثیر می‌گذارد (Li & Wang, 2018). بر اساس آمار ارائه‌شده در FRED، روند سرمایه انسانی به عنوان یکی از متغیرهای اثرگذار بر TFP در کشورهای شرق و غرب آسیا صعودی بوده است، اما مقدار آن در کشورهای شرق آسیا به‌طور متوسط بالاتر از کشورهای غرب آسیا است.^۲

دیگر متغیر مهم اثرگذار بر بهره‌وری، عوامل نهادی است که به‌طور متوسط در کشورهای شرق آسیا نسبت به کشورهای غرب آسیا وضعیت مطلوب‌تری دارد. بر اساس **عجم‌اگلو**^۳ (۲۰۱۲)، تفاوت در نهادهای اقتصادی عامل اصلی تفاوت درآمد سرانه در کشورهای مختلف است. وی استدلال می‌کند که تفاوت در سازماندهی تولید که سبب می‌شود برخی کشورها منابع خود را کارا تر استفاده کنند، عامل مهم رشد اقتصادی است (Acemoglu & Robinson, 2008). بر اساس **اشرف و همکاران**^۴ (۲۰۱۶)، **بالسرزاک و پیترزاک**^۵ (۲۰۱۶)، نهادهای اقتصادی کارآمد می‌توانند با کاهش ناطمینانی و افزایش ثبات، هزینه‌های مبادلاتی را کاهش دهند و از این طریق سبب تخصیص کارآمد منابع و گسترش دانش و ایده‌های جدید شوند که این امر افزایش بهره‌وری کل عوامل را به دنبال دارد.

1. Relative Backwardness
2. <https://fred.stlouisfed.org/>
3. Acemoglu
4. Ashraf *et al.*
5. Balcerzak & Pietrzak



شکل ۲: بهره‌وری کل عوامل در کشورهای منتخب آسیای شرقی و غربی
منبع داده‌ها: پایگاه داده‌ای FRED

شاخص‌های عقب‌ماندگی نسبی - که از آن با عنوان شکاف فناوری نیز یاد می‌شود - دیگر عامل تاثیرگذار بر بهره‌وری کل عوامل است. یک شاخص مرسوم برای اندازه‌گیری عقب‌ماندگی نسبی، فاصله از مرز فناوری است که برای اندازه‌گیری آن از نسبت بهره‌وری نیروی کار در کشور پیشرو (مثلاً آمریکا) به بهره‌وری نیروی کار در کشور مورد بررسی استفاده می‌شود. روند این متغیر در بیش‌تر کشورهای شرق آسیا نزولی و در بیش‌تر کشورهای غرب آسیا نوسانی یا حتی نزولی است. در واقع، فاصله از مرز فناوری در کشورهای شرق آسیا در طول زمان کاهش یافته است، در حالی که در کشورهای غرب آسیا با افت‌وخیز روبه‌رو بوده یا حتی افزایش یافته است. به صورت نظری استدلال می‌شود که فاصله بیش‌تر از مرز فناوری سبب می‌شود که کشورهای نسبتاً عقب‌مانده سریع‌تر به سمت کشورهای پیشرو همگرا شوند (Findlay, 1978; Wang & Blomström, 1992). با این استدلال، فاصله بیش‌تر از مرز فناوری سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل خواهد شد. هرچند این فرضیه در برخی مطالعات به صورت تجربی حمایت نمی‌شود (Malikane & Chitambara, 2017; Benzaim et al., 2021).

با توجه به مطالب پیش‌گفته، این پژوهش با هدف بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا، با تشکیل دو گروه مجزا از کشورهای منتخب این دو ناحیه، میزان تاثیرگذاری هر یک از عوامل موثر بر بهره‌وری کل عوامل - به‌ویژه سرمایه انسانی، عوامل نهادی، و عقب‌ماندگی نسبی - را در دو ناحیه بررسی و مقایسه می‌کند. در واقع، پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است: دلایل اصلی تفاوت بهره‌وری و در نتیجه رشد اقتصادی در کشورهای شرق و غرب آسیا

چیست؟ پژوهش حاضر از جنبه‌هایی با سایر مطالعات این حوزه متفاوت است. شاخص‌های اقتصادی در کشورهای شرق و غرب آسیا همواره با یکدیگر مقایسه می‌شوند. از سوی دیگر، روند درآمد سرانه و بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق آسیا صعودی و برای بیش‌تر کشورهای غرب آسیا نزولی یا نوسانی است. این بدان معناست که رشد اقتصادی و رشد بهره‌وری در کشورهای شرق آسیا، برخلاف کشورهای غرب آسیا، در مجموع روند صعودی دارد؛ بنابراین انتخاب کشورهای شرق و غرب آسیا با توجه به تفاوت بهره‌وری کل عوامل در این مناطق و با هدف بررسی علت آن صورت می‌پذیرد و این یکی از مهم‌ترین سهم‌های پژوهش حاضر است. در واقع، هیچ پژوهشی در سطح دنیا به بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری و رشد اقتصادی در این دو دسته از کشورها نپرداخته است. از طرفی، بیش‌تر پژوهش‌های این حوزه (Rath et al., 2019; Li & Tanna, 2019) عوامل موثر بر TFP را در یک کشور، منطقه یا گروه بررسی کردند و مطالعات مقایسه‌ای نیز به کشورهای شرق آسیا، اروپا و آمریکا محدود می‌شود، در حالی که این پژوهش علاوه بر بررسی عوامل پیشران و محدودکننده در هر منطقه، عوامل موثر بر تفاوت بهره‌وری در این مناطق را نیز بررسی می‌کند. همچنین، پژوهش حاضر علاوه بر متغیرهای رایج، متغیرهای کم‌تر استفاده‌شده در ادبیات بهره‌وری مانند عوامل نهادی (شاخص‌های حکمرانی و آزادی اقتصادی) و عقب‌ماندگی نسبی را نیز مد نظر قرار می‌دهد. عوامل نهادی تاثیر ۱۳ شاخص مهم نهادی را بر بهره‌وری مد نظر قرار داده و عقب‌ماندگی نسبی نقش شکاف فناوری را در این کشورها در مقایسه با کشور آمریکا، به عنوان کشور پیشرو، در نظر گرفته است. بنابراین، پژوهش فعلی جنبه‌های مهم ادبیات تجربی پیرامون بهره‌وری کل عوامل را مد نظر قرار می‌دهد و به‌نوعی تجمیع ادبیات در این حوزه است. اگرچه مطالعات بسیاری نقش سرمایه انسانی را در رشد بهره‌وری کل عوامل بررسی کرده‌اند، اما در این پژوهش از شاخص سرمایه انسانی مبتنی بر متوسط سال‌های تحصیل و بازدهی‌های آموزش بهره گرفته شده است که نسبت به سایر مطالعات، ابعاد وسیع‌تری از سرمایه انسانی را دربر می‌گیرد.

یافته‌ها نشان می‌دهد که سرمایه انسانی، عوامل نهادی و عقب‌ماندگی نسبی (شکاف فناوری) از مهم‌ترین دلایل تفاوت بهره‌وری در کشورهای شرق و غرب آسیا هستند. سرمایه انسانی در بیش‌تر موارد در کشورهای آسیای شرقی تاثیر مثبت بر بهره‌وری کل عوامل دارد، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیر منفی بر آن دارد. همچنین، یافته‌ها نشان می‌دهد که شاخص‌های نهادی در بیش‌تر موارد در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیر معناداری بر بهره‌وری کل عوامل ندارد. فاصله بیش‌تر از مرز فناوری (عقب‌ماندگی نسبی بیش‌تر) نیز در کشورهای غرب آسیا نسبت به کشورهای شرق آسیا کاهش بیش‌تر بهره‌وری کل عوامل را به دنبال دارد.

مبنای نظری پژوهش و معرفی مدل

هرچند ادبیات نظری گسترده‌ای پیرامون تفاوت اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل در مدل‌های مختلف رشد وجود دارد، اما مبنای نظری صریحی در خصوص عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری وجود ندارد. در واقع، نظریه اقتصادی صریحی وجود ندارد که افزایش بهره‌وری را به عوامل خاصی نسبت دهد. از طرفی، با تکامل مدل‌های رشد - به‌ویژه مدل‌های رشد درون‌زا - بهره‌وری به صورت یک مفهوم درون‌زا مطرح شد؛ یعنی عوامل مختلفی سبب افزایش یا کاهش بهره‌وری کل عوامل می‌شوند. علی‌رغم فقدان یک نظریه اقتصادی صریح پیرامون عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری، پژوهش‌های تجربی گسترده‌ای پیرامون شناسایی عوامل مختلف تاثیرگذار بر آن صورت پذیرفته است که هر یک با تاکید بر یک یا چند متغیر، در تکامل ادبیات آن پیشبرد داشته‌اند. در واقع، می‌توان گفت ادبیات پیرامون عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری در حال تکامل است و چه‌بسا در آینده، این عوامل در قالب یک نظریه ارائه شوند. بنابراین، در حال حاضر مطالعات حوزه بهره‌وری در دسته مطالعات تجربی مبتنی بر شواهد جای می‌گیرند نه در گروه مطالعات تجربی مبتنی بر یک نظریه.

با تکامل مفهوم بهره‌وری در طول زمان، فرض برون‌زا بودن نوآوری در مدل‌های رشد نئوکلاسیکی کنار گذاشته شده و فرض شده است که بهره‌وری کل عوامل درون‌زاست و تحت تاثیر عواملی چون سرمایه انسانی، تحقیق و توسعه، و دانش فنی بوده است. هرچند بهره‌وری کل عوامل به عنوان یک جزء مهم و محبوب در ادبیات رشد مطرح شده و می‌شود، اما اتفاق نظری در این مورد که دقیقاً چه متغیرهایی بر روند TFP در یک کشور یا منطقه تاثیرگذارند وجود ندارد. نظریه‌های مختلف نیز سعی بر آن داشتند که ماهیت TFP را - به عنوان عاملی که رشد اقتصادی کشورها به میزان قابل توجهی تحت تاثیر آن است - بشناسند. بنابراین، شناسایی و بررسی عوامل مختلف تاثیرگذار بر بهره‌وری می‌تواند در کشف ماهیت بهره‌وری به عنوان عامل اصلی رشد اقتصادی کشورهای مختلف نقش بسزایی ایفا کند. در این راستا پژوهش‌های تجربی با درون‌زا فرض کردن TFP و با هدف شناسایی عوامل تاثیرگذار بر آن، با تاکید بر یکی از متغیرهای تاثیرگذار بر بهره‌وری، به بررسی نقش آن متغیر پرداختند. برای نمونه، پژوهش‌های مختلفی سرمایه انسانی را به عنوان یکی از عوامل رشد اقتصادی و رشد بهره‌وری کل عوامل مطرح کردند. نقش سرمایه انسانی در رشد اقتصادی توسط **لوکاس**^۱ (۱۹۸۸) و نقش سرمایه انسانی در بهره‌وری توسط **نلسون و فلیس**^۲ (۱۹۶۶) مطرح شد. **نلسون و فلیس** (۱۹۶۶)، نشان می‌دهند که سرمایه

1. Lucas

2. Nelson & Phelps

انسانی از «کانال بهره‌وری» بر رشد اقتصادی اثر می‌گذارد. این بدان معناست که کشورهایی که انباشت سرمایه انسانی بیش‌تری دارند می‌توانند نوآوری بیش‌تری در فرایند تولید داشته باشند و همچنین با فناوری‌های موجود سریع‌تر تطبیق یابند. این سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل و خلق ارزش‌افزوده می‌شود (Kumar & Kober, 2012; Li & Wang, 2018; Conti & Sulis, 2016).

گروه دیگری از پژوهش‌ها بر نقش نهادها در رشد اقتصادی و رشد بهره‌وری کل عوامل تأکید دارند. **عجم‌الگو (۲۰۱۲)** بر نقش نهادها در فرایند رشد اقتصادی تأکید می‌کند و پژوهش‌هایی چون **اشرف و دیگران (۲۰۱۶)** و **بالسرزاک و پیترزاک (۲۰۱۶)** بر نقش عوامل نهادی در رشد بهره‌وری تأکید دارند. بر اساس **اشرف و دیگران (۲۰۱۶)** و **بالسرزاک و پیترزاک (۲۰۱۶)**، نهادهای اقتصادی کارآمد می‌توانند با کاهش ناطمینانی و افزایش ثبات، هزینه‌های مبادلاتی را کاهش دهند و از این طریق سبب تخصیص کارآمد منابع و گسترش دانش و ایده‌های جدید شوند که این امر افزایش بهره‌وری کل عوامل را به دنبال دارد. از طرفی، نقش عقب‌ماندگی نسبی در بهره‌وری توسط اقتصاددانانی چون **فایندلی (۱۹۷۸)** و **وانگ و بلومستروم (۱۹۹۲)** مطرح شد. **فایندلی (۱۹۷۸)**، به صورت نظری استدلال می‌کند که نرخ پیشرفت فناوری در یک کشور نسبتاً عقب‌افتاده تابعی فزاینده از شکاف بین سطح فناوری خود آن کشور و منطقه پیشرفته و درجهٔ باز بودن سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (نسبت سرمایه مستقیم خارجی به سرمایه داخلی کشور) در آن کشور است. بر اساس **وانگ و بلومستروم (۱۹۹۲)** نیز کشورهایی که منابع بیش‌تری را به سرمایه‌گذاری در یادگیری تخصیص می‌دهند، سرعتشان برای رسیدن به کشورهای پیشرفته افزایش می‌یابد. البته نقش دولت در سوق دادن بنگاه‌های داخلی به سمت یادگیری از بنگاه‌های خارجی انکارناپذیر است. همچنین، **بالتابو^۱ (۲۰۱۴)** استدلال می‌کند که فاصله بیش‌تر از مرز فناوری در کشورهای کم‌تر توسعه‌یافته سبب می‌شود که آن‌ها سریع‌تر به فناوری کشورهای پیشرو دست یابند. در واقع، کشورهای عقب‌مانده به لحاظ فناورانه می‌توانند از طریق واردات و استفاده از فناوری کشورهای پیشرفته رشد کنند.

نقش سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در بهره‌وری نیز توسط **هسایو و شن^۲ (۲۰۰۳)** و **ژو و همکاران^۳ (۲۰۰۲)** تبیین شد. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیز از یک‌سو با افزایش تشکیل سرمایه ناخالص سبب افزایش نرخ تشکیل سرمایه می‌شود و از سوی دیگر، از طریق بهبود فضای رقابتی، اثرات خارجی مثبت فناوری و اثرات سرریز، بهره‌وری سرمایه را افزایش می‌دهد (Hsiao & Shen, 2003). همچنین نقش

1. Baltabaev
2. Hsiao & Shen
3. Zhou et al.

FDI در ورود و انتقال فناوری‌های پیشرفته و شیوه‌های مدرن مدیریتی - به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه - انکارناپذیر است (Zhou *et al.*, 2002; Li & Tanna, 2019). تاثیر متغیرهایی چون توسعه مالی، تورم، و درجه باز بودن تجاری بر بهره‌وری در مطالعات تجربی بسیاری نظیر لی و تانا (۲۰۱۹) به چشم می‌خورد. تورم در طرف تقاضا، با کاهش درآمد حقیقی افراد، قدرت خرید آن‌ها را کاهش می‌دهد و در طرف عرضه، انگیزه بنگاه‌ها را برای سرمایه‌گذاری سلب می‌کند و از این دو طریق رشد TFP را می‌کاهد (Li & Tanna, 2019). در واقع، تورم با تاثیر بر قیمت‌های نسبی و تصمیم‌های سرمایه‌گذاران، هزینه‌هایی را بر تولید تحمیل می‌کند (Mahadevan & Asafu-Adjaye, 2005). توسعه مالی نیز سبب می‌شود که فرصت‌های بیش‌تری برای متنوع‌سازی و همچنین ریسک‌پذیری به‌وجود آید و از این طریق می‌تواند TFP را به صورت مثبت یا منفی تحت تاثیر قرار دهد (Li & Tanna, 2019). درجه باز بودن تجاری دیگر متغیر تاثیرگذار بر بهره‌وری است که از دو طریق می‌تواند سبب افزایش TFP شود. از یک‌سو بر اساس فرضیه «یادگیری حین صادرات»^۱ کارایی یک بنگاه با ورود به بازارهای صادراتی افزایش می‌یابد (De Loecker, 2013) و از سوی دیگر، گسترش مبادلات تجاری می‌تواند رشد TFP را به همراه داشته باشد (Li & Tanna, 2019).

همچنان که بیان شد، پژوهش جامعی در خصوص عوامل تاثیرگذار بر بهره‌وری کل عوامل صورت نپذیرفته است و حتی مطالعاتی چون لی و تانا (۲۰۱۹) - که یکی از جامع‌ترین پژوهش‌های این حوزه است - جنبه‌های مهمی را در پژوهش خود لحاظ نکرده‌اند. بنابراین، می‌توان گفت که هرچند در مورد عوامل موثر بر بهره‌وری کل عوامل نظریه صریحی وجود ندارد، اما بر اساس ادبیات، بهره‌وری تابعی از متغیرهای متعدد است. در این پژوهش نیز بر اساس پژوهش ژو و دیگران (۲۰۰۲) و با در نظر گرفتن ساختار داده‌های تابویی می‌توان بهره‌وری کل عوامل را برای کشور i در زمان t به صورت تابعی از متغیرهای مختلف در نظر گرفت:

$$TFP_{it} = F(x_{it}) \quad (1)$$

که در آن TFP_{it} بهره‌وری کل عوامل در کشور i در زمان t و x_{it} هر یک از عوامل مختلف تاثیرگذار بر TFP در کشور i در زمان t است. در این پژوهش، بر اساس ادبیات پیرامون بهره‌وری کل عوامل، به‌ویژه پژوهش لی و تانا (۲۰۱۹) و ساختار اقتصادی کشورهای آسیای شرقی و غربی، مهم‌ترین عوامل موثر بر بهره‌وری در قلمرو مکانی پژوهش در قالب مدل (۲) معرفی می‌شود:

$$TFP_{it} = \alpha_0 + \beta_j x_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

که در آن x_{it} برداری از متغیرهای سرمایه‌انسانی، شاخص‌های نهادی، شاخص عقب‌ماندگی

نسبی، تورم، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، درجه باز بودن تجاری، و توسعه مالی و β_j ضرایب هر یک از این متغیرهاست. همچنین، μ_j اثرات خاص هر کشور و ε_{ij} جزء اختلال تصادفی مدل است. هرچند هدف پژوهش حاضر شناسایی عوامل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا است، اما این پژوهش به‌طور خاص بر نقش سرمایه انسانی، نهادها و عقب‌ماندگی نسبی تمرکز می‌کند. همچنین، تمام متغیرهای مدل به صورت لگاریتمی تصریح شده‌اند.

معرفی داده‌ها

در این پژوهش، بهره‌وری کل عوامل به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای سرمایه انسانی، شاخص‌های نهادی، شاخص عقب‌ماندگی نسبی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، توسعه مالی، تورم و درجه باز بودن تجاری به عنوان متغیرهای مستقل در مدل عمل می‌کنند. متغیر سرمایه انسانی استفاده‌شده در مدل مبتنی بر متوسط سال‌های تحصیل و بازده تحصیلات است که برخلاف متغیرهای سرمایه انسانی معمول در دیگر پژوهش‌های تجربی، شاخصی دوبعدی است. بنابراین، جایگزین مناسب‌تر و نزدیک‌تری به مفهوم سرمایه انسانی است و از این نظر نسبت به دیگر شاخص‌ها برتری دارد. در این پژوهش برای به حساب آوردن نقش متغیرهای نهادی در فرایند بهره‌وری از شاخص‌های نهادی مختلفی استفاده می‌شود. شاخص‌های حق اظهار نظر و پاسخگویی^۱ (VA)، ثبات سیاسی و نبود خشونت/ تروریسم^۲ (PSAVT)، کارایی دولت^۳ (GE)، کیفیت نظارت^۴ (RQ)، حاکمیت قانون^۵ (RL)، و کنترل فساد^۶ (CC) به عنوان شاخص‌های حکمرانی از سایت بانک جهانی^۷ گردآوری شده است. همچنین، از میانگین ساده این شش شاخص به عنوان شاخص حکمرانی^۸ (GOV) استفاده می‌شود. از سوی دیگر شاخص‌های اندازه دولت^۹ (SG)، سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت^{۱۰} (LSPR)، پول سالم^{۱۱} (SM)، آزادی تجارت بین‌المللی^{۱۲} (FTI)، و مقررات^{۱۳} (REG) به عنوان

1. Voice and Accountability
2. Political Stability and Absence of Violence/ Terrorism
3. Government Effectiveness
4. Regulatory Quality
5. Rule of Law
6. Control of Corruption
7. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
8. Governance Index
9. Size of Government
10. Legal Systems & Property Rights
11. Sound Money
12. Freedom to Trade Internationally
13. Regulation

شاخص‌های آزادی اقتصادی از بنیاد فریزر^۱ جمع‌آوری شده است. میانگین ساده این پنج شاخص نیز به عنوان شاخص آزادی اقتصادی^۲ (EF) در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، در پژوهش حاضر تاثیر متغیرهای نهادی بر بهره‌وری با استفاده از ۱۳ شاخص سنجیده می‌شود. قلمرو مکانی این پژوهش کشورهای منتخب شرق و غرب آسیا است. کشورهای شرق آسیا شامل ژاپن، کره جنوبی، سنگاپور، چین، مالزی، اندونزی، تایلند، هنگ کنگ و فیلیپین و کشورهای غرب آسیا شامل ایران، عربستان، بحرین، قطر، عراق، اردن، کویت، مصر و ترکیه هستند. کشورهای مصر و ترکیه به دلیل دارا بودن ناحیه‌ای آسیایی، جزو کشورهای غرب آسیا در نظر گرفته شده‌اند. یکی از محدودیت‌های این پژوهش کمبود داده‌های نهادی، به‌ویژه برای کشورهای غرب آسیا است. داده‌های نهادی بنیاد فریزر به صورت سری زمانی سالیانه برای بیش تر کشورها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و داده‌های بانک جهانی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در دسترس است. از طرفی، داده‌های بنیاد فریزر برای برخی کشورها نظیر عراق، عربستان و قطر از این تعداد نیز کم‌تر است. این محدودیت‌ها سبب کاهش دوره زمانی پژوهش شده است. به همین دلیل، دوره زمانی پژوهش برای مدل‌هایی که در آن‌ها از شاخص‌های نهادی بنیاد فریزر استفاده شده است، از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و برای مدل‌هایی که شاخص‌های نهادی بانک جهانی در آن‌ها بکار رفته است، از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است.

بر اساس ادبیات تجربی، برای به حساب آوردن تاثیر عقب‌ماندگی نسبی - که از آن به عنوان شکاف فناوری نیز یاد می‌شود - بر اساس پژوهش مالیکنه و چیتامبارا (۲۰۱۷)، می‌توان از دو شاخص فاصله از مرز فناوری^۳ (DTF) و شکاف درآمدی^۴ (IG) استفاده کرد. شاخص مناسب برای محاسبه فاصله از مرز فناوری، نسبت TFP در کشور پیشرو به TFP در کشور مورد بررسی است. اما با توجه به این‌که این شاخص با جزء اخلاص همبستگی دارد، بر اساس بالتابو (۲۰۱۴) از نسبت بهره‌وری نیروی کار در کشور پیشرو (آمریکا) به بهره‌وری نیروی کار در کشور مورد بررسی استفاده می‌شود. همچنین بر اساس لی و لیو^۵ (۲۰۰۵)، برای محاسبه شکاف درآمدی از لگاریتم طبیعی نسبت درآمد سرانه کشور پیشرو (مثلاً آمریکا) به درآمد سرانه کشور مورد بررسی استفاده می‌شود. به دلیل آن‌که تولید ناخالص داخلی بیش تر کشورهای غرب آسیا تحت تاثیر درآمدهای نفتی است، استفاده از شاخص شکاف درآمدی ممکن است به دستیابی به نتایج قابل‌اتکایی منجر نشود. به همین دلیل، در پژوهش

1. <https://www.fraserinstitute.org/economic-freedom/dataset?geozone=world&page=datas&et&min-year=2&max-year=0&filter=0>
2. Economic Freedom Index
3. Distance to Technological Frontier
4. Income Gap
5. Li & Liu

حاضر تنها شاخص فاصله از مرز فناوری بکار می‌رود.

سایر متغیرها نیز که به‌طور گسترده در ادبیات تجربی بهره‌وری استفاده شده، در جدول (۱) توصیف شده است. این متغیرها شامل سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تورم، درجه باز بودن تجاری، و توسعه مالی است. این متغیرها به عنوان متغیر کنترل در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۱: معرفی و توصیف متغیرها

نام متغیر	توصیف	توضیحات	علامت انتظاری تاثیر	منبع
TFP	بهره‌وری کل عوامل تولید	بهره‌وری کل عوامل در قیمت ثابت ملی سال ۲۰۱۱، محاسبه شده توسط دانشگاه Groningen (Feenstra et al., 2015)	متغیر وابسته	سایت تحقیق اقتصادی بانک فدرال رزرو سنت‌لوییس (FRED) ^۱
Human Capital	سرانه سرمایه انسانی (مبتنی بر بازده تحصیلات و متوسط سال‌های تحصیل)	مبتنی بر متوسط سال‌های تحصیل برگرفته از بارو و لی ^۲ (۲۰۱۳) و نرخ بازدهی آموزش که از طریق برآورد معادله Mincer به دست می‌آید (Psacharopoulos, 1994).	مثبت (+)	سایت تحقیق اقتصادی بانک فدرال رزرو سنت‌لوییس (FRED)
Institutional Index	شاخص نهادی	شاخص حکمرانی (شاخص‌های حق اظهار نظر و پاسخگویی، ثبات سیاسی و نبود خشونت/ تروریسم، کارایی دولت، کیفیت نظارت، حاکمیت قانون، کنترل فساد) - (بین ۲/۵ تا ۵/۵) شاخص آزادی اقتصادی (اندازه دولت، سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت، پول سالم، آزادی تجارت بین‌المللی، مقررات)	مثبت (+)	بانک جهانی بنیاد فریزر
Relative Backwardness	عقب‌ماندگی نسبی	فاصله از مرز فناوری که به صورت نسبت بهره‌وری نیروی کار آمریکا به بهره‌وری نیروی کار کشور میزبان اندازه‌گیری می‌شود.	مثبت یا منفی	بانک جهانی

1. <https://fred.stlouisfed.org/>

2. Barro & Lee

ادامه جدول ۱: معرفی و توصیف متغیرها

نام متغیر	توصیف	توضیحات	علامت انتظاری تاثیر	منبع
FDI	سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	جریان‌های خالص ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به صورت درصدی از تولید ناخالص داخلی (GDP)	مثبت (+)	بانک جهانی
Inflation	تورم	درصد تغییر سالانه شاخص قیمت کالاها و خدمات مصرفی	منفی (-)	بانک جهانی
Trade Openness	درجه باز بودن تجاری	مجموع صادرات و واردات به صورت درصدی از GDP	مثبت (+)	بانک جهانی
Financial Development	توسعه مالی	مجموع اعتبارات داخلی اعطاشده به بخش خصوصی به صورت درصدی از GDP	مثبت یا منفی (+ یا -)	بانک جهانی

توصیف آماری داده‌ها در **جدول (۲)** ارائه شده است. همچنان که مشخص است، بهره‌وری کل عوامل در کشورهای غرب آسیا به‌طور متوسط بیش‌تر از کشورهای شرق آسیا است. اما آنچه که اهمیت دارد، رشد بهره‌وری کل عوامل است که در کشورهای شرق و غرب آسیا تفاوت قابل‌توجهی دارد. متوسط رشد TFP در کشورهای غرب آسیا ($-۱/۵۵$) به‌مراتب کم‌تر از رشد آن در کشورهای شرق آسیا ($۱/۳۳$) است. سرانه سرمایه انسانی نیز به‌طور متوسط در کشورهای شرق آسیا بیش‌تر است. از طرفی، در تمام شاخص‌های نهادی، آمار متوسط به نفع کشورهای شرق آسیا است. در واقع، کشورهای شرق آسیا از محیط نهادی بهتری نسبت به کشورهای غرب آسیا برخوردارند. فاصله از مرز فناوری به‌طور متوسط در کشورهای شرق آسیا بیش از کشورهای غرب آسیا است. اما وضعیت سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، اعتبارات اعطاشده به بخش خصوصی به عنوان شاخص توسعه مالی و درجه باز بودن تجاری به‌طور متوسط در کشورهای شرق آسیا به‌مراتب بیش‌تر از کشورهای غرب آسیا است. متوسط تورم نیز در کشورهای آسیای شرقی به‌مراتب کم‌تر از کشورهای آسیای غربی است.

جدول ۲: توصیف آماری داده‌ها

نام متغیر	میانگین	بزرگ‌ترین	کوچک‌ترین	انحراف معیار	تعداد مشاهددها
محدوده جغرافیایی	شرق	غرب	شرق	غرب	شرق غرب
TFP	۰/۹۳	۱/۱۷	۱/۰۹	۲/۱	۰/۷۲ ۰/۸۲ ۰/۰۸ ۰/۲۷ ۱۵۳ ۱۵۳
TFP Growth	۱/۳۳	-۱/۵۵	۷	۴۹/۲۵	۴/۴۸ -۳۶/۲۱ ۲/۰۵ ۵۲/۶ ۱۴۴ ۱۴۴
Human Capital	۲/۹	۲/۳۵	۴/۱۵	۳/۱۷	۲/۲۳ ۱/۷۸ ۰/۴۵ ۰/۲۷ ۱۵۳ ۱۵۳
VA	-۰/۰۴	-۱	۱/۱۱	۰/۰۱	-۱/۷۵ -۲/۰۵ ۰/۷۵ ۰/۴۸ ۱۵۳ ۱۵۳
PSAVT	۰/۰۲	-۰/۶۲	۱/۶۲	۱/۲۲	-۲/۰۹ -۳/۱۸ ۰/۹۷ ۰/۹۵ ۱۵۳ ۱۵۳
GE	۰/۸۷	-۰/۱	۲/۴۴	۱/۰۶	-۰/۴۸ -۱/۹۵ ۰/۸۲ ۰/۶۱ ۱۵۳ ۱۵۳
RQ	۰/۶۸	-۰/۱۶	۲/۲۶	۰/۹۱	-۰/۸ -۱/۹۹ ۰/۸۵ ۰/۷۴ ۱۵۳ ۱۵۳
RL	۰/۵۱	-۰/۰۹	۱/۸۶	۰/۹۶	-۰/۹۱ -۱/۸۴ ۰/۸۹ ۰/۷۲ ۱۵۳ ۱۵۳
CC	۰/۴۴	-۰/۱۳	۲/۳۳	۱/۵۷	-۱/۱۴ -۱/۴۸ ۱/۰۴ ۰/۶۶ ۱۵۳ ۱۵۳
GOV	۰/۴۱	-۰/۳۵	۱/۶۴	۰/۷۲	-۰/۹۱ -۱/۹ ۰/۸۲ ۰/۶۱ ۱۵۳ ۱۵۳
SG	۷/۰۶	۶/۱۴	۸/۹۵	۸/۱۲	۴/۳۸ ۴/۲۳ ۱/۲۷ ۰/۹۴ ۱۲۳ ۱۵۳
LSPR	۵/۹۹	۴/۶۸	۸/۰۷	۶/۲	۳/۵۱ ۳/۱۶ ۱/۲۸ ۰/۵۹ ۱۲۳ ۱۵۳
SM	۸/۷۲	۸/۲۹	۹/۸۹	۹/۶۸	۶/۲۱ ۴/۰۶ ۱/۰۷ ۱/۰۴ ۱۲۳ ۱۵۳
FTI	۷/۵۷	۷	۹/۶۶	۹/۳۳	۶/۲۲ ۲/۲۹ ۱/۱۵ ۱/۲۶ ۱۲۳ ۱۵۳
REG	۷/۵۲	۶/۶۹	۹/۴۷	۸/۵۴	۴/۶۳ ۴/۲۹ ۱/۱۴ ۱/۲۲ ۱۲۳ ۱۵۳
EF	۷/۳۷	۶/۵۶	۸/۹۷	۷/۶۲	۵/۷ ۴/۸ ۰/۹۲ ۰/۶۹ ۱۲۳ ۱۵۳
DTF	۳/۸۳	۱/۹۴	۱۴/۳۹	۴/۶۶	۰/۷۷ ۰/۶۸ ۲/۹۷ ۰/۹۴ ۱۵۳ ۱۵۳
FDI	۶/۹۳	۲/۶۶	۵۸/۵۲	۲۳/۵۴	-۰/۲۵ -۴/۵۴ ۱۰/۸۱ ۳/۷۷ ۱۵۳ ۱۵۳
Inflation	۲/۶۳	۷/۵	۱۳/۱۱	۵۳/۲۳	-۲/۹۸ -۱۰/۰۷ ۲/۵۲ ۹ ۱۵۳ ۱۵۳
Trade Openness	۱۴۶/۰۷	۸۵/۰۱	۴۴۲/۶۲	۱۹۱/۸۷	۲۰/۶۹ ۳۰/۲۵ ۱۲۸/۷۴ ۳۵/۰۱ ۱۵۳ ۱۵۳
Financial Development	۱۱۱/۹۱	۴۷/۶۱	۲۳۳/۲۱	۱۰۵/۱۹	۲۱/۲۷ ۱/۲۷ ۵۱/۲۹ ۲۳/۲۷ ۱۴۵ ۱۵۳

شاخص توسعه مالی و مجموع اعتبارات داخلی اعطاشده به بخش خصوصی به صورت درصدی از GDP است.

معرفی روش

در این پژوهش به منظور کنترل درون‌زایی متغیرهای توضیحی از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته^۱ (GMM) استفاده شده است، زیرا ممکن است برخی از متغیرهای مستقل و متغیر وابسته بر یکدیگر

تأثیر متقابل داشته باشند. در واقع، ممکن است TFP در روند هر یک از متغیرهای توضیحی نقش داشته باشد و سبب ارتباط متغیرهای توضیحی با جزء اخلال شود. این مسئله با استفاده از روش متغیرهای ابزاری قابل حل است. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های روش GMM آن است که در شرایط وجود مشکلات جزء اخلال نظیر ناهمسانی واریانس و خودهمبستگی به‌خوبی عمل می‌کند (Wooldridge, 2001). اما با توجه به نوع داده‌ها، رویکردهای متفاوتی برای برآورد مدل به روش GMM وجود دارد. در شرایطی که تعداد مقاطع (N) زیاد و دوره زمانی (T) کوتاه است، برآوردگر پویای تفاضل مرتبه اول استاندارد که توسط آرلانو و بوند^۱ (۱۹۹۱) و آرلانو و باور^۲ (۱۹۹۵) مطرح شد، مناسب است. آرلانو و بوند (۱۹۹۱) برای حذف اثرات فردی از تفاضل مرتبه اول داده‌ها^۳ و آرلانو و باور (۱۹۹۵) از انحرافات متعامد^۴ به عنوان رویکردی جایگزین برای حذف اثرات فردی^۵ استفاده کردند. یکی دیگر از رویکردهای بسیار محبوب در ادبیات رشد، برآورد مدل به صورت GMM سیستمی^۶ است که توسط آرلانو و باور (۱۹۹۵) مطرح شد و توسط بلوندل و بوند^۷ (۱۹۹۸) توسعه پیدا کرد. این برآوردگر، سیستمی است که شامل دو معادله سطح و تفاضل مرتبه اول است و جایگزینی برای برآوردگر تفاضل مرتبه اول استاندارد است. این برآوردگر نیز مناسب شرایطی است که در آن تعداد مقاطع بسیار بیش‌تر از دوره زمانی است؛ هر چند در نمونه‌های کوچک^۸ نسبت به برآوردگر تفاضل مرتبه اول استاندارد دارای تورش کم‌تر و کارایی بیش‌تری است (Hayakawa, 2007; Soto, 2009). با توجه به آن‌که در این پژوهش تعداد مقاطع (N) کم و دوره زمانی (T) نسبت به تعداد مقاطع بیش‌تر است، استفاده از برآوردگرهای پویا و سیستمی سبب تورش برآوردها خواهد شد (Bruno, 2005). به همین دلیل، در پژوهش حاضر به منظور کنترل درون‌زایی از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته ایستا استفاده می‌شود. همچنین، به منظور بررسی اعتبار متغیرهای ابزاری بکاررفته در مدل از آزمون سارگان-هانسن^۹ (آماره J) استفاده شده است. فرضیه صفر این آزمون نبود همبستگی متغیرهای ابزاری با جزء اخلال است. در واقع، پذیرش فرضیه صفر این آزمون بدان معناست که متغیرهای ابزاری بکاررفته در مدل برون‌زا هستند.

1. Arellano & Bond
2. Arellano & Bover
3. First Difference Data
4. Orthogonal Deviations
5. Individual Effects
6. System-GMM
7. Blundell & Bond
8. Small Sample
9. Sargan-Hansen

ارائه نتایج برآورد و تفسیر یافته‌ها

در این بخش، ابتدا نتایج برآورد مدل برای دو گروه کشورهای شرق و غرب آسیا ارائه و سپس مقایسه و تفسیر می‌شود. در این راستا، با توجه به تنوع شاخص‌های نهادی، ۱۳ مدل مجزا برای هر یک از کشورهای شرق و غرب آسیا برآورد شده است که در شش مدل، شاخص‌های نهادی بنیاد فریزر و در هفت مدل شاخص‌های نهادی بانک جهانی بکار رفته است. بر اساس ادبیات تجربی پیرامون بهروری کل عوامل، احتمال بروز درون‌زایی در مدل‌های رگرسیونی وجود دارد. به عبارت دیگر، تاثیر متقابل متغیرهای مستقل و متغیر وابسته بر هم سبب ارتباط متغیرهای توضیحی با جزء اخلاص می‌شود. از این‌رو، در پژوهش فعلی از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته ایستا استفاده شده است که در آن با انتخاب متغیرهای ابزاری مناسب - که بیش‌ترین ارتباط را با متغیر درون‌زا دارد و مستقل از جزء اخلاص است - می‌توان بر مشکل درون‌زایی در مدل غلبه کرد. در این پژوهش، با استفاده از آزمون والد متغیرهای سرمایه انسانی، توسعه مالی، شاخص عقب‌ماندگی نسبی، برخی شاخص‌های نهادی و در برخی مدل‌ها سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به عنوان متغیرهای درون‌زا شناسایی شدند. به همین دلیل از وقفه اول^۱ این متغیرها، تفاضل وقفه اول و اثر تعاملی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و شاخص عقب‌ماندگی نسبی به عنوان متغیرهای ابزاری استفاده شده است. همچنین، به منظور بررسی اعتبار متغیرهای ابزاری از آزمون سارگان - هانسن (آماره J) استفاده شده است. نتایج برآورد مدل‌ها برای کشورهای شرق و غرب آسیا و همچنین نتایج آزمون سارگان - هانسن برای هر مدل در جداول (۳الف)، (۳ب)، (۳پ)، و (۳ت) ارائه شده است که بر اساس آن فرضیه صفر برون‌زایی متغیرهای ابزاری را نمی‌توان رد کرد. بنابراین، متغیرهای ابزاری بکاررفته در تمام مدل‌ها معتبر هستند.

همچنان که پیش از این بیان شد، برای هر گروه از کشورهای شرق و غرب آسیا ۱۳ مدل مجزا برآورد شده است که در مدل‌های یکم تا هفتم (جداول ۳الف و ۳ب) از شاخص‌های حکمرانی بانک جهانی و در مدل‌های هشتم تا سیزدهم (جداول ۳پ و ۳ت) از شاخص‌های آزادی اقتصادی بنیاد فریزر استفاده شده است. در مدل هفتم میانگین شاخص‌های حکمرانی و در مدل سیزدهم میانگین شاخص‌های آزادی اقتصادی به عنوان شاخص‌های نهادی در نظر گرفته شده است. در مدل یکم شاخص‌های حق اظهارنظر و پاسخگویی (VA)، در مدل دوم شاخص‌های ثبات سیاسی و نبود خشونت/ تروریسم (PSAVT)، در مدل سوم شاخص کارایی دولت (GE)، در مدل چهارم شاخص کیفیت نظارت (RQ)، در مدل پنجم شاخص حاکمیت قانون (RL) و در مدل ششم شاخص کنترل

1. First Lag

فساد (CC) به عنوان شاخص‌های حکمرانی در نظر گرفته شده است. همچنین، در مدل هفتم از میانگین ساده این شش شاخص به عنوان شاخص حکمرانی (GOV) استفاده می‌شود. در مدل هشتم از شاخص اندازه دولت (SG)، در مدل نهم از شاخص سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت (LSPR)، در مدل دهم از شاخص پول سالم (SM)، در مدل یازدهم از شاخص آزادی تجارت بین‌المللی (FTI)، و در مدل دوازدهم از شاخص مقررات (REG) به عنوان شاخص‌های آزادی اقتصادی استفاده شده است. میانگین ساده این پنج شاخص نیز به عنوان شاخص آزادی اقتصادی (EF) در نظر گرفته می‌شود.

ابتدا تاثیر سرمایه انسانی بر بهره‌وری کل عوامل در مدل‌های مختلف برای کشورهای شرق و غرب آسیا ارزیابی و مقایسه می‌شود. در مدل‌های یکم و چهارم تاثیر سرمایه انسانی بر بهره‌وری کل عوامل برای کشورهای شرق آسیا اندکی منفی و بی‌معنا و برای کشورهای غرب آسیا به میزان قابل‌توجهی منفی و معنادار است. در مدل‌های دوم و سوم و پنجم سرمایه انسانی در کشورهای شرق آسیا تاثیر مثبت و معنادار و در کشورهای غرب آسیا تاثیری به‌شدت منفی و معنادار بر TFP دارد. در مدل‌های ششم و هفتم نیز تاثیر سرمایه انسانی بر TFP در کشورهای شرق آسیا مثبت و بی‌معنا و در کشورهای غرب آسیا به میزان قابل‌توجهی منفی و معنادار است. به‌طور کلی می‌توان گفت، در مدل‌هایی که شاخص‌های نهادی آن‌ها شاخص‌های حکمرانی است، سرمایه انسانی در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا کاهش قابل‌توجه بهره‌وری کل عوامل را موجب می‌شود؛ هرچند تاثیر مثبت سرمایه انسانی بر TFP در کشورهای شرق آسیا در برخی مدل‌ها رد شده که نیاز است نتایج برای دیگر شاخص‌های نهادی (شاخص‌های آزادی اقتصادی) نیز کنترل شود. از طرفی، تاثیر سرمایه انسانی بر TFP در تمام مدل‌هایی که در آن‌ها از شاخص آزادی اقتصادی استفاده می‌شود، برای کشورهای شرق آسیا به میزان قابل‌توجهی مثبت و معنادار و برای کشورهای غرب آسیا به میزان قابل‌توجهی منفی و معنادار است. در واقع، سرمایه انسانی در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش و در کشورهای غرب آسیا سبب کاهش قابل‌توجه بهره‌وری کل عوامل می‌شود. یک درصد افزایش در سرمایه انسانی در کشورهای شرق آسیا در مدل‌های هشتم تا سیزدهم به‌طور متوسط سبب افزایش ۰/۱۵ تا ۰/۵ درصدی و در کشورهای غرب آسیا به‌طور متوسط سبب کاهش ۰/۵۱ تا ۰/۶۱ درصدی بهره‌وری کل عوامل می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت اولین دلیل تفاوت بهره‌وری کل عوامل و در نتیجه رشد اقتصادی در کشورهای شرق و غرب آسیا عامل سرمایه انسانی است. نتایج تاثیر مثبت سرمایه انسانی بر TFP (Adelakun, 2011; Campbell & Agbiokoro, 2013; Whalley & Zhao, 2013) و تاثیر منفی یا

عدم تاثیر آن بر TFP (Benos & Karagiannis, 2016; Kumar & Kober, 2012) با برخی از مطالعات همراستا است.

نتایج تاثیر ۱۳ متغیر نهادی بر TFP نیز در مدل‌های یکم تا سیزدهم ارائه شده است. در مدل یکم، تاثیر شاخص حق اظهار نظر و پاسخگویی (VA) بر TFP برای کشورهای شرق و غرب آسیا منفی به دست می‌آید؛ هرچند تاثیر این شاخص در کشورهای غرب آسیا معنادار نیست. در مدل دوم، تاثیر شاخص ثبات سیاسی و نبود خشونت/ تروریسم (PSAVT) بر TFP در هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا معنادار نیست. در مدل سوم، شاخص کارایی دولت (GE) در کشورهای شرق آسیا تاثیر مثبت و معناداری بر TFP دارد، در حالی که تاثیر این شاخص بر TFP در کشورهای غرب آسیا مثبت ولی بی‌معناست. در مدل چهارم، شاخص کیفیت نظارت (RQ) در هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل شده است. اما افزایش این شاخص در کشورهای شرق آسیا نسبت به غرب آسیا تاثیر بیش‌تری بر افزایش TFP دارد. در مدل پنجم، شاخص حاکمیت قانون (RL) به عنوان متغیر نهادی نقش ایفا می‌کند؛ یک درصد افزایش در این شاخص به افزایش ۰/۱۵ درصدی TFP در کشورهای شرق آسیا منجر می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیری بر بهره‌وری کل عوامل ندارد. در مدل ششم، شاخص کنترل فساد (CC) در هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا تاثیر معناداری بر TFP ندارد. در مدل هفتم، شاخص حکمرانی (GOV) - که میانگین ساده شش شاخص پیشین است - در کشورهای شرق آسیا تاثیر مثبت و معنادار و در کشورهای غرب آسیا تاثیر منفی ولی بی‌معنا بر TFP دارد؛ در واقع، یک درصد بهبود حکمرانی در کشورهای شرق آسیا به افزایش ۰/۱ درصدی TFP منجر می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیری بر آن ندارد.

در مدل هشتم، از شاخص اندازه دولت (SG) به عنوان شاخص نهادی استفاده شده است. این شاخص در هر دو کشورهای غرب و شرق آسیا تاثیر مثبتی بر TFP دارد، اما ضریب آن تنها در کشورهای غرب آسیا معنادار است. در مدل نهم، شاخص سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت (LSPR) در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش TFP می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیری بر آن ندارد. در مدل دهم، از شاخص پول سالم (SM) به عنوان شاخص نهادی استفاده می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که یک درصد افزایش در این شاخص به‌طور متوسط سبب افزایش ۰/۲۱ درصدی TFP در کشورهای شرق آسیا می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا ضریب آن منفی است، ولی تاثیری بر TFP ندارد. در مدل یازدهم، یک درصد افزایش در شاخص آزادی تجارت بین‌المللی (FTI) در کشورهای شرق آسیا تاثیر قابل توجه ۰/۳۱ درصدی بر TFP دارد، در حالی که

در کشورهای غرب آسیا تأثیری بر TFP ندارد. در مدل دوازدهم، شاخص مقررات (REG) به عنوان شاخص نهادی در هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا سبب افزایش قابل توجه بهره‌وری کل عوامل می‌شود؛ یک درصد بهبود این شاخص در کشورهای شرق و غرب آسیا به ترتیب سبب افزایش متوسط ۰/۴۱ و ۰/۴۹ درصدی می‌شود. در مدل سیزدهم، میانگین ساده پنج شاخص پیشین به عنوان شاخص آزادی اقتصادی (EF) سبب افزایش بهره‌وری در هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا می‌شود؛ هرچند تأثیر آن در کشورهای شرق آسیا به میزان قابل توجهی بیش‌تر از کشورهای غرب آسیا است، به طوری که یک درصد افزایش در شاخص آزادی اقتصادی سبب افزایش ۰/۶۲ درصدی در کشورهای شرق آسیا می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تأثیر ۰/۱۷ درصدی بر TFP دارد. بنابراین، یافته‌ها نشان می‌دهد که در بیش‌تر موارد شاخص‌های نهادی در کشورهای شرق آسیا تأثیر قابل توجه‌تری بر TFP دارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که دومین عامل تفاوت بهره‌وری کل عوامل و متعاقب آن رشد اقتصادی بین کشورهای شرق و غرب آسیا شاخص‌های نهادی است. تأثیر مثبت، منفی و عدم تأثیر شاخص‌های نهادی - که در مدل‌های مختلف این پژوهش به دست آمده است - با نتایج لی و تانا (۲۰۱۹) در مورد کشورهای در حال توسعه همراستاست.

فاصله از مرز فناوری - که از شاخص‌های عقب‌ماندگی نسبی به شمار می‌آید و در این پژوهش با نسبت بهره‌وری نیروی کار در کشور پیشرو به بهره‌وری نیروی کار در کشور مورد بررسی اندازه‌گیری می‌شود - از دیگر متغیرهایی است که تأثیر آن بر بهره‌وری کل عوامل بررسی شده است. تأثیر فاصله از مرز فناوری بر بهره‌وری کل عوامل در تمام مدل‌ها برای هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا منفی و معنادار است. این بدان معناست که فاصله بیش‌تر از مرز فناوری در هر دو کشورهای شرق و غرب آسیا سبب کاهش TFP می‌شود، اما افزایش فاصله از مرز فناوری در کشورهای غرب آسیا سبب کاهش بیش‌تر بهره‌وری کل عوامل نسبت به کشورهای شرق آسیا می‌شود. در واقع، عقب‌ماندگی نسبی در کشورهای غرب آسیا تأثیر بیش‌تری در کاهش TFP دارد. بر اساس نتایج، یک درصد افزایش در فاصله از مرز فناوری در کشورهای شرق آسیا به طور متوسط سبب کاهش ۰/۲ تا ۰/۳۶ درصدی بهره‌وری کل عوامل در مدل‌های مختلف می‌شود؛ هرچند در بیش‌تر مدل‌ها تأثیر آن نزدیک به ۰/۳ درصد است. اما در کشورهای غرب آسیا یک درصد افزایش در فاصله از مرز فناوری به طور متوسط سبب کاهش ۰/۶۰ تا ۰/۷۵ درصدی TFP می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت یکی دیگر از دلایل تفاوت بهره‌وری در کشورهای شرق و غرب آسیا فاصله از مرز فناوری است، چرا که فاصله بیش‌تر از مرز فناوری (عقب‌ماندگی نسبی بیش‌تر) در کشورهای غرب آسیا نسبت به کشورهای شرق آسیا کاهش

بیشتر بهره‌وری کل عوامل را به دنبال دارد. تاثیر منفی فاصله از مرز فناوری بر بهره‌وری کل عوامل همراستا با نتایج مالیکانه و چیتامبارا (۲۰۱۷) در مورد کشورهای آفریقایی است.

متغیرهای کنترل در این پژوهش نیز سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، تورم، درجه باز بودن تجاری و توسعه مالی است که تاثیر آن‌ها بر TFP بررسی شده است. در مدل‌های یکم و دوم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی سبب افزایش اندک بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق آسیا می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیری بر TFP ندارد. در مدل‌های سوم تا پنجم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی - در سطح معناداری ۹۵ درصد - نه برای کشورهای شرق و نه غرب آسیا معنادار نیست؛ هرچند در سطح معناداری ۹۰ درصد برای کشورهای غرب آسیا معنادار است و تاثیر مثبت اندکی دارد. در مدل‌های ششم و هفتم نیز تاثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی بر TFP برای هر دو گروه کشورهای شرق و غرب آسیا معنادار نیست. در مدل‌های هشتم، نهم، و یازدهم سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی سبب افزایش اندک بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق آسیا می‌شود، در حالی که برای کشورهای غرب آسیا در مدل هشتم معنادار نیست و در مدل‌های نهم و یازدهم تاثیر اندکی بر TFP دارد. در مدل‌های دهم، دوازدهم، و سیزدهم نیز سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی همانند مدل‌های ششم و هفتم برای هر دو گروه کشورهای شرق و غرب آسیا تاثیر معناداری بر بهره‌وری کل عوامل ندارد. در مجموع، می‌توان گفت سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تفاوت‌چندانی در بهره‌وری کل عوامل بین کشورهای شرق و غرب آسیا ایجاد نمی‌کند.

تورم نیز در تمام مدل‌ها - در سطح معناداری ۹۵ درصد - در هیچ یک از گروه کشورهای شرق و غرب آسیا تاثیر معناداری بر TFP ندارد. هر چند در مدل‌های سوم و هفتم - در سطح معناداری ۹۰ درصد - برای کشورهای شرق آسیا تاثیر مثبت اندک و معناداری بر TFP دارد. بنابراین، می‌توان گفت تورم نیز تفاوت‌چندانی در TFP بین کشورهای شرق و غرب آسیا ایجاد نمی‌کند.

درجه باز بودن تجاری دیگر متغیری است که تاثیر آن بر TFP در کشورهای شرق و غرب آسیا بررسی شده است. در مدل‌های یکم، سوم، ششم، و هفتم افزایش درجه باز بودن تجاری نه در کشورهای شرق و نه در غرب آسیا تاثیر معناداری بر TFP نشان نمی‌دهد. اما در مدل‌های دوم، چهارم، پنجم، نهم، دوازدهم، و سیزدهم افزایش درجه باز بودن تجاری سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق آسیا می‌شود، در حالی که در کشورهای غرب آسیا تاثیر معناداری بر TFP ندارد. در مدل‌های هشتم، دهم، و یازدهم نیز افزایش درجه باز بودن تجاری در هر دو گروه کشورهای شرق و غرب آسیا به افزایش بهره‌وری کل عوامل منجر می‌شود؛ هرچند افزایش آن در کشورهای شرق آسیا

سبب افزایش بیش‌تری در TFP نسبت به کشورهای غرب آسیا می‌شود. به‌طور کلی، می‌توان گفت درجهٔ باز بودن تجاری می‌تواند به عنوان عامل تفاوت TFP در کشورهای شرق و غرب آسیا مطرح شود، اما این تفاوت قابل‌توجه نیست.

مجموع اعتبارات داخلی اعطاشده به بخش خصوصی به صورت درصدی از GDP نیز به عنوان شاخص توسعه مالی، دیگر متغیری است که تاثیر آن بر بهره‌وری کل عوامل بررسی شده است. بر اساس یافته‌ها، در تمام مدل‌ها به‌جز مدل‌های دهم و سیزدهم، افزایش توسعه مالی، افزایش بهره‌وری کل عوامل را در کشورهای شرق آسیا و کاهش TFP را در کشورهای غرب آسیا به دنبال دارد. در مدل‌های دهم و سیزدهم نیز افزایش توسعه مالی، کاهش TFP در کشورهای غرب آسیا را به دنبال دارد؛ هرچند در این دو مدل، برای کشورهای شرق آسیا تاثیر قابل‌توجهی بر TFP ندارد. بنابراین، می‌توان گفت در بیش‌تر مدل‌ها توسعه مالی در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل و در تمام مدل‌ها برای کشورهای غرب آسیا سبب کاهش آن می‌شود. در مجموع، توسعه مالی را می‌توان به عنوان یکی از عوامل تفاوت TFP در کشورهای شرق و غرب آسیا در نظر گرفت.

جدول ۳ الف: نتایج برآورد مدل با استفاده از GMM

نام متغیر	مدل یکم	مدل دوم	مدل سوم	مدل چهارم
محدوده جغرافیایی	شرق	غرب	شرق	غرب
Human Capital	-۰/۰۸ (۰/۲۹۵۲)	-۰/۹۳* (۰/۰۰۰۰)	۰/۱۵** (۰/۰۲۱۲)	-۰/۸۱* (۰/۰۰۰۰)
VA	-۰/۱۰ (۰/۱۶۰۹)	-	-	-
PSAVT	-	-۰/۰۱ (۰/۴۴۱۳)	-	-
GE	-	-	۰/۲۱* (۰/۱۴۲۱)	-
RQ	-	-	-	۰/۱۷** (۰/۰۳۴۳)
DTF	-۰/۳۰* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۱* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۳۳* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۲* (۰/۰۰۰۰)
	-۰/۳۱* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۹* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۲۰* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۹* (۰/۰۰۰۰)

ادامه جدول ۳ الف: نتایج برآورد مدل با استفاده از GMM

نام متغیر	مدل یکم	مدل دوم	مدل سوم	مدل چهارم
FDI	۰/۰۴* (۰/۰۰۵۲)	۰/۰۱ (۰/۰۴۹۶)	۰/۰۱ (۰/۰۳۷۶۹)	۰/۰۱*** (۰/۰۸۸۱)
Inflation	۰/۰۰۸ (۰/۲۳۵۲)	۰/۰۰۸ (۰/۲۰۸۱)	۰/۰۱*** (۰/۰۸۱۶)	۰/۰۰۸ (۰/۲۶۸۲)
Trade Openness	۰/۰۰۰۹ (۰/۹۷۲۸)	۰/۰۰۳ (۰/۵۲۸۶)	۰/۰۴*** (۰/۰۷۵۰)	۰/۰۰۵ (۰/۹۰۹۸)
Financial Development	۰/۱۵* (۰/۰۰۰۰)	۰/۰۹** (۰/۰۲۳۰)	۰/۱۴* (۰/۰۰۰۰)	۰/۱۳* (۰/۰۰۰۱)
Constant	۰/۴۴** (۰/۰۱۳۸)	۱/۶۶* (۰/۰۰۰۰)	۰/۷۵* (۰/۰۰۰۰)	۱/۵۵* (۰/۰۰۰۰)
Prob (J-Statistic)	۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۳۷	۰/۹۵

توضیح: متغیر وابسته مدل بهره‌وری کل عوامل (TFP) است. *، **، و *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معناداری ۱، ۵، و ۱۰ درصد است. اعداد داخل پرانتز P-Value آزمون t هستند. تمام متغیرها در شکل لگاریتم طبیعی هستند. به دلیل استفاده از ۱۳ متغیر نهادی، ۱۳ مدل مجزا برآورد شده است که شاخص نهادی در مدل‌های یکم تا هفتم، شاخص‌های حکمرانی جمع‌آوری شده از بانک جهانی، و شاخص نهادی در مدل‌های هشتم تا سیزدهم، شاخص‌های آزادی اقتصادی جمع‌آوری شده از بنیاد فریزر است. با توجه به داده‌های نهادی در دسترس در دو پایگاه بانک جهانی و بنیاد فریزر، دوره زمانی در مدل‌های یکم تا هفتم از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ و در مدل‌های هشتم تا سیزدهم از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ است. در این جدول، برای مدل‌های یکم تا چهارم به ترتیب شاخص‌های حق اظهارنظر و پاسخگویی (VA)، ثبات سیاسی و نبود خشونت/ تروریسم (PSAVT)، کارایی دولت (GE)، و کیفیت نظارت (RQ) به عنوان متغیر نهادی در نظر گرفته شده است.

جدول ۳ ب: نتایج برآورد مدل با استفاده از GMM (دنباله)

نام متغیر	مدل پنجم	مدل ششم	مدل هفتم
محدوده جغرافیایی	شرق	غرب	شرق
Human Capital	۰/۱۷* (۰/۰۰۷۵)	۰/۰۵ (۰/۴۳۵۸)	۰/۰۷ (۰/۲۶۶۱)
RL	۰/۱۵* (۰/۰۰۰۱)	۰/۰۴ (۰/۳۸۸۹)	-
CC	-	۰/۰۵ (۰/۳۰۳۵)	-

ادامه جدول ۳: نتایج برآورد مدل با استفاده از GMM (دنباله)

نام متغیر	مدل پنجم	مدل ششم	مدل هفتم		
GOV	-	-	-	۰/۱۰** (۰/۰۲۷۰)	-۰/۰۴ (۰/۳۹۰۳)
DTF	-۰/۳۰* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۹* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۳۰* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۷۵* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۳۰* (۰/۰۰۰۰)
FDI	۰/۰۰۶ (۰/۴۱۳۸)	۰/۰۱*** (۰/۰۸۶۲)	۰/۰۱ (۰/۲۲۵۸)	۰/۰۰۷ (۰/۳۵۹۶)	۰/۰۰۴ (۰/۶۳۰۲)
Inflation	۰/۰۰۹ (۰/۱۲۳۷)	-۰/۰۰۸ (۰/۱۸۲۱)	۰/۰۱ (۰/۱۱۴۹)	-۰/۰۰۸ (۰/۲۰۳۳)	۰/۰۱*** (۰/۰۷۹۱)
Trade Openness	۰/۰۵** (۰/۰۱۳۹)	۰/۰۰۵ (۰/۹۱۰۲)	۰/۰۲ (۰/۳۲۴۰)	۰/۰۳ (۰/۵۵۲۷)	۰/۰۴ (۰/۱۲۹۱)
Financial Development	۰/۱۱* (۰/۰۰۰۱)	-۰/۰۹** (۰/۰۱۶۷)	۰/۱۴* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۱۰* (۰/۰۰۵۹)	۰/۱۲* (۰/۰۰۰۱)
Constant	-۰/۷۶* (۰/۰۰۰۰)	۱/۴۴* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۳* (۰/۰۰۰۵)	۱/۳۹* (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۲* (۰/۰۰۰۵)
Prob (J-Statistic)	۰/۹۲	۰/۸۰	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۸۱
					۰/۸۴

توضیح: متغیر وابسته مدل بهره‌وری کل عوامل (TFP) است. *، **، و *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معناداری ۱، ۵، و ۱۰ درصد است. اعداد داخل پرانتز P-Value آزمون t هستند. تمام متغیرها در شکل لگاریتم طبیعی هستند. به دلیل استفاده از ۱۳ متغیر نهادی، ۱۳ مدل مجزا برآورد شده است که شاخص نهادی در مدل‌های یکم تا هفتم، شاخص‌های حکمرانی جمع‌آوری شده از بانک جهانی، و شاخص نهادی در مدل‌های هشتم تا سیزدهم، شاخص‌های آزادی اقتصادی جمع‌آوری شده از بنیاد فریزر است. با توجه به داده‌های نهادی در دسترس در دو پایگاه بانک جهانی و بنیاد فریزر، دوره زمانی در مدل‌های یکم تا هفتم از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ و در مدل‌های هشتم تا سیزدهم از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ است. در این جدول برای مدل‌های پنجم تا هفتم به ترتیب شاخص‌های حاکمیت قانون (RL)، کنترل فساد (CC)، و میانگین ساده شش شاخص مرتبط با حکمرانی (شاخص حکمرانی (GOV)) به عنوان متغیر نهادی در نظر گرفته شده است.

جدول ۳: نتایج برآورد مدل با استفاده از GMM (دنباله)

نام متغیر	مدل هشتم		مدل نهم		مدل دهم	
محدوده جغرافیایی	شرق	غرب	شرق	غرب	شرق	غرب
Human Capital	۰/۴۷ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۵۵ [*] (۰/۰۰۰۰)	۰/۵۰ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۵۹ [*] (۰/۰۰۰۰)	۰/۲۳ [*] (۰/۰۰۰۲)	-۰/۵۷ [*] (۰/۰۰۰۰)
SG	۰/۰۵ (۰/۴۹۲۹)	۰/۱۱ ^{**} (۰/۰۲۰۷)	-	-	-	-
LSPR	-	-	۰/۰۶ ^{***} (۰/۰۵۵۹)	۰/۰۴ (۰/۲۵۱۹)	-	-
SM	-	-	-	-	۰/۲۱ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۰۲ (۰/۶۱۳۰)
DTF	-۰/۲۹ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۸ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۳۰ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۶ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۳۶ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۶۹ [*] (۰/۰۰۰۰)
FDI	۰/۰۲ [*] (۰/۰۰۲۹)	۰/۰۰۷ (۰/۲۵۶۷)	۰/۰۲ [*] (۰/۰۰۰۲)	۰/۰۱ ^{**} (۰/۰۱۰۷)	۰/۰۱ (۰/۱۴۱۸)	۰/۰۰۷ (۰/۱۲۹۱)
Inflation	۰/۰۰۱ (۰/۸۴۲۱)	۰/۰۰۳ (۰/۶۲۴۵)	-۰/۰۰۰۲ (۰/۹۵۱۵)	۰/۰۰۲ (۰/۷۷۱۴)	۰/۰۰۹ (۰/۱۸۳۵)	-۰/۰۰۵ (۰/۴۸۴۸)
Trade Openness	۰/۰۶ [*] (۰/۰۰۱۸)	۰/۰۳ ^{**} (۰/۰۴۷۸)	۰/۰۷ [*] (۰/۰۰۰۰)	۰/۰۳ (۰/۱۷۵۹)	۰/۰۷ [*] (۰/۰۰۲۸)	۰/۰۵ [*] (۰/۰۰۰۲)
Financial Development	۰/۰۸ [*] (۰/۰۰۰۹)	-۰/۰۳ [*] (۰/۰۰۰۰)	۰/۰۶ ^{**} (۰/۰۳۲۳)	-۰/۰۲ [*] (۰/۰۰۴۹)	-۰/۰۲ (۰/۶۲۷۱)	-۰/۰۳ [*] (۰/۰۰۱۴)
Constant	-۱/۰۴ [*] (۰/۰۰۰۱)	۰/۷۴ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۱/۰۳ [*] (۰/۰۰۰۰)	۰/۸۹ [*] (۰/۰۰۰۰)	-۰/۷۱ [*] (۰/۰۰۰۱)	۰/۹۱ [*] (۰/۰۰۰۰)
Prob (J-Statistic)	۰/۷۹	۰/۹۱	۰/۳۲	۰/۴۸	۰/۶۰	۰/۶۷

توضیح: متغیر وابسته مدل بهره‌وری کل عوامل (TFP) است. *، **، *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معناداری ۱، ۵، و ۱۰ درصد است. اعداد داخل پرانتز P-Value آزمون t هستند. تمام متغیرها در شکل لگاریتم طبیعی هستند. به دلیل استفاده از ۱۳ متغیر نهادی، ۱۳ مدل مجزا برآورد شده است که شاخص نهادی در مدل‌های یکم تا هفتم، شاخص‌های حکمرانی جمع‌آوری‌شده از بانک جهانی، و شاخص نهادی در مدل‌های هشتم تا سیزدهم شاخص‌های آزادی اقتصادی جمع‌آوری‌شده از بنیاد فریزر است. با توجه به داده‌های نهادی در دسترس در دو پایگاه بانک جهانی و بنیاد فریزر، دوره زمانی در مدل‌های یکم تا هفتم از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ و در مدل‌های هشتم تا سیزدهم از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ است. در این جدول برای مدل‌های هشتم تا دهم به ترتیب شاخص‌های اندازه دولت (SG)، سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت (LSPR)، و پول سالم (SM) به عنوان متغیر نهادی در نظر گرفته شده است.

جدول ۳: نتایج برآورد مدل با استفاده از GMM (دنباله)

نام متغیر	مدل یازدهم		مدل دوازدهم		مدل سیزدهم	
محدوده جغرافیایی	شرق	غرب	شرق	غرب	شرق	غرب
Human Capital	۰/۴۶*	-۰/۶۱*	۰/۱۵**	-۰/۵۱*	۰/۲۳*	-۰/۵۱*
	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۱۸۸)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۱)	(۰/۰۰۰۰)
FTI	۰/۳۰*	-۰/۰۰۰۴	-	-	-	-
	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۹۸۷۳)				
REG	-	-	۰/۴۱*	۰/۴۹*	-	-
			(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)		
EF	-	-	-	-	۰/۶۲*	۰/۱۷**
					(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۲۳۹)
DTF	-۰/۳۱*	-۰/۶۶*	-۰/۲۳*	-۰/۶۰*	-۰/۲۹*	-۰/۶۳*
	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)
FDI	۰/۰۲*	۰/۰۱*	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸
	(۰/۰۰۰۳)	(۰/۰۰۰۹)	(۰/۶۶۱۶)	(۰/۶۵۳۹)	(۰/۵۴۲۲)	(۰/۲۸۷۰)
Inflation	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	-۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
	(۰/۷۵۶۱)	(۰/۴۶۸۸)	(۰/۱۳۰۱)	(۰/۹۴۸۳)	(۰/۴۴۷۸)	(۰/۳۳۷۰)
Trade Openness	۰/۰۷*	۰/۰۳**	۰/۰۵**	-۰/۰۰۱	۰/۰۹*	۰/۰۱
	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۱۸۴)	(۰/۰۳۶۰)	(۰/۹۷۲۲)	(۰/۰۰۰۲)	(۰/۷۲۰۵)
Financial Development	۰/۰۵**	-۰/۰۲*	۰/۰۸*	-۰/۰۸*	۰/۰۲	-۰/۰۴*
	(۰/۰۱۸۷)	(۰/۰۰۰۳)	(۰/۰۰۸۲)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۶۰۱۲)	(۰/۰۰۲۶)
Constant	-۱/۴۳*	۰/۹۴*	-۱/۴۴*	۰/۲۹*	-۱/۷۶*	۰/۶۷*
	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۰)	(۰/۰۰۰۱)
Prob (J-Statistic)	۰/۵۰	۰/۸۷	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۸۳	۰/۴۹

توضیح: متغیر وابسته مدل بهره‌وری کل عوامل (TFP) است. *، **، و *** به ترتیب نشان‌دهنده سطح معناداری ۱، ۵، و ۱۰ درصد است. اعداد داخل پرانتز P-Value آزمون t هستند. تمام متغیرها در شکل لگاریتم طبیعی هستند. به دلیل استفاده از ۱۳ متغیر نهادی، ۱۳ مدل مجزا برآورد شده است که شاخص نهادی در مدل‌های یکم تا هفتم، شاخص‌های حکمرانی جمع‌آوری شده از بانک جهانی، و شاخص نهادی در مدل‌های هشتم تا سیزدهم شاخص‌های آزادی اقتصادی جمع‌آوری شده از بنیاد فریزر است. با توجه به داده‌های نهادی در دسترس در دو پایگاه بانک جهانی و بنیاد فریزر، دوره زمانی در مدل‌های یکم تا هفتم از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ و در مدل‌های هشتم تا سیزدهم از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۸ است. در این جدول برای مدل‌های یازدهم تا سیزدهم به ترتیب شاخص‌های آزادی تجارت بین‌المللی (FTI)، مقررات (REG)، و میانگین ساده پنج شاخص مرتبط با آزادی اقتصادی (شاخص آزادی اقتصادی (EF)) به عنوان متغیر نهادی در نظر گرفته شده است.

بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا، با تشکیل دو گروه مجزا از کشورهای منتخب این دو ناحیه، میزان تاثیرگذاری هر یک از عوامل موثر بر بهره‌وری کل عوامل - به‌ویژه سرمایه انسانی، عوامل نهادی، و عقب‌ماندگی نسبی - را در دو ناحیه بررسی و مقایسه کرده است. انتخاب کشورهای شرق و غرب آسیا با توجه به تفاوت بهره‌وری کل عوامل در این مناطق و با هدف بررسی علت آن صورت پذیرفته است. همچنین، پژوهش حاضر از شاخص‌های نهادی متنوع و عقب‌ماندگی نسبی برای توضیح تفاوت بهره‌وری بین کشورهای شرق و غرب آسیا استفاده کرده است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در مجموع، سرمایه انسانی در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش و در کشورهای غرب آسیا سبب کاهش قابل توجه بهره‌وری کل عوامل می‌شود. همچنین، در بیش‌تر موارد شاخص‌های نهادی در کشورهای شرق آسیا تاثیر مثبت و قابل توجه‌تری بر TFP نسبت به کشورهای غرب آسیا دارد. از طرفی، فاصله بیش‌تر از مرز فناوری (عقب‌ماندگی نسبی بیش‌تر) در کشورهای غرب آسیا نسبت به کشورهای شرق آسیا کاهش بیش‌تر بهره‌وری کل عوامل را به دنبال دارد. در مجموع می‌توان گفت، متغیرهای سرمایه انسانی، عوامل نهادی، و فاصله از مرز فناوری مهم‌ترین دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا هستند. تاثیر مثبت سرمایه انسانی در کشورهای آسیای شرقی مطابق انتظار است، اما تاثیر منفی آن بر بهره‌وری در کشورهای غرب آسیا دلایلی دارد. به لحاظ آماری، روند سرمایه انسانی در کشورهای آسیای غربی صعودی بوده است، در حالی که روند بهره‌وری کل عوامل نزولی و رشد آن نوسانی بوده است. بنابراین، ارتباط منفی سرمایه انسانی و رشد TFP منطقی به نظر می‌رسد.

چنان‌که بیان شد، شاخص سرمایه انسانی استفاده‌شده در این پژوهش مبتنی بر متوسط سال‌های تحصیل و بازده تحصیلات (درآمد حاصل از تحصیلات) است. بنابراین، تاثیر منفی سرمایه انسانی بر بهره‌وری در کشورهای غرب آسیا به معنای بازده پایین تحصیلات است. به نظر می‌رسد، بی‌توجهی به آموزش‌های کاربردی و خلاقانه در این کشورها سبب کاهش کیفیت آموزش و در نتیجه تاثیر منفی سرمایه انسانی بر TFP شده است.

به لحاظ آماری، میانگین شاخص‌های نهادی در تمام موارد به نفع کشورهای شرق آسیا است. از طرفی، روند شاخص حکمرانی و بهره‌وری برای بیش‌تر کشورهای شرق آسیا همسو و رو به افزایش است، در حالی که در کشورهای غرب آسیا روند شاخص حکمرانی و بهره‌وری نزولی یا نوسانی است.

همچنین، روند آزادی اقتصادی برای بیش‌تر کشورهای شرق آسیا افزایشی و برای بیش‌تر کشورهای غرب آسیا نزولی یا نوسانی است. در واقع، بهبود عوامل نهادی در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش بهره‌وری کل عوامل شده است، در حالی که در کشورهای غرب آسیا نوسان یا تنزل این شاخص‌ها در بیش‌تر موارد کاهش بهره‌وری را به دنبال داشته است. بنابراین، معقول است که شاخص‌های نهادی عامل تفاوت بهره‌وری در دو منطقه شرق و غرب آسیا باشد.

همچنین بر اساس یافته‌های پژوهش، شاخص‌های کارایی دولت، کیفیت نظارت، حاکمیت قانون، حکمرانی (میانگین شش شاخص نهادی)، سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت، پول سالم، آزادی تجارت بین‌المللی، و آزادی اقتصادی (میانگین پنج شاخص نهادی) در کشورهای شرق آسیا تاثیر مثبت و قابل توجه‌تری نسبت به کشورهای غرب آسیا بر TFP دارند و عوامل اصلی تفاوت بهره‌وری در کشورهای شرق و غرب آسیا محسوب می‌شوند.

فاصله بیش‌تر از مرز فناوری (عقب‌ماندگی نسبی بیش‌تر) در کشورهای غرب آسیا نسبت به کشورهای شرق آسیا کاهش بیش‌تر بهره‌وری کل عوامل را به دنبال دارد. بررسی روند فاصله از مرز فناوری نشان می‌دهد که در کشورهای شرق آسیا با نزدیک شدن به فناوری کشورهای پیشرو، بهره‌وری کل عوامل افزایش یافته است. این در حالی است که در کشورهای غرب آسیا دور شدن از مرز فناوری سبب کاهش بهره‌وری کل عوامل شده است. بنابراین، در هر دو حالت فاصله از مرز فناوری تاثیر معکوس بر بهره‌وری کل عوامل دارد. با این تفاوت که در بیش‌تر کشورهای شرق آسیا فاصله از مرز فناوری در طول زمان کاهش و بهره‌وری افزایش می‌یابد، اما در بیش‌تر کشورهای غرب آسیا فاصله از مرز فناوری در طول زمان افزایش و بهره‌وری کاهش می‌یابد.

روند سرمایه‌انسانی در هر دو منطقه شرق و غرب آسیا افزایشی است. اما این روند افزایشی در کشورهای شرق آسیا سبب افزایش بهره‌وری و در کشورهای غرب آسیا سبب کاهش آن شده است. این بدان معناست که کشورهای غرب آسیا نتوانسته‌اند از انباشت سرمایه‌انسانی خود برای افزایش بهره‌وری استفاده کنند. اما برای آن‌که سرمایه‌انسانی بتواند نقش خود را در افزایش بهره‌وری و در نتیجه رشد اقتصادی کشورهای غرب آسیا به‌خوبی ایفا کند، پیشنهاد می‌شود در راستای کشف استعداد و شکل‌گیری سرمایه‌انسانی مطلوب، آموزش در کشورهای غرب آسیا ملی شود، به‌نحوی که همه اقشار (برخوردار و کم‌تر برخوردار) در تمام نقاط کشور به‌طور عادلانه از خدمات آموزشی بهره‌مند شوند. البته این موضوع در برخی کشورهای شرق آسیا نیز برای رشد اقتصادی بیش‌تر باید مد نظر قرار گیرد، اما اهمیت آن در کشورهای غرب آسیا با توجه به موانع نهادی مختلف بیش‌تر است. منابع تامین

مالی هزینه‌های ملی کردن آموزش می‌تواند از منابع نفتی و مالیات بر مجموع درآمد (به‌ویژه مالیات بر عایدی سرمایه) تامین شود. شاخص سرمایه انسانی بکاررفته در پژوهش مبتنی بر متوسط سال‌های تحصیل و بازدهی آموزش است که این شاخص به بازدهی آموزش در بازار کار مربوط است. بنابراین، در راستای افزایش بازدهی آموزش در بازار کار می‌بایست آموزش‌ها هدفمند شود، به‌نحوی که نخست آموزش در هر ناحیه با توجه به فرصت‌ها و ظرفیت‌های آن ناحیه انجام شود؛ دوم آموزش‌ها، به‌ویژه در مقاطع ابتدایی، مبتنی بر کشف استعداد، خلاقیت و نوآوری دانش‌آموز صورت پذیرد تا هدایت تحصیلی به رشته‌های نظری، فنی، حرفه‌ای و هنری به شکل مطلوب انجام پذیرد.

به نظر می‌رسد اصلاحات نهادی مهم‌ترین عاملی است که می‌تواند بر بهبود تمام متغیرهای اقتصادی تأثیرگذار باشد. بر اساس این، اصلاحات نهادی در شاخص‌های حکمرانی و آزادی اقتصادی به‌ویژه در شاخص‌های کارایی دولت، کیفیت نظارت، حاکمیت قانون، سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت، پول سالم، و آزادی تجارت بین‌المللی - که عوامل اصلی تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا هستند - پیشنهاد می‌شود. برای نمونه ارتقای کیفیت خدمات عمومی، خدمات شهروندی، سیاستگذاری و اجرای درست سیاست‌ها و تعهد دولت برای ارتقای این موارد می‌تواند سبب افزایش کارایی دولت شود. همچنین، تدوین سیاست‌هایی مانند تسهیل صدور مجوزهای کسب‌وکار، راه‌اندازی پنجره واحد سرمایه‌گذاری در کشورهای غرب آسیا از جمله ایران و اعمال نظارت‌های پسینی به‌جای ارزیابی پیشینی طرح‌های سرمایه‌گذاری می‌تواند سبب توسعه بخش خصوصی و ارتقای کیفیت نظارت شود. پایبندی به قانون و حفاظت از افراد و دارایی‌های قانونی آن‌ها نیز می‌تواند سبب بهبود حاکمیت قانون و سیستم‌های حقوقی و حقوق مالکیت در کشورهای غرب آسیا از جمله ایران شود. حفظ ارزش پول ملی در بلندمدت از طریق سیاست‌های ضدتورمی بانک‌های مرکزی، نظیر کنترل نقدینگی، می‌تواند سبب بهبود شاخص پول سالم شود. به‌طور کلی، حکمرانی خوب و آزادی اقتصادی در کنار یکدیگر می‌توانند نقش مهمی را در ثبات اقتصادی و سیاسی یک کشور ایفا کنند. ورود فناوری و دانش فنی از طریق فراهم آوردن زمینه سرمایه‌گذاری خارجی دانش‌محور در کنار ارتقای سرمایه انسانی برای استفاده مطلوب از عواید این نوع سرمایه‌گذاری به همراه اصلاحات نهادی، به‌ویژه فراهم آوردن بستر تجارت بین‌المللی، می‌تواند در کاهش فاصله از مرز فناوری به‌ویژه در کشورهای غرب آسیا موثر باشد.

یکی از محدودیت‌های این پژوهش کمبود داده‌های نهادی، به‌ویژه برای کشورهای غرب آسیا است. داده‌های نهادی بنیاد فریزر به صورت سری زمانی سالیانه برای بیش‌تر کشورها از سال ۲۰۰۰

تا ۲۰۱۸ و داده‌های بانک جهانی از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در دسترس است. از طرفی، داده‌های بنیاد فریزر برای برخی کشورها نظیر عراق، عربستان و قطر از این تعداد نیز کم‌تر است. این محدودیت‌ها سبب کاهش دوره زمانی پژوهش شده است. به همین دلیل، دوره زمانی پژوهش برای مدل‌هایی که در آن‌ها از شاخص‌های نهادی بنیاد فریزر استفاده شده است، از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ و برای مدل‌هایی که شاخص‌های نهادی بانک جهانی در آن‌ها بکار رفته است، از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در نظر گرفته شده است.

اظهاریه قدردانی

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های معنوی و توصیه‌های ارزشمند داوران محترم و ناشناس که نقش مهمی در ارتقای سطح کیفی مقاله داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

منابع

- Acemoglu, D. (2012). Introduction to Economic Growth. *Journal of Economic Theory*, 147(2), 545-550. <https://doi.org/10.1016/j.jet.2012.01.023>
- Acemoglu, D., & Robinson, J. (2008). *The Role of Institutions in Growth and Development* (Vol. 10): World Bank Washington DC.
- Adelakun, O. J. (2011). Human Capital Development and Economic Growth in Nigeria. *European Journal of Business and Management*, 3(9), 29-38.
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations. *The Review of Economic Studies*, 58(2), 277-297. <https://doi.org/10.2307/2297968>
- Arellano, M., & Bover, O. (1995). Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-Components Models. *Journal of Econometrics*, 68(1), 29-51. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01642-D](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01642-D)
- Ashraf, A., Herzer, D., & Nunnenkamp, P. (2016). The Effects of Greenfield FDI and Cross-Border M&As on Total Factor Productivity. *The World Economy*, 39(11), 1728-1755. <https://doi.org/10.1111/twec.12321>
- Balcerzak, A. P., & Pietrzak, M. B. (2016). Quality of Institutions and Total Factor Productivity in the European Union. *Statistics in Transition New Series*, 3(17), 497-514. <https://doi.org/10.21307/stattrans-2016-034>
- Baltabaev, B. (2014). Foreign Direct Investment and Total Factor Productivity Growth: New Macro-Evidence. *The World Economy*, 37(2), 311-334. <https://doi.org/10.1111/twec.12115>
- Barro, R. J., & Lee, J. W. (2013). A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010. *Journal of Development Economics*, 104, 184-198. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2012.10.001>
- Benos, N., & Karagiannis, S. (2016). Do Education Quality and Spillovers Matter?

- Evidence on Human Capital and Productivity in Greece. *Economic Modelling*, 54(1), 563-573. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.01.015>
- Benzaim, S., Fiti, Z., Khedhaouria, A., & Djermane, R. (2021). US Foreign Investments: Technology Transfer, Relative Backwardness, and the Productivity Growth of Host Countries. *The Quarterly Review of Economics and Finance*. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2021.03.012>
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00009-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00009-8)
- Bruno, G. S. (2005). Estimation and Inference in Dynamic Unbalanced Panel Data Models with a Small Number of Individuals. *The Stata Journal*, 5(4), 473-500. <https://doi.org/10.1177/1536867X0500500401>
- Campbell, O., & Agbiokoro, T. (2013). Human Capital and Economic Growth: A Three Stage Least Squares Approach. Available at SSRN 2331545. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2331545>
- Conti, M., & Sulis, G. (2016). Human Capital, Employment Protection and Growth in Europe. *Journal of Comparative Economics*, 44(2), 213-230. <https://doi.org/10.1016/j.jce.2015.01.007>
- De Loecker, J. (2013). Detecting Learning by Exporting. *American Economic Journal: Microeconomics*, 5(3), 1-21. <https://doi.org/10.1257/mic.5.3.1>
- Feenstra, R. C., Inklaar, R., & Timmer, M. P. (2015). The Next Generation of the Penn World Table. *American Economic Review*, 105(10), 3150-3182. <https://doi.org/10.1257/aer.20130954>
- Findlay, R. (1978). Relative Backwardness, Direct Foreign Investment, and the Transfer of Technology: A Simple Dynamic Model. *The Quarterly Journal of Economics*, 92(1), 1-16. <https://doi.org/10.2307/1885996>
- Hayakawa, K. (2007). Small Sample Bias Properties of the System GMM Estimator in Dynamic Panel Data Models. *Economics Letters*, 95(1), 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2006.09.011>
- Hsiao, C., & Shen, Y. (2003). Foreign Direct Investment and Economic Growth: The Importance of Institutions and Urbanization. *Economic Development and Cultural Change*, 51(4), 883-896. <https://doi.org/10.1086/375711>
- Kumar, A., & Kober, B. (2012). Urbanization, Human Capital, and Cross-Country Productivity Differences. *Economics Letters*, 117(1), 14-17. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2012.04.072>
- Li, C., & Tanna, S. (2019). The Impact of Foreign Direct Investment on Productivity: New Evidence for Developing Countries. *Economic Modelling*, 80(1), 453-466. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.11.028>
- Li, T., & Wang, Y. (2018). Growth Channels of Human Capital: A Chinese Panel Data Study. *China Economic Review*, 51(1), 309-322. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2016.11.002>
- Li, X., & Liu, X. (2005). Foreign Direct Investment and Economic Growth: An Increasingly Endogenous Relationship. *World Development*, 33(3), 393-407. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.11.001>
- Lucas Jr, R. E. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
- Mahadevan, R., & Asafu-Adjaye, J. (2005). The Productivity-Inflation Nexus: The Case of the Australian Mining Sector. *Energy Economics*, 27(1), 209-224. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.10.003>

- Malikane, C., & Chitambara, P. (2017). Foreign Direct Investment, Productivity and the Technology Gap in African Economies. *Journal of African Trade*, 4(1-2), 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.joat.2017.11.001>
- Nelson, R. R., & Phelps, E. S. (1966). Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *The American Economic Review*, 56(1/2), 69-75.
- Nguyen, T.-A. (2009). Sources of Economic Growth: Physical Capital, Human Capital, Natural Resources, and TFP. (Doctoral Thesis). Université Panthéon-Sorbonne-Paris I,
- Psacharopoulos, G. (1994). Returns to Investment in Education: A Global Update. *World Development*, 22(9), 1325-1343. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0305-750X(94)90007-8)
- Rath, B. N., Akram, V., Bal, D. P., & Mahalik, M. K. (2019). Do Fossil Fuel and Renewable Energy Consumption Affect Total Factor Productivity Growth? Evidence from Cross-Country Data with Policy Insights. *Energy Policy*, 127(1), 186-199. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.014>
- Solow, R. M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics*, 39(3), 312-320. <https://doi.org/10.2307/1926047>
- Soto, M. (2009). System GMM Estimation with a Small Sample. Institut d'Anàlisi Econòmica (CSIC). Working Papers, No. 780.09.
- Wang, J.-Y., & Blomström, M. (1992). Foreign Investment and Technology Transfer: A Simple Model. *European Economic Review*, 36(1), 137-155. [https://doi.org/10.1016/0014-2921\(92\)90021-N](https://doi.org/10.1016/0014-2921(92)90021-N)
- Whalley, J., & Zhao, X. (2013). The Contribution of Human Capital to China's Economic Growth. *China Economic Policy Review*, 2(01), 1350001. <https://doi.org/10.1142/S1793969013500015>
- Wooldridge, J. M. (2001). Applications of Generalized Method of Moments Estimation. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 87-100. <https://doi.org/10.1257/jep.15.4.87>
- Zhou, D., Li, S., & David, K. T. (2002). The Impact of FDI on the Productivity of Domestic Firms: The Case of China. *International Business Review*, 11(4), 465-484. [https://doi.org/10.1016/S0969-5931\(02\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0969-5931(02)00020-3)

نحوه ارجاع به مقاله:

جعفری، سعید؛ اسفندیاری، مرضیه، و پهلوانی، مصیب (۱۴۰۱). بررسی دلایل تفاوت بهره‌وری کل عوامل در کشورهای شرق و غرب آسیا با تاکید بر عوامل نهادی، سرمایه انسانی، و عقب‌ماندگی نسبی. نشریه برنامه‌ریزی و بودجه، ۲۷(۳)، ۱۴۰-۱۰۹.

Jafari, S., Esfandiari, M., & Pahlavani, M. (2022). Investigating the Reasons for the Difference in Total Factor Productivity Between East and West Asia with Emphasis on Institutions, Human Capital and Relative Backwardness. *Planning and Budgeting*, 27(3), 109-140.

DOI: <https://doi.org/10.52547/jpbud.27.3.109>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



کاربرد نظریه طراحی سازوکارهای انگیزه - سازگار (سازوکارهای خودتنظیم کارا و اثربخش) در برنامه هفتم توسعه کشور

o.paras@impa.ac.ir

امیدعلی پارسا

دکتری اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران،
ایران (نویسنده مسئول).

g.askari@impa.ac.ir

غلامرضا عسکری

دکتری ریاضی، کارشناس موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت
و برنامه‌ریزی، ایران.

ابراهیم پاژکی‌نژاد

دکتری ریاضی، کارشناس موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و
برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۱۵

چکیده: یکی از آسیب‌ها و نقاط ضعف آشکار عدم توفیق برنامه‌های پنج‌ساله توسعه کشور، فقدان یا ضعف شدید ساختارها، نهادها و سازوکارهای انگیزه - سازگار (سازوکارهای انگیزشی کارا و اثربخش خودتنظیم) برای عوامل اجرایی غیرمتمرکز است. نظریه طراحی سازوکار برای حل این مسئله مهم و لحاظ کردن مستقیم انگیزه‌های درونی اقتصادی عوامل اجرایی در سیاستگذاری‌ها و برنامه‌های توسعه مطرح گردیده و در دهه‌های اخیر کاربرد فراوانی داشته است. طراحی سازوکار هنر طراحی قواعد بازی برای دستیابی به اهداف یا آثار مطلوب جمعی است. برای استفاده از طراحی سازوکار در برنامه‌ریزی و سیاستگذاری، ابتدا اهداف یا آثار مطلوب جمعی توسط سیاستگذاران و برنامه‌ریزان مرکزی تعیین می‌شوند، سپس قواعد بازی برای ایجاد انگیزه‌های کافی در عوامل اجرایی به منظور انجام فعالیت‌های همراستا با اهداف اجتماعی سیاستگذاران و برنامه‌ریزان تعیین می‌گردند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که سیاست‌ها و اهداف کلان و قوانین و مقررات متعالی مورد نظر سیاستگذاران و برنامه‌ریزان مرکزی، مادی که با طراحی و استقرار سازوکارهای کارا و اثربخش خودتنظیم برانگیزاننده و بازدارنده عوامل اجرایی غیرمتمرکز پشتیبانی نشوند، در عمل تضمینی برای اجرای شایسته آن‌ها وجود ندارد. بنابراین، استفاده کاربردی از این نظریه مدرن در برنامه هفتم توسعه کشور ضرورت دارد.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌های توسعه، برنامه‌ریزی جامع، طراحی سازوکار، اطلاعات اختصاصی،

اطلاعات ناکامل و نامتقارن، عامل اجرایی، آثار مطلوب جمعی.

طبقه‌بندی JEL: C70, O21, H10

مقدمه

نظریه بازی یکی از شاخه‌های کاربردی ریاضیات است که با تعاملات راهبردی بین عوامل (سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و مجریان) سروکار دارد و به‌طور گسترده در سایر علوم استفاده شده است (Rahbar *et al.*, 2013; Broumand, 2019). این نظریه به تجزیه و تحلیل بازی‌ها، تعارض‌ها و هماهنگی‌ها می‌پردازد (Nash, 1950; 1951). یکی از زیرشاخه‌های آن طراحی سازوکار است که شامل طراحی قواعد و بازی‌هایی برای دستیابی به اهداف تابع انتخاب اجتماعی^۱ است (Apt, 2011; Baliga & Maskin, 2003). طراحی سازوکار همواره روشی نظام‌مند برای طراحی قواعد مناسب است که در آن عوامل اجرایی راهبردی بتوانند تعامل داشته باشند، و تعامل عوامل اجرایی به نتایج مد نظر متولی نظام برنامه‌ریزی منجر شود. به عبارت دیگر، سازوکار طراحی شده با ایجاد انگیزه‌های درونی لازم و کافی در عوامل اجرایی، بازی را میان آن‌ها القا می‌کند که تعادل آن بازی هدفی (غالباً بهینه اجتماعی) است که برنامه‌ریز مرکزی آن را در نظر گرفته است. برای این منظور، برنامه‌ریز مرکزی از طریق طراحی سازوکارهای مستقیم و سازوکارهای غیرمستقیم می‌تواند دو مسئله استخراج ترجیحات^۲ (اطلاعات) و تجميع ترجیحات^۳ را برای تحقق اهداف جمعی بین عوامل اجرایی و خود پیاده‌سازی کند (Allen, 1997; Jackson, 2014). مسئله استخراج اطلاعات به دنبال جمع‌آوری اطلاعات واقعی (صادقانه و درست) از عوامل اجرایی در مورد مجموعه اطلاعات اختصاصی آن‌هاست. به منظور استخراج اطلاعات واقعی، ایده این است که آشکارسازی واقعیت را بهترین پاسخ برای عوامل، مطابق با عقلانیت و فرضیات هوشمندی^۴ قرار دهید (Myerson, 1997; 2008). ارائه انگیزه لازم راهی برای دستیابی به این هدف است. در این نظریه مفهوم انگیزه - سازگار^۵ اساساً به ارائه انگیزه‌های برانگیزاننده و بازدارنده اشاره دارد که عوامل اجرایی را ترغیب می‌کند اطلاعات اختصاصی^۶ (مشخص برای خود عامل اجرایی و نامشخص برای دیگران) خود را صادقانه آشکار کنند و بیش‌ترین تلاش خود را برای تحقق اهداف فردی همسو با اهداف جمعی به عمل آورند (Bergemann & Välimäki, 2010; Jehiel Moldovanu, 2001; Myerson, 1979).

به‌طور کلی، دو نوع روش برای ایجاد انگیزه - سازگار (ارائه انگیزه‌های مناسب به عوامل اجرایی) وجود دارد: (۱) آشکارسازی حقیقت بهترین پاسخ برای هر عامل باشد، بدون در نظر گرفتن اطلاعات

1. Social Choice Function
2. Preference Elicitation Problem
3. Preference Aggregation Problem
4. Intelligence
5. Incentive Compatibility
6. Type Set

اختصاصی که توسط سایر عوامل گزارش شده است؛ و (۲) آشکارسازی حقیقت بهترین پاسخ برای هر عامل است اگر انتظار داشته باشد که سایر عوامل نیز اطلاعات اختصاصی خود را صادقانه گزارش بدهند. حالت نخست راهبرد مسلط انگیزه - سازگار^۱ (DSIC) و حالت دوم تعادل نش بیزی انگیزه - سازگار^۲ (BIC) نامیده می‌شود (Cheng, 1998; Milgrom & Milgrom, 2004; Narahari *et al.*, 2009).

مفهوم کلیدی انگیزه - سازگار در سال ۱۹۷۲ توسط هوریچ معرفی گردید (Hurwicz, 1972). این مفهوم در طراحی سازوکار اجازه می‌دهد که انگیزه‌های بازیگران منطقی و هوشمند در نظر گرفته شود و حوزه کاربرد طراحی سازوکار گسترش یابد. مفهوم سازگاری انگیزه نقش اصلی در قضیه آشکارسازی^۳ ایفا می‌کند، که از نتایج اساسی نظریه طراحی سازوکار است. ماسکین یکی از خلاقانه‌ترین کارها را در زمینه نظریه پیاده‌سازی برای حل این مسئله ارائه داد که آیا می‌توان سازوکار را طوری طراحی کرد که تمام تعادل‌های آن بهینه باشد؟ برای پاسخ به این پرسش، او قابل‌اجرا بودن اهداف جمعی را با استفاده از مفهوم یکنوایی^۴ مطرح کرد (Maskin, 1983; 2008). ویکری با طراحی سازوکار مناسب این نتیجه قابل‌توجه را ثابت کرد که پیشنهادها در حراج قیمت دوم دقیقاً برابر با ارزشگذاری‌های مربوطه خواهد بود؛ در واقع ویکری نشان داد که بهترین کار برای هر پیشنهاددهنده‌ای است که ارزش واقعی خود را صرف نظر از پیشنهاد سایر بازیکنان پیشنهاد دهد (Vickrey, 1961). گیبارد^۵ (۱۹۷۳)، اصل آشکارسازی را برای سازوکارهای راهبرد مسلط انگیزه - سازگار مطرح کرد که نشان می‌دهد سازوکارهای مستقیم و غیرمستقیم هم‌ارز هستند. این اصل بعداً برای سازوکارهای بیزی انگیزه-سازگار (BIC) تعمیم داده شد (Harsanyi, 1968; Palfrey, 1992). گیبارد (۱۹۷۳) و ساتروایت^۶ (۱۹۷۵)، تحت برخی شرایط فنی نشان می‌دهند که راهبرد مسلط انگیزه - سازگار فقط با توابع انتخاب جمعی دیکتاتوری^۷ قابل‌دستیابی است. پژوهش‌های مختلف با تعمیم سازوکارهای ویکری به تعریف طبقه وسیعی از سازوکارهای راهبرد مسلط انگیزه - سازگار در محیط شبه‌خطی کمک کردند (Clarke, 1971; Groves, 1973; Groves *et al.*, 1987).

سازوکار ویکری-کلارک-گروز^۸ (VCG) با استفاده از ایده نقض یکی از شرایط ضروری قضیه گیبارد

1. Dominant Strategy Incentive Compatibility
2. Bayesian Nash Incentive Compatibility
3. Revelation Principle
4. Monotonicity
5. Gibbard
6. Satterthwaite
7. Dictatorship
8. Vickrey-Clarke-Groves

- ساترویت به دست آمده است. سازوکارهای VCG یک محیط محدود به نام محیط شبه خطی^۱ را فرض می کنند که در آن هیچ تابع انتخاب اجتماعی نمی تواند دیکتاتوری باشد و علاوه بر این، سازوکار می تواند به زیبایی به یک قاعده تخصیص^۲ و یک قاعده پرداخت^۳ تجزیه شود. این سازوکارها را به اختصار سازوکارهای گروز می نامند (Baliga & Sjöström, 2007; Hurwicz, 1972; Narahari, 2014).

گرین و لافونت^۴ (۱۹۷۹)، تحت شرایطی نشان دادند که تابع انتخاب جمعی تخصیص کارامد^۵ و DSIC در محیط نامحدود باید لزوماً یک سازوکار گروز باشد. **رابرتز^۶ (۱۹۷۹)**، برخی از شرایط قضایای **گرین و لافونت (۱۹۷۹)** را تعمیم داد و بیان کرد که همه سازوکارهای DSIC حالتی از سازوکار VCG هستند و این حالتها اغلب به عنوان سازوکارهای وزن دار^۷ VCG نامیده می شوند. در سازوکار وزنی VCG، وزن به عوامل و به نتایج داده می شود و تابع انتخاب جمعی به دست آمده یک بیشینه کننده وابسته است.

موخرجی و رایشل اشتاین^۸ (۱۹۹۲)، با توصیف قوانین BIC که می توانند به طور معادل در راهبردهای مسلط پیاده سازی شوند، به این پرسش پاسخ داده اند: آیا می توانیم تابع انتخاب جمعی BIC را به عنوان یک تابع انتخاب جمعی DSIC با همان ابزارهای اولیه مورد انتظار برای همه بازیکنان پیاده سازی کنیم؟ آنها نشان می دهند، هنگامی که برخی از شرایط کافی برآورده شوند، تابع انتخاب جمعی BIC می تواند بدون نگرانی در مورد بیشینه مشترک قبلی به صورت DSIC اجرا شود. در نهایت، **میزتی^۹ (۲۰۰۴)** سازوکاری دومرحله ای طراحی کرده است که کارایی تخصیصی و سازگاری انگیزه های پس از آن را تضمین می کند.

یکی از چالش های دستیابی به توسعه، مربوط به نظام سیاستگذاری و برنامه ریزی، به ویژه مرحله تدوین سیاست های توسعه است. تدوین خط مشی، گام نخست پیش از تصمیم گیری است که شامل شناسایی و تشخیص مجموعه ای از گزینه های سیاستی برای حل یک مسئله و انتخاب راه حل های مناسب برای پیاده سازی تصمیم گیری نهایی است (Sidney, 2017). در برخی از نظریه ها،

1. Quasilinear Environment
2. Allocation Rule
3. Payment Rule
4. Green & Laffont
5. Allocative Efficiency
6. Roberts
7. Weighted VCG Mechanisms
8. Mookherjee & Reichelstein
9. Mezzetti

نقش سیاستگذار عمومی، عوامل اجرایی و ذی‌نفعان در روندهای کلان و توسعه اهمیت زیادی دارد و به عنوان عامل کلیدی در دستیابی به توسعه مطرح می‌گردد (Turnpenny, 2015). پیاده‌سازی راه‌حل‌های مناسب نیازمند چارچوبی است که انگیزه‌های فردی عوامل اجرایی و ذی‌نفعان، اطلاعات و واکنش احتمالی آن‌ها را در نظر بگیرد، زیرا سیاست‌هایی که مد نظر آن‌ها نباشد کنار گذاشته می‌شوند (Thomas, 2001).

نتایج آسیب‌شناسی برنامه‌های پنج‌ساله توسعه کشور حاکی از آن است که یکی از نقاط ضعف مهم این برنامه‌ها این است که در تنظیم سیاست‌ها، اهداف کلان و برنامه‌هایی اجرایی، به انگیزه‌های درونی عوامل اجرایی توجه کافی نمی‌شود. این در حالی است که عوامل اجرایی نقش اصلی در اجرای عملیات و اقدامات برای رسیدن به اهداف ایفا می‌کنند. ضعف سازوکارهای انگیزشی در ادبیات نظری و پژوهش‌های تجربی، شکاف موجود در ادبیات است که، علی‌رغم اهمیت آن، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. فقدان سازوکارهای انگیزشی کارا و اثربخش برای جلب مشارکت موثر همه ذی‌نفعان برنامه از قبیل سازمان‌ها و نهادهای غیردولتی، و پایین بودن میزان شناخت سیاستگذاران و برنامه‌ریزان سبب شده است که در اغلب موارد، اهداف برنامه‌ای به صورت بلندپروازانه و بدون توجه به محدودیت‌های منابع مالی و انسانی کشور تعیین گردد. چگونگی تدوین سیاست‌های توسعه و پیاده‌سازی برنامه‌های توسعه، مسئله اصلی در تدوین برنامه‌های توسعه است. راه‌حل این مسئله مهم، نظریه طراحی سازوکارهای انگیزه - سازگار (سازوکارهای خودتنظیم کارا و اثربخش) است که می‌توان آن را به عنوان سهم این پژوهش مطرح کرد. بنابراین یکی از بایسته‌های برنامه هفتم توسعه کشور، طراحی، استقرار و تضمین «سازوکارهای خودتنظیم اثربخش» است. به این معنا که مجموعه قواعد سیاستی محیط تعامل (فضای کنش عوامل اجرایی و انجام اقدامات و فعالیت‌های اجرایی) و قواعد انگیزشی عوامل اجرایی، باید به گونه‌ای تدوین، تضمین و مستقر شوند که انگیزه‌های درونی کافی را برای تضمین همسویی کامل «بهینه‌یابی‌های فردی عوامل اجرایی» و «نتایج مطلوب عمومی مورد نظر سیاستگذاران و برنامه‌ریزان» ایجاد نمایند.

مبانی نظری پژوهش

نظریه طراحی سازوکار

خروجی کمی یا کیفی است. او گاهی اوقات به دنبال اتخاذ تصمیم مناسب (معمولاً کیفی) و گاهی اوقات به دنبال رسیدن به هدف مطلوب (معمولاً کمی) است. ^۱ نمایه $(D, \theta_1, \dots, \theta_n, v_1, \dots, v_n, f)$ تشکیل‌دهنده قاعده انتخاب جمعی است که در آن:

✓ مجموعه‌ای از نتایج پیشرو برنامه‌ریز و D مجموعه‌ای از تصمیمات برنامه‌ریز مرکزی^۲؛

✓ تعداد $n > 1$ عامل اجرایی؛

✓ مجموعه‌ای از اطلاعات اختصاصی (دانسته‌ها، توانمندی‌ها و...) برای هر عامل اجرایی نام در

قالب θ_i ؛

✓ عبارت $\theta_i \in \Theta_i$ بیان‌کننده دسته‌ای خاص از اطلاعات اختصاصی است؛ و

✓ تابع عایدی اولیه^۳ با ضابطه

$$\begin{cases} v_i: D \times \Theta_i \rightarrow R \\ ((d', \theta_i) \rightarrow v_i(d', \theta_i)) \end{cases}$$

تابع انتخاب جمعی^۴ (SCF) (قاعده تصمیم): تابعی با ضابطه $f: \Theta \rightarrow D(X)$ است، یعنی به‌زای هر نمایه از اطلاعات اختصاصی داده شده، یک خروجی یا تصمیم وجود دارد. مسئله تعیین خروجی (مطلوب) با حضور یک متولی تصمیم‌گیر (برنامه‌ریز مرکزی) - کسی که تصمیمات را بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از عوامل اجرایی اتخاذ می‌نماید - شکل می‌گیرد. نتایج (آثار ممکن) از طریق تابع انتخاب جمعی (قاعده تصمیم) که عموماً شناخته‌شده هستند، طی فرایندهای زیر اتخاذ می‌شود:

✓ با توجه به تعریف تابع انتخاب جمعی، هر عامل اجرایی با توجه به مسئله تصمیم‌گیری دارای یک اطلاع (نوع) اختصاصی است.

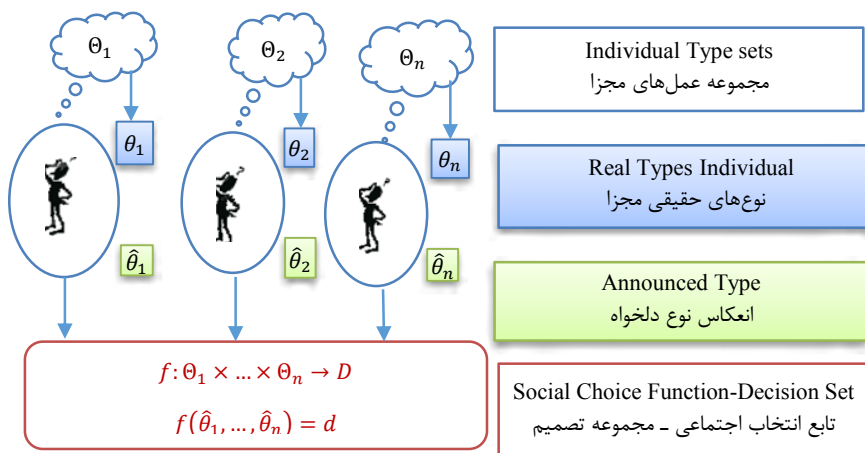
✓ هر عامل اجرایی به برنامه‌ریز اجتماعی یک اطلاعات دلخواه $\hat{\theta}_i \in \Theta_i$ را اعلام می‌نماید. سپس همه اطلاعات در قالب نمایه $\hat{\theta} = (\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_n)$ تجمیع می‌شود.

✓ برنامه‌ریز اجتماعی یک تصمیم (خروجی، عملکرد و...) را بر اساس قاعده انتخاب اجتماعی با ضابطه $f: \prod_{i=1}^n \Theta_i \rightarrow D(X)$ و $d = f(\theta)$ اتخاذ و به عوامل اعلام می‌کند.

✓ عایدی اولیه $u_i: D \times \Theta_i \rightarrow R$ با مقدار $u_i(d, \theta_i)$ به هر عامل تعلق می‌گیرد.

شکل (۱)، مدل مفهومی تابع انتخاب اجتماعی را نشان می‌دهد.

1. Profile
2. Central Authority
3. Initial Utility
4. Social Choice Function



شکل ۱: مدل مفهومی تابع انتخاب اجتماعی

مسئله طراحی سازوکار

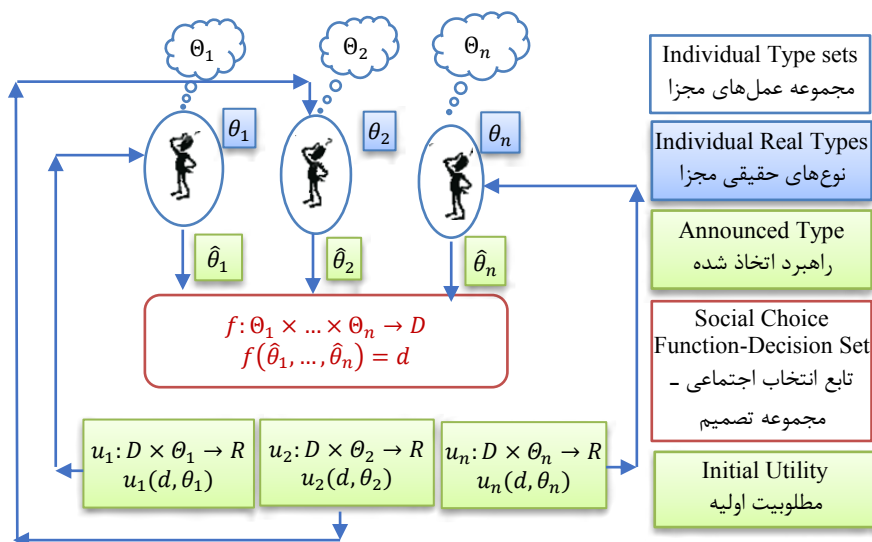
دو مسئله اصلی پیشروی برنامه‌ریز اجتماعی به منظور تهیه بهترین نتایج و بیشینه‌سازی عملکرد در بالاترین سطح مطلوبیت عبارت‌اند از: مسئله تجميع ترجیحات^۱ و مسئله استخراج اطلاعات^۲. برنامه‌ریز اجتماعی در مسئله تجميع ترجیحات به منظور جمع‌آوری نظرات (اقدامات) انعکاس‌یافته توسط عوامل اجرایی مبتنی بر قواعد مناسب تعامل، برای رسیدن به تصمیم جمعی، یک تابع انتخاب اجتماعی را تعریف می‌کند. برنامه‌ریز اجتماعی به دنبال مفهوم دیگری با عنوان مسئله استخراج اطلاعات نیز باید باشد. یک راه‌حل بدیهی برای حل مسئله استخراج اطلاعات، درخواست از عوامل اجرایی برای آشکارسازی اطلاعات اختصاصی واقعی و صادقانه و کاربرد مستقیم آن در اتخاذ تصمیم در قالب بیان مسئله تصمیم‌گیری است، یعنی $f(\theta) = d$. طبیعتاً این فرایند به خلق مطلوبیت $u_i(d, \theta_i)$ منجر می‌گردد، اما بیشینه‌سازی ترجیحات ناشی از مطلوبیت ایجادشده وابسته به میزان واقعی بودن نمایه اعلام شده است.

اصل آشکارسازی مجموعه تشکیل شده از همه تعادل‌های امکان‌پذیر را به صورت دقیق با مجموعه

1. Preference Aggregation Problem
2. Information Elicitation problem

سازوکارهای سازگار انگیزشی تطبیق می‌دهد و همزمان می‌کند. این محدودیت‌های انگیزشی معین و قطعی، اظهار می‌کنند که افراد اطلاعات شخصی یا توانمندی‌های خود را برای اجرا، بدون این‌که انگیزه‌های مناسبی داشته باشند، به اشتراک نمی‌گذارند. بنابراین، نیاز است که اطلاعات بازیگران در طراحی سازوکار استخراج شود.

شکل ۲، شمای کلی مسئله استخراج اطلاعات را نشان می‌دهد.



شکل ۲: شمای کلی مسئله استخراج اطلاعات

یکی از راه‌هایی که برنامه‌ریز اجتماعی می‌تواند این مشکل را حل کند، استفاده از سازوکار مناسب^۱ است. با توجه به تعریف تابع انتخاب اجتماعی؛
 ✓ عوامل اجرایی وجود دارند، که با $i = 1, 2, \dots, n$ فهرست‌بندی می‌شوند، و مشارکتشان به یک اثر یا تصمیم از مجموعه آثار (تصمیم) D منجر می‌شود.

✓ با این حال، قبل از انتخاب، هر عامل اجرایی انتظارات خود (مطلوبیت) خود را از تک تک تصمیماتی که ممکن است اتخاذ شود، از طریق مجموعه نوع خود بررسی می‌کند θ_i سپس اطلاعات اختصاصی مورد نظر خود را اعلام می‌کند که لزوماً صادقانه نیست و ممکن است دستکاری شده باشد.

1. Appropriate Mechanism

✓ این مجموعه از نوع‌های عوامل اجرایی در قالب $(\theta_1, \dots, \theta_N)$ ، و به صورت $\theta = \prod_i \theta_i$ جمع می‌شود. پس برای هر تابع توزیع احتمال $\phi \in \Delta\theta$ می‌توان به عنوان پیشینه برای انتخاب نوع‌های عوامل اجرایی در نظر گرفت که جزو دانش مشترک عوامل اجرایی نیز است.

✓ هر عامل عاقل و باهوش^۱ است. مفهوم ریاضی آن این است که عوامل همیشه سعی در به پیشینه رساندن مطلوبیت $u_i: D \times \theta_i \rightarrow R$ دارند؛ البته با توجه به وجود دانش مشترک این مطلوبیت تابعی از دو متغیر اطلاعات اختصاصی درست و صادقانه و تصمیمی است که توسط متولی به وسیله مشارکت عوامل ایجاد می‌گردد.

در دنیای واقعی، با شرایط اطلاعات ناکامل و نامتقارن مواجه هستیم، بنابراین اطلاعات اختصاصی عوامل در تعیین خروجی‌های ممکن اثرگذار هستند. روش‌های مختلفی برای حل مسئله استخراج اطلاعات وجود دارد، از جمله سازوکار مستقیم و سازوکار غیرمستقیم. در سازوکار مستقیم، عوامل اجرایی مستقیماً اطلاعات اختصاصی خود را اعلام می‌کنند، چرا که نفع بازیگر در گزارش صادقانه اطلاعات است. در سازوکار غیرمستقیم، برنامه‌ریز مرکزی با الهام از بازی‌های بیزی (پیشابیزی) و با در نظر گرفتن اطلاعات ناکامل و نامتقارن عوامل اجرایی به دنبال استخراج اطلاعات اختصاصی درست عوامل اجرایی است. یعنی با استفاده از خروجی‌های مد نظر، بازی بیزی (پیشابیزی) را طوری طراحی می‌کند که تعادل بازیگران، خروجی مد نظر باشد و علاوه بر آن، تعادل مذکور مبتنی بر اطلاعات اختصاصی درست و صادقانه عوامل باشد.

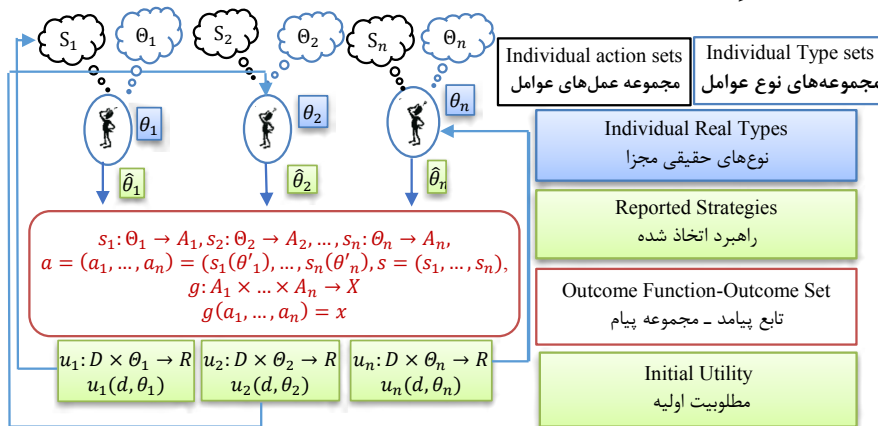
تعریف ۱ (سازوکار غیرمستقیم): به دوگانه متشکل از مجموعه‌های عمل و تابع پیامد که به صورت $M = ((S_i), g(\cdot))$ نمایش داده می‌شود، سازوکار (غیرمستقیم) گویند اگر؛
✓ X نتایج پیشروی برنامه‌ریز مرکزی.

✓ تابع آثار^۲ ضابطه‌ای است با $g: S_1 \times \dots \times S_n \rightarrow D \text{ or } X$ که جزو دانش مشترک است و در ازای ارائه $(s_1, \dots, s_n)$ یک نمایه از عمل‌های صورت گرفته است. عوامل اجرایی هر کدام از این عمل‌ها متناظر با نوع θ_i انتخاب شده توسط عامل اجرایی صورت می‌گیرد و $g(s_1, \dots, s_n) = d \text{ or } x$ به آثار اجتماعی^۳ d منجر می‌شود.

✓ با تعریف سازوکار مناسب (N, S_i, g, u_i) شرط زیر برقرار است:
هر عامل $i \in N$ به‌ازای نوع دریافتی $\theta_i \in \Theta_i$ ، یک ترجیح ضعیف دارد که انتقالی و کامل است.

1. Rational & Intelligent
2. Outcome Rule
3. Social Outcome

شکل (۳)، شمای کلی سازوکار غیرمستقیم را نشان می‌دهد.



شکل ۳: شمای کلی سازوکار مناسب (غیرمستقیم)

ادامه تعریف ۱ (سازوکار مستقیم آشکار ساز)^۱: به ازای هر تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D$ به دوگانه $\mathcal{D} = ((\theta_i), f(\cdot))$ یک سازوکار مستقیم آشکار ساز (DRM) مبتنی بر تابع انتخاب اجتماعی $(f(\cdot))$ گویند که حالت خاصی از سازوکار $M = ((S_i), g(\cdot))$ و $g(\cdot) = f(\cdot)$ است.

تعریف ۲: سازوکار غیرمستقیم $M = ((S_i), g(\cdot))$ تابع انتخاب اجتماعی را اجرا می‌نماید. اگر وجود داشته باشد، نمایه راهبرد $(s^*_1, \dots, s^*_n)$ به صورت خروجی نش بازی $(n, \theta_i, S_i, \phi, P_i)$ است که شرط $g(s^*_1(\theta_1), \dots, s^*_n(\theta_n)) = f(\theta_1, \dots, \theta_n), \forall (\theta_i, \theta_{-i}) \in \prod_i \theta_i$ را دارد.

تعریف ۳: نمایه راهبردی $(s^d_1, \dots, s^d_n)$ در بازی بیزی $(n, \theta_i, S_i, \phi, P_i)$ القا شده به وسیله سازوکار $M = ((S_i), g(\cdot))$ را خروجی راهبرد نسبتاً مسلط^۲ می‌گویند اگر در شرایط زیر باشد:

$$u_i(g(s^d_i(\theta_i), s_{-i}(\theta_{-i})), \theta_i) \geq u_i(g(s'_i(\theta_i), s_{-i}(\theta_{-i})), \theta_i)$$

$$\forall i = 1, \dots, n \forall (\theta_i, \theta_{-i}) \in \prod_i \theta_i, \forall s'_i(\cdot) \in S_i, \forall s_{-i}(\cdot) \in S_{-i}$$

سازوکار $M = ((S_i), g(\cdot))$ تابع انتخاب اجتماعی را با خروجی راهبرد مسلط اجرا می‌نماید. اگر وجود داشته باشد، یک خروجی از نمایه راهبرد نسبتاً مسلط $(s^d_1, \dots, s^d_n)$ بازی بیزی $(n, \theta_i, S_i, \phi, P_i)$

1. Direct Revelation Mechanism
2. Weakly Dominant Strategy Equilibrium

است که شرط $g(s^d_1(\theta_1), \dots, s^d_n(\theta_n)) = f(\theta_1, \dots, \theta_n), \forall (\theta_i, \theta_{-i}) \in \prod_i \theta_i$ را دارد.

گزاره ۱: هر خروجی راهبرد نسبتاً مسلط در بازی بیزی القاشده $(n, \theta_i, S_i, \phi, P_i)$ توسط سازوکار $M = ((S_i), g(\cdot))$ یک خروجی نش بیزی $(n, \theta_i, S_i, \phi, P_i)$ است.

با توجه به تعریف سازوکار غیرمستقیم $M = ((S_i), g(\cdot))$ یک تابع انتخاب اجتماعی را اجرا می‌نماید. اگر وجود داشته باشد، نمایه راهبرد $(s^*_1, \dots, s^*_n)$ به صورت خروجی نش بازی بیزی $(n, \theta_i, S_i, \phi, P_i)$ است که شرط $g(s^*_1(\theta_1), \dots, s^*_n(\theta_n)) = f(\theta_1, \dots, \theta_n), \forall (\theta_i, \theta_{-i}) \in \prod_i \theta_i$ را دارد.

خواص تابع انتخاب اجتماعی

در صورتی که بتوان تابع انتخاب اجتماعی را اجرایی نمود، در این صورت مسئله تجميع ترجیحات حل می‌شود. اگرچه معمولاً توابع انتخاب اجتماعی قابلیت اجرایی شدن دارند، اما این موضوع بستگی به برنامه‌ریز اجتماعی و هدفش از تابع انتخاب اجتماعی دارد. از همه مهم‌تر این است که برنامه‌ریز اجتماعی باید شخصی بی‌طرف نسبت به تمام عوامل اجرایی باشد. پس آیا برای او تجميع ترجیحات و آثار $f(\theta_i, \theta_{-i})$ عدالت جمعی اهمیت دارد یا نه؟ از نظر او، تابع انتخاب اجتماعی ایده‌ال، بیش‌ترین ویژگی‌های مربوط به تعادل‌های جمعی را دارد.

تعریف ۴ (کارایی بعد از عمل): چنانچه نمایه انتخاب اصلی (واقعی، طبیعی) عوامل $(\theta_1, \dots, \theta_n)$ باشد، در این صورت به‌ازای هر دو پیامد دلخواه $x, y \in X$ به‌طوری که پیامد x برای غالب عوامل اجرایی نسبتاً مسلط و برای بعضی از عوامل اجرایی دیگر اکیداً مسلط بر پیامد y باشد، در این صورت پیامد حاصل گفتار صادقانه $y \neq f(\theta_i, \theta_{-i})$ است، که

$$(\theta_i, \theta_{-i}), \forall x, y \in X, \left\{ \begin{array}{l} \forall i, u_i(x, \theta_i) \geq u_i(y, \theta_i) \\ \exists i, u_i(x, \theta_i) > u_i(y, \theta_i) \end{array} \right\} \leftrightarrow y \neq f(\theta_i, \theta_{-i})$$

به عبارت دیگر، خروجی $f(\theta_i, \theta_{-i})$ به وسیله پیامد دیگر از $x \in X \setminus \text{ran}(f) \cup \text{ran}(f)$ نسبتاً مغلوب در همه جا یا اکیداً مغلوب نشود.

تعریف کارایی (ادامه): به‌ازای هر تصمیم دلخواه $d' \in D$ ، $\sum_{i=1}^N u_i(d', \theta_i)$ از نگاه متولی نظام برنامه‌ریزی یک رفاه اجتماعی اولیه^۲ تعریف می‌شود. چنانچه رفاه اجتماعی اولیه به‌ازای

1. Ex-Post Efficient
2. Initial Social Welfare

با داشته باشیم: $x = f(\theta_1, \dots, \theta_N)$ به صورت $\sum_{i=1}^N u_i(x, \theta_i)$ تعریف گردد، تابع انتخاب اجتماعی f کارا است اگر

$$\sum_{i=1}^N u_i(x, \theta_i) = \max_{x' \in D} \sum_{i=1}^N u_i(x', \theta_i)$$

تعریف ۵ عدم انحصارگرایی (غیردیکتاتور): به ازای هر نمایه از انتخاب‌های طبیعی عوامل $(\theta_1, \dots, \theta_n)$ نباید تصمیم که به وسیله تابع انتخاب اجتماعی بر اساس این نمایه از نوع‌های $x = f(\theta_1, \dots, \theta_n)$ به دست می‌آید، همواره بیش‌ترین مطلوبیت را برای گروه خاصی (نه همه) از عوامل داشته باشد.

$$\forall (\theta_1, \dots, \theta_n) \in \prod_{i=1}^N \Theta_i, \exists N' \subseteq N, u_j(f(\theta_1, \dots, \theta_n), \theta_j) = \max_{d' \in X} u_j(d', \theta_j)$$

برای هر $j \in N'$

تعریف ۶ (سازگاری انگیزشی): تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D(X)$ انگیزه - سازگار یا قابل اجرا به صورت صادقانه است اگر در سازوکار مستقیم آشکار ساز $\mathcal{D} = ((\theta_i), f(\cdot))$ دارای نمایه خروجی راهبرد محض $(s^*_1, \dots, s^*_n)$ همانی باشد و به اصطلاح رابطه $s^*_i(\theta_i) = \theta_i$ به ازای هر نمایه نوع (θ_i, θ_{-i}) برقرار باشد.

تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D(X)$ انگیزه-سازگار راهبرد مسلط یا قابل اجرا به صورت صادقانه^۲ در حالت راهبرد مسلط است اگر در سازوکار مستقیم آشکار ساز $\mathcal{D} = ((\theta_i), f(\cdot))$ دارای نمایه خروجی راهبرد محض مسلط $(s^d_1, \dots, s^d_n)$ همانی باشد و به اصطلاح رابطه $s^d_i(\theta_i) = \theta_i$ به ازای هر نمایه نوع (θ_i, θ_{-i}) برقرار باشد.

اعلام صادقانه نوع حقیقی از سوی هر عامل اجرایی با اندیس $i \in N$ تشکیل دهنده خروجی نمایه راهبرد مسلط در بازی بیزی القاشده توسط سازوکار مستقیم $\mathcal{D} = ((\theta_i), f(\cdot))$ است. مفهوم ریاضی اعلام (صادقانه) خود در قبال نمایه نوع انتخاب طبیعی دیگر عوامل به عنوان راهبرد مسلط مطرح می‌شود. یعنی برای هر اندیس $i \in N$ نامساوی برقرار باشد:

$$u_i(f(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) \geq u_i(f(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i)$$

در این حالت، تابع انتخاب اجتماعی $f(\cdot)$ انگیزه - سازگار با راهبرد مسلط DSIC است. به عبارت

1. Nondictatorial
2. Truthfully Implementable

کلی «صرف نظر از آنچه توسط عوامل دیگر گزارش می‌شود، راهبرد مسلط عامل اجرایی صداقت‌گویی در خصوص اطلاعات اختصاصی است».

تعریف ۷ (سازگاری انگیزشی بیزی): تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D$ انگیزه - سازگار بیزی یا قابل اجرا به صورت صادقانه در حالت خروجی نش بیزی است اگر در سازوکار مستقیم آشکار ساز $\mathcal{D} = ((\theta_i), f(\cdot))$ دارای نمایه خروجی نش بیزی $(s^*_1, \dots, s^*_n)$ همانی باشد و به اصطلاح رابطه $\theta_i = s^*_i(\theta_i) = \theta_i$ به‌ازای هر نمایه نوع (θ_i, θ_{-i}) برقرار باشد.

$$\begin{aligned} \forall s'_i(\cdot) \in S_i = \theta_i \rightarrow Ep_i(s'_i(\theta_i), \theta_{-i}, \theta_i) &= \sum_{\theta_{-i} \in \Theta_{-i}} P(\theta_{-i} | \theta_i) p_i((s'_i(\theta_i), \theta_{-i}), \theta_i) \\ &= \sum_{\theta_{-i} \in \Theta_{-i}} P(\theta_{-i} | \theta_i) u_i(f(s'_i(\theta_i), \theta_{-i}), \theta_i) \leq \sum_{\theta_{-i} \in \Theta_{-i}} P(\theta_{-i} | \theta_i) u_i(f(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) \\ &= \sum_{\theta_{-i} \in \Theta_{-i}} P(\theta_{-i} | \theta_i) p_i((\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) = Ep_i((\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) \end{aligned}$$

گزاره ۲: اگر تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D$ انگیزه - سازگار راهبرد مسلط باشد، آنگاه انگیزه - سازگار بیزی نیز است.

اصل آشکارسازی

یکی از مهم‌ترین اصول طراحی سازوکار ارتباط بین سازوکار مستقیم $\mathcal{D} = ((\theta_i), f(\cdot))$ و سازوکار غیرمستقیم $M = ((S_i), g(\cdot))$ برای تابع انتخاب اجتماعی $f(\cdot)$ است.

گزاره ۳ (اصل آشکارسازی برای خروجی راهبرد مسلط): چنانچه سازوکار غیرمستقیم $M = ((S_i), g(\cdot))$ تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D(X)$ را در حالت خروجی نمایه راهبرد نسبتاً مسلط اجرا نماید، آنگاه تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D(X)$ انگیزه - سازگار راهبرد مسلط یا قابل اجرا به صورت صادقانه در حالت راهبرد مسلط است.

گزاره ۴ (اصل آشکارسازی برای خروجی نش بیزی): چنانچه سازوکار غیرمستقیم $M = ((S_i), g(\cdot))$ تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D$ را در حالت خروجی نمایه راهبرد نش بیزی اجرا نماید، آنگاه تابع انتخاب اجتماعی $f: \Theta \rightarrow D$ انگیزه - سازگار بیزی قابل اجرا به صورت صادقانه در خروجی نش بیزی است.

با توجه به مباحث مطرح‌شده، هر برنامه‌ریز اجتماعی به دنبال طراحی توابع انتخاب اجتماعی

است که اولاً انگیزه - سازگار، ثانیاً غیردیکتاتوری، و ثالثاً کارایی بعد از عمل را با هم داشته باشد. قضیه عدم امکان گیبارد - ساتروایت^۱ بیان می کند که تابع انتخاب اجتماعی با راهبرد غالب، انگیزه - سازگار (صادقانه) است اگر و فقط اگر دیکتاتور باشد. برنامه ریز اجتماعی برای دوری از دیکتاتوری، لازم است شرایط سه گانه قضیه (غیرممکن گیبارد - ساتروایت) را مختل نماید.

تعریف ۸ (محیط شبه خطی)^۲: چنانچه محیط شبه خطی با X نمایش داده شود، هر پیامد $x \in X$ در قالب یک بردار متشکل از یک تصمیم برنامه ریز به همراه مقادیر پرداخت به تعداد عوامل که به شکل $\vec{x} = (d, t_1, \dots, t_n) \in D \times \mathbb{R}^n$ است، نمایش داده می شود. در این محیط، معمولاً فرض می شود که مجموعه D غالباً متناهی است، متغیرهای t_i اعداد حقیقی است، چنانچه $0 \leq t_i$ است، یعنی این که عامل i باید دریافتی^۳ به اندازه آن داشته باشد و اگر هم $t_i < 0$ عامل i باید پرداختی^۴ به اندازه $|t_i|$ داشته باشد. اگر زمانی $\sum_{i=1}^n t_i \leq 0$ برنامه ریز اجتماعی در این سیستم هیچ منبع خارجی را برای تامین بودجه عوامل نداشته باشد، به این وضعیت تعادل تراز بودجه منفی ضعیف می گویند. محیط شب خطی را می توان به صورت:

$$X = \left\{ (d, t_1, \dots, t_n) \mid d \in D, t_i \in \mathbb{R}, \sum_{i=1}^n t_i \leq 0, \right\}$$

در نظر گرفت. تابع انتخاب اجتماعی $f: \prod_{i=1}^N \Theta_i \rightarrow D$ به همراه توابع پرداخت^۵ با ضابطه زیر نشان داده می شود.

$$t_i: \prod_{i=1}^n \Theta_i \rightarrow \mathbb{R}, (\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i}) \rightarrow t_i(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i})$$

تابع انتخاب اجتماعی گسترش یافته $\prod_{i=1}^n \Theta_i \rightarrow D \times \mathbb{R}^n$ با ضابطه

$$(f, \tau)(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n) = (f(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), t_1(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), \dots, t_n(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n))$$

تعمیم داده شده است و تابع مطلوبیت نهایی $U_i: \Theta_1 \times \dots \times \Theta_n \rightarrow \mathbb{R}$ با ضابطه

$$U_i(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n) = U_i((f, \tau)(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), \theta_i) = u_i(f(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), \theta_i) + t_i(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n)$$

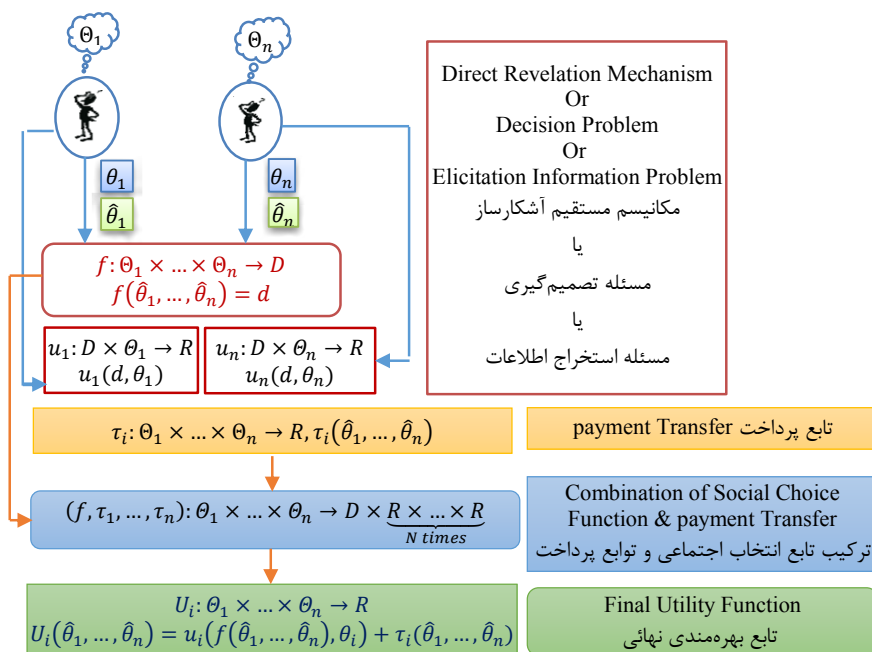
تعریف می شود. آنگاه، سازوکار آشکارساز مستقیم

$$(D, f) \nearrow \left(n, \Theta_1, \dots, \Theta_n, D \times \underbrace{\mathbb{R} \times \dots \times \mathbb{R}}_{n \text{ times}}, (f, \tau), U_i, \right)$$

1. Gibbard-Satterthwaite
2. Quasi-Linear Environments
3. Receive the Money
4. Pay the Money
5. Transfer Payments

اگر $\sum_{i=1}^n t_i(\theta_1, \dots, \theta_n) = 0$ به ازای نمایه از انتخاب‌های عوامل $(\theta_1, \dots, \theta_n)$ باشد، در این صورت تابع انتخاب اجتماعی گسترش یافته در تعادل بودجه‌ای برقرار است.

شکل (۴)، مدل مفهومی سازوکار مستقیم آشکارساز را با تلفیقی از تابع انتخاب اجتماعی و توابع پرداخت نمایش می‌دهد.



شکل ۴: مدل مفهومی سازوکار مستقیم آشکارساز، تلفیقی از تابع انتخاب اجتماعی و توابع پرداخت

تعریف ۹ (سازوکار گروز): توابع پرداخت در یک محیط شبه خطی $X = \{(d, t_1, \dots, t_n) | d \in D, t_i \in \mathbb{R}\}$ توابع انتقال $t_i: \prod_{j=1}^n \theta_j \rightarrow \mathbb{R}$ دارای شرایط $t_i(\theta_1, \dots, \theta_n) = \sum_{j \neq i} u_j(f(\theta_1, \dots, \theta_n), \theta_j) + h_i(\theta_{-i})$ یک تابع دلخواه و تابع انتخاب اجتماعی کارا باشد. در این صورت، سازوکار مستقیم ناشی از محیط شبه خطی به همراه تابع انتخاب اجتماعی گسترش یافته (f, τ) با تابع عایدی نهایی $U_i(z, \theta_i) = u_i(f(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), \theta_i) + t_i(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n)$ به ازای هر گزینه

$z = (f(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), t_1(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n), \dots, t_n(\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_n)) \in X$ را سازوکار گروز^۱ می‌نامند و معمولاً شرط $\sum_{i=1}^n t_i \leq 0$ را به همراه دارد.

• تابع $h_i: \prod_{j \neq i} \Theta_j \rightarrow \mathbb{R}$ با ضابطه $h_i(\theta_{-i}) = -\text{Max}_{d \in D} \sum_{j \neq i} u_j(d, \theta_j)$ با ضابطه مشروط به این که رفاه اجتماعی اولیه مجموعه رقبای هر عامل $\sum_{j \neq i} u_j(d, \theta_j)$ از بالا کراندار باشد (معروف به سازوکار مستقیم Pivotal است).

• چنانچه به‌زای هر اندیس دلخواه $i \in N$ در دسترس باشد، تابع $h_i: \prod_{j \neq i} \Theta_j \rightarrow \mathbb{R}$ با ضابطه $h_i(\theta_{-i}) = -\text{Sup}_{d \in D} \sum_{N - \{i\}} u_j(d, \theta_j)$ با تابع $h_i(\theta_{-i})$ سازوکار مد نظر، سازوکار کلارک نیز شناخته می‌شود.
گزاره ۵: فرض می‌شود محیط شبه‌خطی $X = \{(d, t_1, \dots, t_n) | d \in D, t_i \in \mathbb{R}\}$ در اختیار باشد. در این صورت: الف) کارایی تابع انتخاب اجتماعی (f, τ) در محیط شبه‌خطی، زمانی به‌وجود می‌آید که خود تابع (f, τ) از حالت تعادل بودجه‌ای، تابع انتخاب اجتماعی f دارای خاصیت کارا است و محیط شبه‌خطی تعادل بودجه‌ای ضعیف دارد.

ب) چنانچه تابع انتخاب اجتماعی گسترش‌یافته (f, τ) از کارایی بعد از عملکرد برخوردار باشد، در این صورت تابع انتخاب اجتماعی f دارای خاصیت کارایی و سازوکار مستقیم گسترش‌یافته از تعادل بودجه‌ای برخوردار خواهد بود.

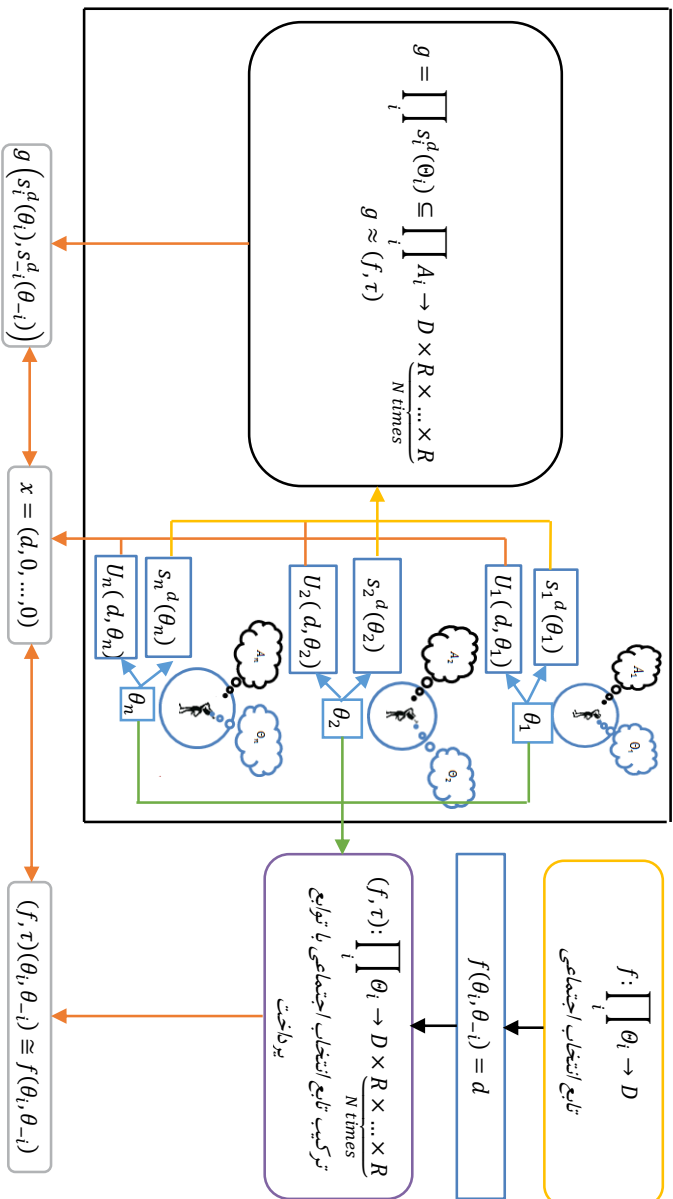
گزاره ۶: فرض می‌شود محیط شبه‌خطی $X = \{(d, t_1, \dots, t_n) | d \in D, t_i \in \mathbb{R}\}$ با (تعادل بودجه‌ای ضعیف) در اختیار باشد. در این صورت، هر تابع انتخاب اجتماعی (f, τ) در محیط شبه‌خطی، غیردیکتاتوری است.

اجرایی بودن سازوکار در محیط شبه‌خطی

چنانچه سازوکار غیرمستقیم $(N, \theta_i, A_i, g, u_i)$ تابع انتخاب اجتماعی (f, τ) را در حالت تعادل راهبرد مسلط پیاده‌سازی نماید، تعادل راهبرد مسلط ضعیف $(\sigma^d_1(\cdot), \dots, \sigma^d_N(\cdot))$ در بازی پیشابیزی (N, θ_i, A_i, U_i) القاشده توسط این سازوکار از نوعی است که:
*** $(f, \tau)((\theta_1, \dots, \theta_N)) = g[(\sigma^d_1(\theta_1), \dots, \sigma^d_N(\theta_N))]$

گزاره ۷: اگر در یک محیط شبه‌خطی $X = \{(d, t_1, \dots, t_n) | d \in D, t_i \in \mathbb{R}\}$ با سازوکار مستقیم گروز و با تابع انتخاب اجتماعی اولیه کارا f مفروض باشد، در این صورت تابع انتخاب اجتماعی سازوکار گروز راهبرد مسلط انگیزه-سازگار است. کلیه توابع انتخاب اجتماعی در سازوکارهای گروز راهبرد مسلط انگیزه-سازگارند.
شکل (۵)، مدل مفهومی بازی پیشابیزی القاشده را نشان می‌دهد.

بازی پیشابیزی القاء شده (N, θ_i, A_i, U_i) توسط مکانیسم مستقیم $(D \times R \times \dots \times R, (f, \tau))$
 $\underbrace{N \text{ times}}$



شکل ۵: مدل مفهومی بازی پیشابیزی القاشده

برنامه‌ریزی توسعه و مولفه‌های آن از نگاه نظریه طراحی سازوکار

فرایند فراگیر و به هم پیوسته توسعه

توسعه فرایندی چندوجهی، بلندمدت، غیرتصادفی، جامع در نگرش و نامتوازن، و دارای تنش در طول مسیر مبتنی بر انسان‌باوری و علم‌باوری است و متشکل از چهار بخش مبانی، برنامه‌های بازطراحی تفصیلی (مهندسی مجدد)، پیاده‌سازی، و رشد و توسعه اقتصادی مداوم است. وظایف نظام برنامه‌ریزی در فرایند توسعه، ایجاد فضای متعادل رقابتی با انگیزه‌های شخصی برای انجام فعالیت‌های بخش غیردولتی در همه امور و نهایتاً ایجاد زمینه‌های بهره‌برداری بهینه از همه ظرفیت‌ها و شکوفاسازی استعدادهای همه مردم، ارتقای مشارکت عمومی، و تحقق اهداف توسعه کشور است.

مفهوم برنامه‌ریزی و برنامه‌ریزی توسعه

برنامه‌ریزی هدایت عوامل اجرایی و ایجاد نظم و هماهنگی برای تحقق اهداف است و می‌تواند به دو صورت کلی: ۱) مستقیم (دستوری و اجباری ناشی از فشارهای بیرونی سلسله‌مراتب) و پیش‌بینی منابع، فعالیت‌ها، عملیات اجرایی و مصارف مورد نیاز برای تحقق اهداف در فضای اطمینان و اطلاعات کامل (بهینه‌یابی کلاسیک)؛ و ۲) غیرمستقیم (اختیاری ناشی از انگیزه‌های درونی عوامل اجرایی) و آزادی عمل و تعامل بین عوامل اجرایی در چارچوب نظریه بازی‌ها^۱ با اطلاعات کامل یا ناکامل و نامتقارن^۲ به دو صورت: ۱) طراحی سازوکار با اطلاعات کامل (بازی راهبردی)، و ۲) طراحی سازوکار با اطلاعات ناکامل (بازی‌های پیشابیزی^۳) در نظر گرفته شود.

گام‌های برنامه‌ریزی توسعه‌ای مبتنی بر نظریه طراحی سازوکار

در گام یکم، آثار مطلوب اجتماعی و قواعد سیاستی^۴ و سازوکارهای انگیزشی کارا و اثربخش انگیزه - سازگار توسط سیاستگذاران و برنامه‌ریزان (با همکاری و مشارکت عوامل اجرایی) تعیین می‌شوند. در گام دوم، عوامل اجرایی عاقل، هوشمند، و راهبردی [= استراتژیک] با آگاهی کامل از قواعد سیاستی و انگیزشی مذکور راهبردها، فعالیت‌ها و اقدامات خود را به گونه‌ای انتخاب و عملیاتی می‌کنند که ضمن دستیابی به اهداف و بهینه‌یابی‌های انفرادی خود و حرکت در راستای اهداف اجتماعی، آثار مطلوب اجتماعی نیز بیافرینند.

1. Game Theory
2. Complete or Incomplete & Asymmetry Information
3. Pre Bayesian Games
4. Policy Rules

مولفه‌های برنامه‌ریزی توسعه‌ای مبتنی بر نظریه طراحی سازوکار

برنامه‌ریز مرکزی (ستادی): شخصی (حقیقی یا حقوقی) آگاه و منصف (بی‌طرف) است که مسئول تعیین تابع آثار مطلوب اجتماعی (اهداف اجتماعی)، قواعد بازی و حصول اطمینان از همراستایی اهداف انفرادی عوامل اجرایی با آثار مطلوب اجتماعی مورد نظر خود (با مشارکت یا بدون مشارکت عوامل اجرایی) است.

عامل اجرایی^۲ (بازیگر): شخصی (حقیقی یا حقوقی) عاقل، منفعت‌طلب و هوشمند (آگاه به مجموعه قواعد بازی، منافع و هزینه‌های خود) است که به صورت راهبردی رفتار می‌کند (اطلاعاتش را در رفتارش اعمال می‌کند). نقش عوامل اجرایی انجام فعالیت‌ها و اقدامات اجرایی به منظور بیشینه کردن عایدی (تابع هدف) خودشان است.

عوامل اجرایی یا عوامل اقتصادی اطلاعات اختصاصی دارند که در درون فضای ایجادشده توسط برنامه‌ریز اجتماعی، دارای ارتباطات، وابستگی‌های متقابل و تعامل^۳ هستند و از خصوصیات زیر بهره‌مندند:

✓ **عاقل؛** هر عامل اجرایی به دنبال بیشینه کردن تابع هدف (تابع مطلوبیت) خود است و در مواجهه با واقعیت گریزناپذیر کمیابی^۴: اولاً منافع فردی خود را بر منافع دیگران ترجیح می‌دهد، ثانیاً سیری‌ناپذیرند، ثالثاً به دنبال آزادی انتخاب، و رابعاً گریزان از پرداخت هزینه‌های مشترک مفت‌سواری^۵ است.

✓ **هوشمند؛** یعنی به اندازه برنامه‌ریز اجتماعی زیر و بم مدل‌ها را می‌شناسند.

✓ **راهبردی؛** در تعامل با دیگران و تصمیم‌گیری‌ها، اطلاعات خود را لحاظ و اعمال می‌کنند.

اطلاعات اختصاصی^۶ (مجموعه نوع): مجموعه‌ای از باورها، ترجیحات، ظرفیت‌ها، توانمندی‌ها و مواهب عامل اجرایی برای دیگر عوامل اجرایی ناشناخته و برای خودش شناخته‌شده است که در تعامل با محیط ناشی از سازوکار طراحی‌شده، راهبردها و اقدامات عامل اجرایی را تعیین می‌نماید.

تعامل: در نظر گرفتن اثر فعالیت دیگر عوامل بر فعالیت خود در تصمیم‌گیری‌ها.

محیط: فضای تعامل ایجادشده میان عوامل اجرایی یا میان عوامل اجرایی و برنامه‌ریز اجتماعی ناشی از مدل تصمیم‌گیری تعیین بهینه اجتماعی.

1. Social Planner

2. Agents

3. Interaction

4. Scarcity

5. Free Riding

6. Type Set

آثار مطلوب اجتماعی

آثاری که به عنوان نتیجه سازوکار طراحی شده است: اولاً مطلوب و خواستنی باشد، یعنی منافع حاصل شده خیلی بیش از هزینه آن باشد. ثانیاً بر مبنای معیار تابع انتخاب اجتماعی قابل دست یافتن باشد. ثالثاً مجموع مطلوبیت‌های (عایدی) عوامل اجرایی را بیشینه نماید. رابعاً میزان بهره‌مندی هر یک از عوامل اجرایی از آثار حاصل شده از نظر سیاستگذار و برنامه‌ریز اجتماعی منصفانه باشد، یعنی توزیع حاصل شده از ویژگی انصاف اجتماعی برخوردار باشد.

مطلوبیت: عایدی (بهره‌مندی) ناشی از آثار منتج از تعامل با دیگر عوامل اجرایی است. مطلوبیت عامل اجرایی باید بر اساس دو مولفه تمام ظرفیت‌ها و داشته‌های شخصی و آثار اجتماعی ناشی از تجميع خروجی‌های عوامل اجرایی باشد. نسبت به تغییرات آثار اجتماعی افزایشی باشد و در مشارکت باید تعیین‌کننده بهینه انفرادی آن عامل اجرایی باشد.

طراحی سازوکار: هنر طراحی قوانین (قواعد سیاستی انگیزشی) در یک بازی برای دستیابی به آثار مطلوب اجتماعی.

قواعد بازی یا مدل انتخاب آثار مطلوب اجتماعی: مجموعه‌ای از ضوابط، استانداردها، هنجارها، مجوزها، محدودیت‌ها و ممنوعیت‌های حاکم بر مشارکت (بازی) است که در چارچوب نظری و تحلیلی مورد نظر سیاستگذار و برنامه‌ریز اجتماعی، اقدامات و فعالیت‌های ناشی از تعامل عوامل اجرایی (ذی‌نفعان) را برای تحقق آثار اجتماعی مشخص هدایت، مدیریت و کنترل می‌کند.

تابع انتخاب اجتماعی (نوع خاصی از قواعد سیاستی): مجموعه‌ای از ضوابط و معیارهایی است که توصیف‌کننده آثار اجتماعی حاکم بر مشارکت مدنظر برنامه‌ریز اجتماعی است.

ویژگی‌های قواعد سیاستی و انگیزشی مطلوب

✓ **شفافیت و قابل تفسیر به رأی نبودن:** به‌طوری که تخلف از آن به راحتی قابل شناسایی و کتمان‌ناپذیر و قابل پیگیری است.

✓ **تضمین:** از یک طرف نهاد سیاستگذاری و برنامه‌ریزی به اجرای کامل قواعد و پیامدها تعهد کامل دارد و از طرف دیگر میزان پاداش راست‌گفتاری و درست‌کرداری برانگیزاننده و تضمین‌شده و جریمه تخلف از آن موثر و بازدارنده است.

✓ از پیش اعلام شده و دائمی است.

✓ **متقارن:** با عوض شدن جایگاه و نقش عوامل اجرایی، انگیزه‌ای برای تغییر قاعده به وجود نمی‌آید.

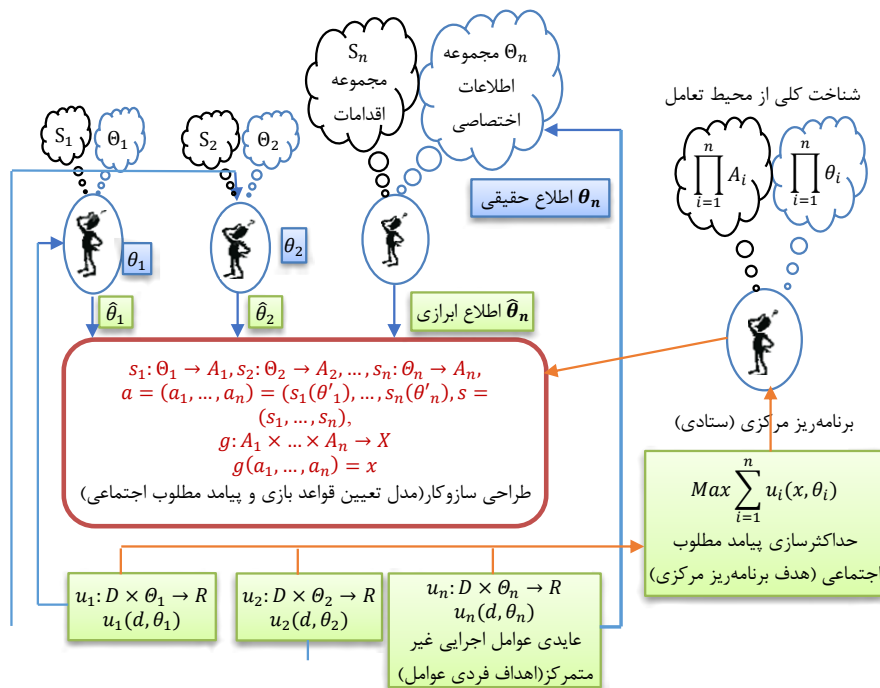
انگیزه - سازگار بودن: هیچ انگیزه‌ای برای دستکاری اطلاعات یا ارائه گزارش غیرواقعی یا کژرفتاری و عملکرد پایین وجود ندارد.

ویژگی‌های اطلاعات چهار بخش به ترتیب (۱) نداشتن اطلاعات کامل از مطلوبیت‌ها و راهبردهای دیگر عوامل اجرایی (تحت عنوان اطلاعات ناقص)، (۲) نداشتن پیشینه اقدامات صورت گرفته توسط دیگر عوامل اجرایی (اطلاعات ناقص^۲)، (۳) یکسان نبودن اطلاعات عوامل اجرایی و سیاستگذار و برنامه‌ریز از محیط سازوکار طراحی شده، و (۴) نااطمینانی یا نداشتن آگاهی کامل از رخدادها آتی و احتمالات آن‌هاست.

دانش مشترک در بازی‌های راهبردی: محیط، قواعد بازی، مجموعه اقدامات، مطلوبیت‌ها و آثار بازی جزو دانش مشترک است و برای همگان کاملاً شناخته شده است. در بازی‌های پیشابیزی قواعد بازی، اقدامات عوامل اجرایی و آثار جزو دانش مشترک هستند، ولی محیط بازی، مجموعه نوع و مطلوبیت‌های عوامل اجرایی برای همگان ناشناخته است.

شکل (۶)، مدل مفهومی قاعده‌گذاری را برای رسیدن به بهینه اجتماعی نمایش می‌دهد.

1. Symmetric
2. Imperfect Information



شکل ۶: مدل مفهومی قاعده گذاری برای رسیدن به بهینه اجتماعی

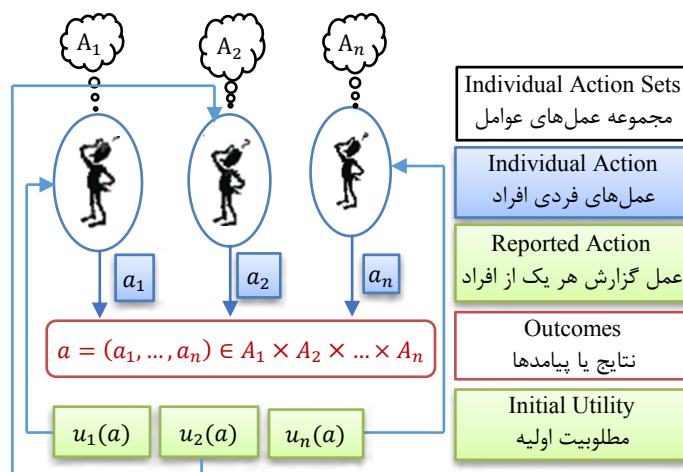
طراحی سازوکار (برنامه ریزی) با اطلاعات کامل (بازی راهبردی)

در گام یکم؛ آثار مطلوب اجتماعی و سهم (وظایف) هر یک از عوامل، قواعد سیاستی و انگیزشی مشخص می شود.

در گام دوم؛ عوامل اجرایی با آگاهی کامل نسبت به تجزیه و تحلیل و شناخت نیازمندی ها، الزامات، فعالیت ها و عملیات درون دستگاهی و نیز وظایف مشخص دیگر عوامل اجرایی، برای انجام وظایف معین خود آماده می شوند.

در گام سوم؛ در ادامه عوامل اجرایی تنها با انجام وظایف خود همزمان با انجام وظایف دیگر عوامل اجرایی می توانند از عایدی خود (سایر اعتبارات هزینه ای) در قالب تعادل نش^۱ بهره مند شوند.

به این ترتیب، نقش خود را در تحقق سهم خود و آثار مطلوب اجتماعی ایفا می نمایند. **شکل (۷)**، مدل مفهومی طراحی سازوکار برنامه ریزی با اطلاعات کامل را نمایش می دهد.



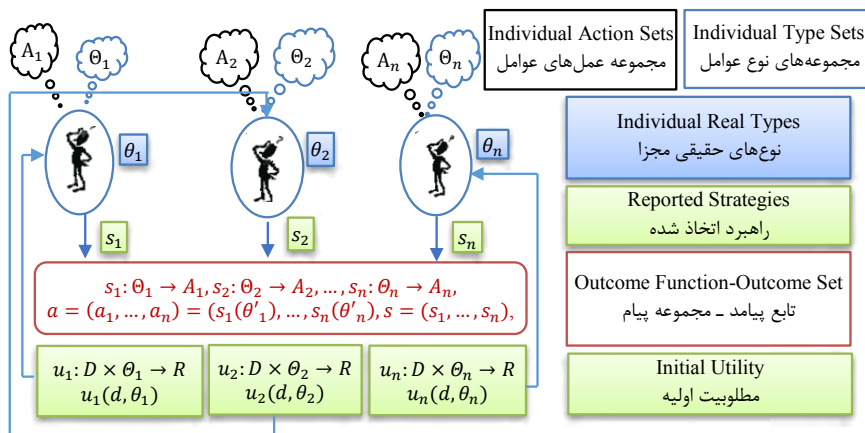
شکل ۷: مدل مفهومی طراحی سازوکار برنامه ریزی با اطلاعات کامل

طراحی سازوکار (برنامه ریز) با اطلاعات ناکامل (بازی های پیشابیزی)

پس از شناخت و تصریح مدل ریاضی تعیین آثار مطلوب اجتماعی و همچنین سازوکار انگیزشی کارا و اثربخش انگیزه - سازگار، در گام یکم با اخذ اطلاعات متغیرهای لحاظ شده در مدل ریاضی از عوامل اجرایی، نسبت به اجرای مدل و استخراج آثار اجتماعی و عایدی پایانی هر یک از عوامل اجرایی اقدام می گردد. در گام دوم، به عوامل اجرایی فرصت داده می شود که نسبت به تجزیه و تحلیل و هزینه-فایده مشارکت و سهم خود در تحقق هدف اجتماعی اقدام کنند و اطلاعات را مورد بازنگری و تجدید نظر قرار دهند. در گام سوم، مدل ریاضی با اطلاعات جدید اجرا می شود و با تشخیص سیاستگذار در صورت لزوم این فرایند تکرار می گردد. در گام چهارم، با مشخص شدن آثار مطلوب اجتماعی و سهم هر یک از عوامل اجرایی از هدف عملیاتی، عوامل اجرایی با انگیزه های درونی کافی (ناشی از تبعات سازوکار کارا و اثربخش انگیزه - سازگار تخصیص و ترمیم سایر اعتبارات هزینه ای و همچنین دیگر سیاست ها و ابزارهای تشویقی و تنبیهی مکمل) با تدوین و اجرای برنامه های عملیاتی

درون‌دستگاهی، اهداف ذی‌ربط را محقق می‌نمایند و به این ترتیب، نقش خود را در تحقق اهداف و آثار مطلوب اجتماعی ایفا می‌کنند.

شکل ۸)، شمای کلی بازی پیشابیزی (با اطلاعات ناکامل) را نمایش می‌دهد.



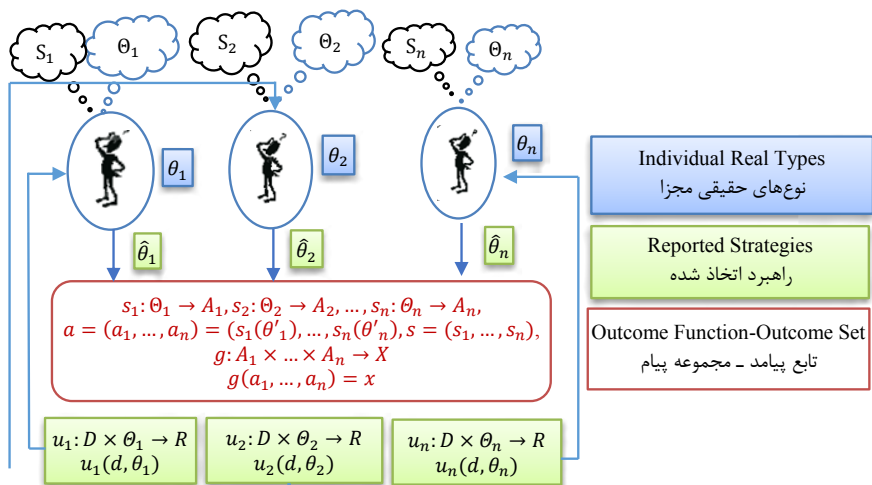
شکل ۸: شمای کلی بازی پیشابیزی (با اطلاعات ناکامل)

طراحی سازوکار قاعده‌گذاری بدون مشارکت عوامل همراه با تضمین اجرایی شدن

شرح رسمی مسئله طراحی سازوکار (غیرمستقیم)

افراد خاص (یا عواملی) وجود دارند که مشارکتشان به یک اثر یا تصمیم از مجموعه آثار (تصمیم) منجر می‌شود. در گام یکم، پیش از انتخاب، هر عامل انتظارات خود (مطلوبیت) را از تک تک تصمیماتی که ممکن است اتخاذ شود، از طریق مجموعه نوع خود بررسی می‌کند، سپس نوع مورد نظر خود را اعلام می‌دارد. در گام دوم، هر عامل عاقل و باهوش است. مفهوم ریاضی آن این است که عوامل همیشه با در نظر گرفتن تابع مطلوبیت (تابعی از دو متغیر نوع حقیقی و تصمیمی که توسط متولی به وسیله مشارکت عوامل ایجاد می‌گردد) که جزو دانش مشترک هم است، سعی در به بیشینه رساندن عایدی خود دارند. در گام سوم، تابع آثار ضابطه‌ای است که به‌زای ارائه یک نمایه از عمل‌های صورت گرفته عوامل اجرایی، آثاری را به آن منتسب می‌نماید.

شکل ۹)، شمای کلی سازوکار غیرمستقیم را نمایش می‌دهد.



شکل ۹: شمای کلی سازوکار غیرمستقیم

طراحی سازوکار مشارکت عوامل در قاعده‌گذاری همراه با تضمین اجرایی شدن قواعد

دو مسئله اصلی پیشروی برنامه‌ریز اجتماعی به منظور تهیه بهترین نتایج و بیشینه‌سازی عملکرد در بالاترین سطح مطلوبیت عبارت‌اند از: مسئله تجمیع ترجیحات و مسئله استخراج اطلاعات. جمع‌آوری نظرات (اقدامات) انعکاس‌یافته توسط عوامل اجرایی مبتنی بر قواعد سیاستی مناسب به منظور رسیدن به یک اثر اجتماعی مشخص است. در نتیجه، تابع انتخاب اجتماعی ضابطه‌ای است که این فرایند را به انجام می‌رساند.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش ارائه راهکار برای چگونگی پیاده‌سازی برنامه‌های توسعه در کشور است. برای این هدف، با مطرح کردن نظریه طراحی سازوکار (سازوکارهای خودتنظیم کارا و اثربخش) به دنبال ایجاد و به اشتراک‌گذاری دانش و تخصص لازم و کافی برای شناخت وضع موجود و وضع مطلوب، حرکت به سمت بهبود و ارتقای فرایندها، تعیین آثار مطلوب جمعی و وصل کردن انگیزه‌های درونی تک عوامل عقلایی و هوشمند به آثار مطلوب جمعی مورد نظر سیاستگذار و برنامه‌ریز هستیم.

در تدوین برنامه‌های توسعه پیشین از برنامه‌ریزی کلاسیک استفاده می‌شد که مترادف با شرایط اطلاعات کامل و متقارن، ثبات اقتصادی و پیش‌بینی‌پذیر بودن روند متغیرهاست. در این راستا، ابتدا اهداف کمی مشخص می‌شود، سپس عملیات اجرایی، طرح‌ها و پروژه‌های مورد نیاز، برنامه‌ریزی و اقدامات اجرایی متناسب با تامین اعتبارات و توان واحدهای اجرایی عملیاتی می‌گردد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط اطلاعات ناکامل و وجود پدیده عدم تقارن اطلاعات و حتی در شرایط اطلاعات کامل، برای پیاده‌سازی برنامه‌های توسعه در کشور، نظریه طراحی سازوکار قابل استفاده است. در شرایط اطلاعات کامل با طراحی بازی راهبردی (افراد دانش مشترک از فضای بازی دارند و رفتار هر عامل اجرایی بر رفتار سایر افراد در بازی اثر دارد)، نتیجه مد نظر برنامه‌ریز به دست می‌آید، اما در شرایط اطلاعات ناکامل و نامتقارن، برنامه‌ریز مرکزی با طراحی قواعد بازی (سازوکارهای مستقیم یا غیرمستقیم) از طریق طراحی و اجرای «نظام تشویق برانگیزاننده و مجازات بازدارنده»، اطلاعات اختصاصی عوامل اجرایی را اخذ و در طراحی سازوکار لحاظ می‌کند. به این ترتیب، تحقق آثار مطلوب جمعی مورد نظر را تضمین می‌نماید.

در طراحی سازوکار، برنامه‌ریز قاعده‌های کنش و واکنش میان بازیگران را بر اساس نظام انگیزشی پاداش و تنبیه طراحی و تنظیم می‌کند و عوامل اجرایی بر اساس این قواعد طراحی شده با هم در تعامل هستند تا اثر مد نظر برنامه‌ریز حاصل شود. او برنامه‌ریزی را این گونه آغاز می‌کند: توصیفی از آثاری ارائه می‌کند که تمایل دارد و می‌خواهد این پیامدها با ترجیحات سایر بازیگران منطبق، همراهی و پشتیبانی شود و سپس بازی‌ای ایجاد می‌کند که خروجی (نقطه تعادل) آن بازی بتواند این تطابق، همراهی و پشتیبانی را به اجرا درآورد.

برای پیاده کردن این فرایند، گام‌های زیر توسط برنامه‌ریز اجرا می‌شود:

- (۱) شناخت عوامل اجرایی و قوانین حاکم بر مسئله مورد نظر برای برنامه‌ریزی؛
- (۲) شناخت روندهای گذشته، وضع موجود و مطلوب اهداف اجتماعی یا همان پیامدهای مورد نظر و متغیرهای تعیین کننده این روندها؛

(۳) شناخت نظام انگیزشی موجود در محیط تعاملی عوامل اجرایی و متغیرهای ذی ربط؛

- (۴) طراحی سازوکارهای کارا و اثربخش خودتنظیم (سازوکارهای انگیزه - سازگار) از طریق یکی از سه حالت بازی راهبردی، سازوکار مستقیم و سازوکار غیرمستقیم، و مدل‌سازی تعیین آثار مطلوب برنامه‌ریز با لحاظ کردن مستقیم متغیرهای انگیزشی (تشویقی و تنبیهی) خودتنظیم عوامل اجرایی (تعیین قواعد بازی و پیامدهای بهینه اجتماعی)؛

۵) تایید، تضمین و ابلاغ سازوکار طراحی شده؛ و

۶) آگاهی بخشی، اطلاع رسانی و اجرای سازوکار طراحی شده با اعطای آزادی عمل به عوامل اجرایی غیرمتمرکز در چارچوب قواعد بازی و اعمال پاداش و تنبیهات پیش‌بینی شده در سازوکار ابلاغی.

به عنوان پیشنهاد کاربردی در تدوین برنامه هفتم توسعه کشور، بهتر است که قواعد سیاستی محیط تعامل (فضای کنش عوامل اجرایی و انجام اقدامات و فعالیت‌های اجرایی) و قواعد انگیزشی عوامل اجرایی به گونه‌ای تدوین، تضمین و مستقر شوند که انگیزه‌های درونی کافی برای تضمین همسویی کامل «بهبه‌یابی‌های فردی عوامل اجرایی» و «نتایج مطلوب عمومی مورد نظر سیاستگذاران و برنامه‌ریزان» ایجاد کند. برای مطالعات آینده، با توجه به محیط تعامل داخلی و بیرونی کشور، می‌توان با استفاده از تکنیک‌های نظریه طراحی سازوکار، مدل‌هایی را که شامل متغیرهای اصلی توسعه کشور در هر بخش و فرابخش هستند، بررسی کرد.

اظهاریه قدردانی

نویسندگان این پژوهش از حمایت‌های معنوی و توصیه‌های ارزشمند داوران محترم و ناشناس، و همچنین ویراستار علمی محترم نشریه برنامه‌ریزی و بودجه (مازیار چابک)، که نقش مهمی در ارتقای سطح کیفی مقاله داشته‌اند، تشکر می‌کنند.

منابع

- Allen, B. (1997). Implementation Theory with Incomplete Information. In S. Hart, Mas-Colell, A. (Ed.), *Cooperation: Game-Theoretic Approaches* (Vol. 155, pp. 115-126): Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-60454-6_10
- Apt, K. R. (2011). *Strategic Games*: Cambridge University Press.
- Baliga, S., & Maskin, E. (2003). Mechanism Design for the Environment. In *Handbook of Environmental Economics* (Vol. 1, pp. 305-324): Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0099\(03\)01012-X](https://doi.org/10.1016/S1574-0099(03)01012-X)
- Baliga, S., & Sjöström, T. (2007). Mechanism Design: Recent Developments. *The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition, London: McMillan*. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5_2134-1
- Bergemann, D., & Välimäki, J. (2010). The Dynamic Pivot Mechanism. *Econometrica*, 78(2), 771-789. <https://doi.org/10.3982/ECTA7260>
- Broumand, S. (2019). Investigating the Role of Game Theory in the Evolution of Competition

- and Industrial Policies in industrial Economics. *Planning and Budgeting*, 24(1), 135-152. <http://jpbud.ir/article-1-1797-fa.html>
- Cheng, Q. (1998). Essays on Designing Economic Mechanisms: University of Michigan.
- Clarke, E. H. (1971). Multipart Pricing of Public Goods. *Public Choice*, 11(3), 17-33. <https://doi.org/10.1007/BF01726210>
- Gibbard, A. (1973). Manipulation of Voting Schemes: A General Result. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 41(4), 587-601. <https://doi.org/10.2307/1914083>
- Green, J., & Laffont, J.-J. (1979). *Incentives in Public Decision-Making*: Elsevier North-Holland.
- Groves, T. (1973). Incentives in Teams. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 41(4), 617-631. <https://doi.org/10.2307/1914085>
- Groves, T., Radner, R., & Reiter, S. (1987). *Information, Incentives, and Economic Mechanisms: Essays in Honor of Leonid Hurwicz*: University of Minnesota Press.
- Harsanyi, J. C. (1968). Games with Incomplete Information Played by "Bayesian" Players Part II. Bayesian Equilibrium Points. *Management Science*, 14(5), 320-334. <https://doi.org/10.1287/mnsc.14.5.320>
- Hurwicz, L. (1972). On Informationally Decentralized Systems. Decision and Organization: A Volume in Honor of J. Marschak. Hurwicz, L., & Reiter, S. (2006). *Designing Economic Mechanisms*: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754258>
- Jackson, M. O. (2014). *Mechanism Theory*: Stanford University Press. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2542983>
- Jehiel, P., & Moldovanu, B. (2001). Efficient Design with Interdependent Valuations. *Econometrica*, 69(5), 1237-1259. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00240>
- Maskin, E. (1983). *The Theory of Implementation in Nash Equilibrium: A Survey*: Cambridge University Press.
- Maskin, E. S. (2008). Mechanism Design: How to Implement Social Goals. *American Economic Review*, 98(3), 567-576. <https://doi.org/10.1257/aer.98.3.567>
- Mezzetti, C. (2004). Mechanism Design with Interdependent Valuations: Efficiency. *Econometrica*, 72(5), 1617-1626. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2004.00546.x>
- Milgrom, P., & Milgrom, P. R. (2004). *Putting Auction Theory to Work*: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511813825>
- Mookherjee, D., & Reichelstein, S. (1992). Dominant Strategy Implementation of Bayesian Incentive Compatible Allocation Rules. *Journal of Economic Theory*, 56(2), 378-399. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(92\)90088-Y](https://doi.org/10.1016/0022-0531(92)90088-Y)
- Myerson, R. B. (1979). Incentive Compatibility and the Bargaining Problem. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 47(1), 61-73. <https://doi.org/10.2307/1912346>
- Myerson, R. B. (1997). *Game Theory: Analysis of Conflict*: Harvard University Press.
- Myerson, R. B. (2008). Perspectives on Mechanism Design in Economic Theory. *American Economic Review*, 98(3), 586-603. <https://doi.org/10.1257/aer.98.3.586>
- Narahari, Y. (2014). *Game Theory and Mechanism Design* (Vol. 4): World Scientific. <https://doi.org/10.1142/8902>
- Narahari, Y., Garg, D., Narayanam, R., & Prakash, H. (2009). *Game Theoretic Problems in Network Economics and Mechanism Design Solutions*: Springer Science & Business

- Media. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-938-7_2
- Nash, J. (1951). Non-Cooperative Games. *Annals of Mathematics*, 54(2), 286-295. <https://doi.org/10.2307/1969529>
- Nash, J. (1950). Equilibrium Points in N-Person Games. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 36(1), 48-49. <https://doi.org/10.1073/pnas.36.1.48>
- Palfrey, T. R. (1992). *Implementation in Bayesian Equilibrium: The Multiple Equilibrium Problem in Mechanism*. Paper Presented at the Advances in Economic Theory: Volume 1: Sixth World Congress.
- Rahbar, F., Motavasseli, M., & Amiri, M. (2013). Behavioral Economists and Their Theories. *Planning and Budgeting*, 18(1), 133-165. <http://jpbud.ir/article-1-850-fa.html>
- Roberts, K. (1979). The Characterization of Implementable Choice Rules. *Aggregation and Revelation of Preferences*, 12(2), 321-348.
- Satterthwaite, M. A. (1975). Strategy-Proofness and Arrow's Conditions: Existence and Correspondence Theorems for Voting Procedures and Social Welfare Functions. *Journal of Economic Theory*, 10(2), 187-217. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(75\)90050-2](https://doi.org/10.1016/0022-0531(75)90050-2)
- Sidney, M. S. (2017). Policy Formulation: Design and Tools. In *Handbook of Public Policy Analysis* (pp. 105-114): Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315093192-14>
- Thomas, H. G. (2001). Towards a New Higher Education Law in Lithuania: Reflections on the Process of Policy Formulation. *Higher Education Policy*, 14(3), 213-223. [https://doi.org/10.1016/S0952-8733\(01\)00015-0](https://doi.org/10.1016/S0952-8733(01)00015-0)
- Turnpenny, J. R., Jordan, A. J., & Benson, D. (2015). *The Tools of Policy Formulation: Actors, Capacities, Venues and Effects*: Edward Elgar Publishing.
- Vickrey, W. (1961). Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders. *The Journal of Finance*, 16(1), 8-37. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1961.tb02789.x>

پيوست: بيان مدل رياضي

تصريح «مسئله تصميم گيري جمعي» و ضوابط اتخاذ تصميم جمعي بهينه اجتماعي کارا و انگيزه سازگار در فضای عمومي:

۱. گام يکم: تعيين عناصر مسئله تصميم گيري $(G, N, D, \theta_1, \dots, \theta_n, v_i, \dots, v_n, f)$

۲. تعيين قاعده تصميم گيري نهاد تصميم گيري مرکزي (ضوابطها تعيين مجموعه تصميمات):

$$f: \Theta = (\theta_1 \times \dots \times \theta_n) \rightarrow D$$

۳. اتخاذ تصميم جمعي مبتني بر اطلاعات ابرازشده: $d = f(\hat{\theta})$ جايي که $\forall \hat{\theta} \in \Theta$

۴. تعيين عايدي هر عامل اجرايي ناشي از تصميم جمعي و اطلاعات اختصاصي عامل اجرايي

تابع عايدي $v_i: D \times \theta_i \rightarrow R$ و مقدار عايدي به ازاي هر زوج مرتب $(d, \theta_i) \in D \times \theta_i$ برابر است با $v_i(d, \theta_i)$

۵. ضوابط اتخاذ تصميم جمعي بهينه اجتماعي کارا و انگيزه سازگار

الف) تامين شرط کارايي تخصيص:

$$1) f(\theta) \in \operatorname{argmax}_{d \in D} \sum_{i=1}^n v_i(d, \theta_i)$$

يا زماني که $\forall d \in D$ داشته باشيم:

$$\sum_{i=1}^n v_i(f(\theta), \theta_i) \geq \sum_{i=1}^n v_i(d, \theta_i),$$

ب) تامين شرط سازگاري انگيزهها

$$2) v_i(f(\theta), \theta_i) \geq v_i(d, \theta_i) \quad , \quad \forall d \in D$$

تصريح مسئله تصميم گيري جمعي و ضوابط اتخاذ تصميم جمعي بهينه اجتماعي کارا و انگيزه

- سازگار در فضای شبه خطي [طراحي سازوکار مستقيم با افزودن تابع پرداخت انتقالي (جريمه) به مسئله]:

۱. تعيين عناصر سازوکار مستقيم $(G: (N, D \times R^n, \theta_1, \dots, \theta_n, u_1, \dots, u_n, (f, \tau))$

۲. تعيين قاعده تصميم گيري نهاد تصميم گيري مرکزي (ضوابطها تعيين مجموعه تصميمات):

$$(f, \tau): \Theta = (\theta_1 \times \dots \times \theta_n) \rightarrow D \times R^n$$

$$(f, \tau)(\hat{\theta}) = (f(\hat{\theta}), \tau(\hat{\theta}))$$

جايي که در آن $\tau(\cdot)$ تابع انتقال همه عوامل اجرايي با ضابطه زير:

$$\tau: \Theta = (\Theta_1 \times \dots \times \Theta_n) \rightarrow R^n, \quad \tau(\hat{\theta}) = (\tau_1(\hat{\theta}), \dots, \tau_n(\hat{\theta}))$$

۳. اتخاذ تصمیم جمعی مبتنی بر اطلاعات ابرازشده: $(f, \tau)(\hat{\theta}) \in \mathbf{D} \times R^n$

$$(f, \tau)(\hat{\theta}) = (f(\hat{\theta}), (\tau_1(\hat{\theta}), \dots, \tau_n(\hat{\theta}))) = (d, (t_1, t_2, \dots, t_n))$$

جایی که:

۴. تعریف تابع مطلوبیت در فضای شبه خطی و عایدی پایانی هر عامل اجرایی ناشی از تصمیم جمعی:

$$u_i(d, (t_1, t_2, \dots, t_n), \theta_i) = v_i(d, \theta_i) + t_i \text{ ضابطه تابع مطلوبیت}$$

$$u_i((f, \tau)(\hat{\theta}), \theta_i) = v_i(f(\hat{\theta}), \theta_i) + \tau_i(\hat{\theta}) \text{ یا عامل اجرایی}$$

۵. ضوابط اتخاذ تصمیم جمعی بهینه اجتماعی کارا و انگیزه - سازگار

$$\forall i \in N, \theta, \hat{\theta} \in \Theta \text{ و } \theta_{-i} \in \Theta_{-i} \text{ و } (f(\hat{\theta}), \tau(\hat{\theta})) \in \mathbf{D} \times R^n$$

الف) تامین شرط کارایی تخصیص:

$$f(\theta) \in \operatorname{argmax}_{d \in \mathbf{D}} \sum_{i=1}^n v_i(d, \theta_i)$$

ب) تامین شرط تابع پرداخت گروز و شبه گروز. زمانی که سازوکار مستقیم گروز باشد:

$$\tau_i(\hat{\theta}) = \sum_{j \neq i} v_j(f(\hat{\theta}), \theta_j) + h_i(\hat{\theta}_{-i}) = \sum_{j \neq i} v_j(f(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i}), \theta_j) + h_i(\hat{\theta}_{-i})$$

$$h_i: \Theta_{-i} \rightarrow R, \quad \hat{\theta}_{-i} \in \Theta_{-i}$$

هنگامی که سازوکار مستقیم شبه گروز باشد:

$$\tau_i(\hat{\theta}) = \sum_{j \neq i} v_j(f(\hat{\theta}), \theta_j) + h_i(\hat{\theta}) = \sum_{j \neq i} v_j(f(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i}), \theta_j) + h_i(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i})$$

$$h_i: \Theta_i \rightarrow R, \quad (\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i}) \in \Theta_i$$

ج) تامین شرط سازگاری انگیزه:

(۱) در صورتی که تابع پرداخت (انتقال) گروز مفروض باشد:

$$u_i((f, \tau)(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) = v_i(f(\theta), \theta_i) + \tau_i(\theta) \text{ تعریف عایدی پایانی}$$

$$= \sum_{i=1}^n v_i(f(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) + h_i(\theta_{-i}) \geq \sum_{i=1}^n v_i(f(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i) + h_i(\theta_{-i}) \text{ اعمال قید کارایی}$$

$$= v_i(f(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i) + \tau_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}) = u_i((f, \tau)(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i)$$

(۲) در صورتی که تابع پرداخت (انتقال) شبه گروز با اعمال شرط کارایی تخصیص و برقراری

نامساوی $h_i(\theta) \geq h_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i})$ مفروض باشند:

$$\begin{aligned}
 u_i((f, \tau)(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) &= v_i(f(\theta), \theta_i) + \tau_i(\theta) = \sum_{i=1}^n v_i(f(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) + h_i(\theta) \\
 &\geq \sum_{i=1}^n v_i(f(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i) + h_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}) = v_i(f(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i) + \tau_i(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}) \\
 &= u_i((f, \tau)(\hat{\theta}_i, \theta_{-i}), \theta_i)
 \end{aligned}$$

❖ تایید، تضمین و ابلاغ سازوکار طراحی شده

❖ آگاهی بخشی، اطلاع رسانی و اجرای سازوکار طراحی شده با اعطای آزادی عمل به عوامل

اجرایی غیرمتمرکز در چارچوب قواعد بازی و اعمال پاداش و تنبیهات پیش بینی شده در سازوکار ابلاغی.

بنابراین، با توجه به نقش بالقوه و برجسته «نظریه طراحی سازوکار» در تحقق سیاست های کلی، اهداف و برنامه های عملیاتی برنامه توسعه هفتم کشور طراحی، استقرار و تضمین سازوکارهای کارا و اثربخش خودتنظیم یا همان «سازوکارهای انگیزه - سازگار» به عنوان یکی از بایسته های این برنامه ضرورت تام دارد و با توجه به نوظهور بودن این رویکرد در فرایند تدوین و اجرای برنامه هفتم توسعه کشور، شایسته است که همه ارکان و واحدهای نظام برنامه ریزی کشور با محوریت سازمان برنامه و بودجه کشور و استان ها نسبت به شناخت، آموزش، بکارگیری و ترویج این دیدگاه اهتمام ورزند تا گام بلندی در تضمین درونزای تحقق اهداف برنامه های توسعه برداشته شود.

نحوه ارجاع به مقاله:

پارسا، امیدعلی؛ عسکری، غلامرضا، و پاژکی‌نژاد، ابراهیم (۱۴۰۱). کاربرد نظریه طراحی سازوکارهای انگیزه - سازگار (سازوکارهای خودتنظیم کارا و اثربخش) در برنامه هفتم توسعه کشور. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۷(۳)، ۱۷۳-۱۴۱.

Parsa, O., Askari, Gh., & Pazoukinejad, E (2022). Application of Incentive - compatible of Mechanisms Design Theory (Self -adjustment of Effective and Efficient mechanisms) in the Seventh National Development Planning, *Planning and Budgeting*, 27(3), 141-173. DOI: <https://doi.org/10.52547/jpbud.27.3.141>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



برنامه‌ریزی بهینه جابه‌جایی فرآورده‌های نفتی از خط لوله با پنجره زمانی تقاضا برای کمینه‌سازی هزینه‌ها

فرهاد فرجی

کارشناس ارشد مهندسی صنایع - سیستم‌های کلان اقتصادی، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

m.alimoradi@imps.ac.ir |

مهرداد علیمردی

عضو هیئت علمی گروه اقتصاد و سیستم‌ها، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

farhang@imps.ac.ir |

بابک فرهنگ مقدم

دانشیار گروه اقتصاد و سیستم‌ها، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

m.fadaee@imps.ac.ir |

مهدی فدایی

استادیار گروه اقتصاد و سیستم‌ها، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹

چکیده: کاربرد خطوط لوله، اثرگذارترین و ایمن‌ترین روش جابه‌جایی کلان فرآورده‌های نفتی از پالایشگاه به مراکز ذخیره‌سازی و پخش است. برنامه‌ریزی کارا و بهینه در خطوط لوله چندفرآورده‌ای از ابعاد گوناگون اقتصادی، اجتماعی و راهبردی اهمیت دارد. در این پژوهش، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد درست مختلط با چارچوب زمان پیوسته ارائه می‌شود تا نه تنها تزریق و حجم بهینه بچه‌ها، بلکه توالی و زمان‌بندی آن‌ها نیز تعیین شود. هدف، کمینه‌سازی هزینه‌های پمپاژ، انبارش، اختلاط و تقاضاهای عقب‌افتاده با رعایت همه محدودیت‌های عملیاتی در مسئله است. پژوهش حاضر برنامه‌ریزی انتقال فرآورده‌های نفتی را از خط لوله‌ای یک‌سویه چندفرآورده‌ای با یک منبع تزریق در مبدأ و چندین مرکز پخش در طول راه مطالعه می‌کند. فرض این مسئله، افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای با پنجره زمانی برای کل تقاضاهای مراکز پخش است که باید تا پایان افق برنامه تامین شود. مورد مطالعاتی خط لوله‌ای است با درازای ۴۵۷ کیلومتر که شش فرآورده نفتی را به چهار مرکز پخش می‌رساند. دو مورد مطالعاتی یادشده برای آشکارسازی مزیت‌های کاربرد مدل برنامه‌ریزی خطی عدد درست مختلط ارائه می‌شود. ارزیابی و اعتبارسنجی برنامه به‌دست‌آمده از مدل از مقایسه آن با برنامه عملیاتی تحقق‌یافته در شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران انجام شده است. نتایج نشان‌دهنده بهبود قابل توجه در زمان‌بندی خط لوله و کاهش هزینه‌های آن با بکارگیری مدل ریاضی است. با بکارگیری مدل مزبور می‌توان از ظرفیت‌های عملیاتی خط لوله بهتر بهره برد.

کلیدواژه‌ها: خطوط لوله چندفرآورده‌ای، زمان‌بندی بهینه، انتقال فرآورده‌های نفتی، برنامه‌ریزی خطی عدد درست مختلط، پنجره زمانی تقاضا.

طبقه‌بندی JEL: C02, C41, C44, C61, C63.

مقدمه

در زنجیره تامین صنعت نفت، روزانه میلیون‌ها لیتر فرآورده نفتی در سراسر جهان در پایانه‌های نفتی جابه‌جا می‌شود. برنامه‌ریزی کارا و مناسب در زنجیره تامین یادشده از ابعاد گوناگون اقتصادی، اجتماعی و راهبردی اهمیت بالایی دارد. به سبب محل قرارگیری این مراکز و بازارهای مصرف همسایه آن‌ها در سطح جغرافیایی گسترده، در بیش‌تر مواقع مدت زمان حمل و رسید فرآورده‌های نفتی به مراکز پخش، طولانی است و به دلیل ماهیت نقاله‌ای بودن انتقال از راه خطوط لوله، احتمال نقض پنجره زمانی تحویل فرآورده‌های نفتی وجود دارد. از آن جایی که عدم تحویل به‌موقع محموله به مراکز پخش در بازه زمانی مقرر، به بروز مشکلات بزرگ در اقتصاد و صنعت کشور منجر می‌شود، بکارگیری روش‌های علمی در تعیین زمان‌بندی و برنامه‌ریزی بهینه شیوه توالی ارسال محصولات نفتی از خط لوله می‌تواند در پیشگیری از بروز مشکلات و کاهش هزینه‌های عملیاتی اطمینان‌بخش باشد. تداخل از مباحث بسیار مهم در برنامه‌ریزی انتقال است و هزینه بالایی را به سبب فرایندهای مربوط به جداسازی و بازپالایش به سیستم تحمیل می‌کند.

فرآورده‌های نفتی بدون هیچ جداکننده فیزیکی به دنبال هم درون خط لوله تزریق می‌شوند. برخی محصولات به سبب تداخل و حجم بالای آلودگی در نواحی مرزی با فرآورده مجاور خود، در اصل نباید دنبال هم تزریق شوند، که این از محدودیت‌های مهم در برنامه‌ریزی انتقال فرآورده‌های نفتی است. در این پژوهش به بررسی برنامه عملیاتی انتقال شش فرآورده نفتی گوناگون از راه یکی از خطوط لوله واقعی کشور (خط لوله چندفرآورده‌ای شاهرود به مشهد) با کاربرد داده‌های واقعی خط لوله مزبور می‌پردازیم که از مستندات شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران گردآوری شده است. به کمک داده‌های یادشده و با کاربست مدل ریاضی ارائه‌شده در پی پاسخ به این پرسش هستیم که آیا می‌توان با در نظر گرفتن همه شرایط و محدودیت‌های عملیاتی واقعی، با نیروی انسانی کم‌تر و صرف زمان خیلی کوتاه‌تر، برنامه زمان‌بندی بهتری تنظیم و تدوین کرد، به گونه‌ای که ضمن تامین به‌موقع همه تقاضاهای انبارهای نفت، به هدف اصلی رسید که همانا کاهش کل هزینه عملیات انتقال فرآورده‌های نفتی است؟

مبانی نظری پژوهش

سرآغاز مطالعات مرتبط به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی خطوط لوله به دهه ۱۹۷۰ برمی‌گردد، دهه‌ای که با کاربرد روش‌های بسیار ابتدایی و به کمک برنامه صفحات گسترده به برنامه‌ریزی خط لوله چندفرآورده‌ای ساده به منظور کاهش هزینه تداخلات پرداخته شد. پس از رشد فناوری و توسعه

روش‌های حل مسائل بهینه‌سازی، تعداد پژوهش‌ها در این حوزه نیز افزایش یافت. مقالات منتشرشده در زمینه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی انتقال فرآورده‌های نفتی توسط خطوط لوله چندفرآورده‌ای در سه دسته کلی خطوط لوله با ساختار خطی، درختی، و شبکه‌ای جای می‌گیرند. در هر سه گروه، مدل‌سازی‌ها بیش‌تر با روش برنامه‌ریزی خطی عدد درست مختلط^۱ (MILP) و به‌ندرت MINLP^۲ بوده و در برخی موارد نیز مدل‌سازی هیبرید یا ترکیبی بکار رفته است. روش‌های حل نیز دربرگیرنده روش‌های ریاضی یا الگوریتم‌های ابتکاری و فرا-ابتکاری بوده است که در تلفیق با برنامه‌ریزی ریاضی گاهی برای دستیابی به پاسخ‌های بهینه و در برخی موارد، پاسخ شدنی بکار رفته است. ضمن این‌که در مسائل بزرگ‌تر شاهد بکارگیری تکنیک‌های تجزیه هستیم. بیش‌ترین حجم مقالات، مربوط به خطوط لوله تک‌منبعی بوده و مدل‌سازی خطوط چندمنبعی به سبب پیچیدگی زیاد آن کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

ریجوفسکی و پینتو^۳ (۲۰۰۳)، یک برنامه بهینه‌سازی با رویکرد گسسته برای مسائلی شامل یک پالایشگاه نفت و یک خط لوله چندفرآورده‌ای که به تعدادی پایانه پخش با بازارهای محلی مصرف متصل می‌شد ارائه دادند. حجم لوله بین دو مرکز پخش مجاور هر یک به تعدادی بسته حجمی^۴ تقسیم می‌شد. تصمیم اساسی در این مدل شامل عملیات‌های بارگیری و تخلیه مخازن بود که محدودیت‌های تداخل، تعادل بار، محدودیت‌های توزیع، تقاضای محصول و محدودیت‌های اساسی عملکردی خط لوله را نیز در نظر می‌گرفت. برای بهینه‌سازی دو مدل MILP ارائه شد. در مدل یکم، اندازه پک‌های مواد یکسان فرض می‌شد، در حالی که مدل دوم شامل چنین فرضی نبود. در هر دو مدل، پارامتر زمان به صورت گسسته در نظر گرفته شد. تابع هدف شامل کمینه کردن میزان ذخیره، پمپاژ و هزینه تداخل بود. نتایج به‌دست‌آمده سطح مواد در انبارهای مختلف، نحوه توزیع محصولات را در انبارها و بهترین توالی محصولات در خط لوله نشان می‌داد. **ریجوفسکی و پینتو (۲۰۰۴)**، مدل قبلی خود را از طریق افزودن تعدادی محدودیت خاص و نیز افزودن تعدادی برش بهبود بخشیدند. این محدودیت‌ها شامل توقف یک قسمت در صورت پُر شدن کامل آن و در نظر گرفتن تداخل اولیه و انتهای خط بودند. مدل ریاضی مسئله همانند پژوهش قبلی MILP و به صورت زمان گسسته بود و این بار نیز از تکنیک شاخه و کران برای حل مسئله استفاده شد.

1. Mixed Integer Linear Programming
2. Mixed Integer Nonlinear Programming
3. Rejowski & Pinto
4. Volume Pack

چن و همکاران^۱ (۲۰۱۷) یک مدل MILP زمان گسسته برای بهینه‌سازی زمان‌بندی دقیق خط لوله‌ای چندفرآورده‌ای ارائه دادند. خط لوله مفروض شامل یک منبع و چندین مرکز پخش است. رویکرد ارائه‌شده مبتنی بر فرموله کردن یکپارچه سیستم بدون تقسیم‌بندی قسمت‌های خط به پک‌های فرآورده است که هدف آن کمینه کردن انحراف نرخ‌های فلو پمپ‌ها در هر بخش از خط است. مدل دارای دوسری محدودیت خاص شامل محدودیت‌های توقف و دوره زمانی عملیات تزریق مواد به خط و پایداری نرخ فلو مواد و عملیات تحویل است. فرمولاسیون MILP به‌دست‌آمده به‌طور موفقیت‌آمیز روی یک خط لوله با چهار ایستگاه و دو فرآورده و یک خط لوله دیگر با شش ایستگاه و سه فرآورده اجرا شد. با مقایسه تابع هدف (از مطالعات قبلی بدون در نظر گرفتن افت انرژی حاصل از اصطکاک سیال) و تابع هدف مدل به‌دست‌آمده نشان داده شد که زمان‌بندی دقیق حاصل از در نظر گرفتن تغییرات نرخ پمپاژ^۲ می‌تواند پایداری نرخ پمپاژ را در عملیات انتقال بهبود دهد. **کافارو و سردا^۳ (۲۰۰۴)**، برای اولین بار مدل MILP را با رویکرد پیوسته در هر دو حوزه زمان و حجم خط لوله معرفی کردند که برنامه‌ریزی عملیاتی یک خط لوله با ساختار خطی و با یک منبع و چندین مرکز توزیع به وسیله آن عملی می‌شد. خروجی مدل آن‌ها توالی بهینه تزریق دسته‌ها به خط لوله، اندازه دسته‌های محصول، نرخ پمپاژ، زمان شروع و پایان عملکرد پمپ‌ها، حجم تداخل ایجادشده و نوع محصولات تحویلی به هر مرکز را در هر بازه زمانی اجرا تعیین می‌کرد. در این مدل تغییر نرخ جریان به دلیل تغییر قطر خط لوله قابل‌مدیریت بود. این مسئله برای یک مورد عملیاتی با چهار نوع محصول متفاوت و پنج پایانه توزیع به روش شاخه و کران و با اضافه کردن محدودیت‌هایی برای تسریع عملیات محاسباتی حل شد.

مرادی و میرحسینی (۲۰۱۵)، یک سیستم انتقال فرآورده نفتی شامل یک پالایشگاه و مرکز پخش را که دارای چندین مخزن ذخیره‌سازی است و باید نیاز روزانه مصرف‌کنندگان را تامین کند، با در نظر گرفتن مدیریت یکپارچه موجودی در پالایشگاه و مرکز توزیع، زمان‌بندی کردند که در نتیجه آن روشی برای تعیین توالی دسته‌ها معرفی شد که به برنامه‌ریزی MILP برای تعیین توالی بهینه فرآورده‌ها در خط لوله و زمان‌بندی تحویل محصولات به مرکز توزیع منجر گردید. تابع هدف در مسئله به صورت مقدار وزن‌دهی‌شده چندین هدف متفاوت بود. مطالعه یادشده رویکرد جدیدی را نمایش می‌داد که در آن تعیین توالی مواد مختلف در خط لوله به‌جای دوره زمانی کامل برنامه‌ریزی

1. Chen *et al.*
2. Pump Rate
3. Cafaro & Cerdá

به صورت روزانه بیان می‌شد و همین امر سبب کاهش تعداد متغیرهای باینری و محدودیت‌ها گردید که باعث شد مدل نیاز به پیش‌پردازش نداشته باشد و زمان پردازش را کاهش دهد.

کافارو و همکاران (۲۰۱۵)، مدل MILP را برای زمان‌بندی تفصیلی یک خط لوله با ساختار خطی چندمنبعی ارائه دادند. این خط لوله شامل یک منبع، یک پایانه پخش، یک مرکز میانی دومنظوره که رسید و ارسال فرآورده در آن انجام می‌شد و یک انبار میانی در مسیر بود. رویکرد جدید مبتنی بر مدل قبلی ارائه‌شده توسط **کافارو و همکاران (۲۰۱۴)** برای زمان‌بندی تفصیلی خطوط لوله تک‌منبعی است. فرض بر این است که تزریق موازی مواد از طرف منبع‌های مختلف به خط و نیز تحویل همزمان در چندین پایانه مجاز است. بر اساس مدل‌سازی زمان پیوسته، مدل جدید بر چالش‌های برنامه‌ریزی تفصیلی عملیات در شرایط پیچیده فائق آمده و با توجه به هماهنگی دقیق تزریق فرآورده و تحویل آن، خطوط لوله بیکار متوقف شده و از جریان سیال در این خطوط ممانعت شده است. تحویل‌های جزئی اجازه می‌دهد که بتوان مواد را از خط خارج کرد، در حالی که بسته‌ها برای رسیدن به مقاصد دورتر درون خط در حال حرکت هستند. بنابراین، نرخ جریان در هر بخش خط لوله می‌تواند با توجه به محدوده مشخص‌شده فلو تنظیم شود. یک مدل واقعی توسط این مدل مورد مطالعه قرار گرفت که شامل پنج فرآورده نفتی از دو گره منبع به سه مرکز توزیع بود. برنامه تفصیلی در زمان خیلی کوتاه به‌دست آمد. در واقع، محاسبات کلی عموماً در فاز برنامه‌ریزی یکپارچه تعیین می‌شود (Cafaro et al., 2015).

مصطفایی و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت یک خط لوله چندمنبعی با امکان تزریق و تحویل همزمان مواد در پایانه‌های مختلف، یک مدل ریاضی بر مبنای MILP زمان پیوسته ارائه دادند. در این مدل، بخش‌های میانی همزمان به عنوان ورودی/خروجی عمل کرده و تعداد سوئیچینگ بین قسمت‌های فعال و متوقف خط را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش هزینه عملیاتی شده است. برخلاف رویکردهای قبلی، تصمیمات مربوط به اندازه دسته‌ها، توالی دسته‌ها و زمان‌بندی یک گام گرفته می‌شد. فرمول‌بندی ریاضی مسئله به صورت زمان - پیوسته به‌نحوی است که هر دو هدف توالی بهینه محصولات تزریقی به خط و عملیات ارسال به صورت همزمان مدیریت می‌شود. دقت و پایداری مدل توسط چهار مورد مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت که دو مورد از آنها به صورت واقعی و با استفاده از داده‌های صنعتی انجام شد. نتایج محاسباتی قابلیت مدل MILP تولیدشده برای حل مسائل عملیاتی خطوط لوله را در زمان منطقی پردازش نشان می‌دهد.

پژوهش **ساسیکومار و همکاران**^۱ (۱۹۹۷)، که یکی از قدیمی‌ترین مقالات موجود در این حوزه است، یک روش جستجوی ابتکاری را بکار می‌برد و در آن برنامه‌زمان‌بندی ماهانه‌ای برای پمپاژ محصولات در یک خط لوله یک‌جهته با یک منبع و چندین مقصد ارائه می‌شود. این فرایند مبتنی بر دانش، در دسترس بودن محصولات و نیازمندی مقصد را در نظر می‌گرفت، ضمن این‌که بسیاری از محدودیت‌های عملیاتی از جمله سطح مجاز مخازن، توالی تولید محصولات و محدودیت‌های تحویل را رعایت می‌کرد. فضای جستجو به صورت مجموعه‌ای در نظر گرفته شد که حرکت در آن بر اساس انتخاب دسته بعدی برای ارسال صورت می‌گرفت. تابع هدف در این پژوهش شامل مجموع وزن‌دهی شده چندین عامل از جمله هزینه برنامه‌ریزی، سطح پیش‌بینی شده در تمامی محل‌ها برای تمامی محصولات، مقدار نیاز تامین شده هر مقصد، جریمه برای هرگونه توقف در فعالیت خط و جریمه برای هرگونه انحراف از سطح مجاز مخازن بود. نتایج به‌دست‌آمده روی یک خط لوله واقعی مورد ارزیابی قرار گرفت و موثر واقع شد.

ماگاتائو و همکاران^۲ (۲۰۰۴)، یک رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر برنامه‌ریزی MILP به منظور برنامه‌ریزی تزریق دسته‌های مواد در یک خط معکوس‌شدنی ارائه داد. این سیستم شامل پالایشگاهی بود که توسط خط لوله به بندرگاه متصل می‌شد و هیچ انبار میانی در مسیر قرار نداشت. این مدل مبتنی بر تقسیم‌بندی زمان و حجم خط به بازه‌های یکنواخت بود و نرخ پمپاژ ثابتی برای دسته‌های مواد در هر دو جهت در نظر گرفت. همچنین، هزینه پیک روزانه برق مصرفی پمپ‌ها نیز در مدل لحاظ شد. به دلیل پیچیده بودن مدل و زمان بالای محاسبات مورد نیاز، نویسندگان مسئله اصلی را به سه مسئله کوچک‌تر تقسیم کردند و ساختار بهینه‌سازی به سه فاز تقسیم شد: (۱) مدل کمکی مربوط به کران مخازن، (۲) مدل کمکی روش مربوط به فرایند زمان محاسبه، و (۳) مدل اصلی MILP زمان گسسته.

در فاز اول یک انتخاب اولیه از میان مخازن بر مبنای تقاضا، در دسترس بودن فرآورده‌ها و محدودیت‌های مخازن انجام می‌شد. فاز دوم فرایند پیش‌پردازش را انجام می‌داد که فضای پاسخ را از طریق محدودیت‌های زمانی مربوط به عملکرد خط لوله در جهت مستقیم یا معکوس کوچک‌تر می‌کرد. در این بخش، محدودیت‌هایی که باید توسط مدل اصلی رعایت شوند مشخص می‌شود. مدل اصلی توالی پمپاژ محصولات و جزئیات نرخ فلو و زمان اولیه و پایان عملکرد پمپ‌ها را مشخص

1. Sasikumar *et al.*

2. Magatão *et al.*

می‌کند. در واقع، خروجی فازهای اول و دوم، ورودی فاز سوم به‌شمار می‌رود. خط لوله در هر بازه زمانی برنامه‌ریزی صرفاً در یک جهت کار می‌کند. مدل مفروض برای یک مسئله واقعی شامل انتقال چهار نوع از محصولات پیاده‌سازی است (Magatão *et al.*, 2004).

ماگاتائو و همکاران (۲۰۱۱)، کار قبلی خود را، که مدل‌سازی سیستم انتقال شامل بندرگاهی متصل به یک پالایشگاه بود، با ترکیب برنامه‌ریزی منطقی مقید و MILP توسعه دادند. این مدل راهبردهای تجزیه، نمایش زمان پیوسته، پنجره زمانی نشان‌دهنده محدودیت‌های زمان، و یکسری محدودیت‌ها و موارد عملیاتی مانند هزینه انرژی الکتریکی در ساعات پیک مصرف را در نظر می‌گیرد. خط لوله به پیک‌هایی با حجم ثابت تقسیم شد. با این حال، زمان به صورت پیوسته در نظر گرفته شده بود. جهت جریان اولیه خط باید تعیین شود و بیش از یک بار در طول بازه برنامه‌ریزی نمی‌توان تغییر جهت را به خط اعمال کرد. جریان از پالایشگاه به بندرگاه به عنوان Flow و از بندرگاه به پالایشگاه به عنوان Reflow تعریف شد. در این پژوهش، نخست مدل ترکیبی CPL-MILP فرمول‌بندی شد و سپس الگوریتم‌های مناسبی برای بهبود ارتباط بین بخش‌های CPL و MILP توسعه داده شد. هدف اصلی این پژوهش، تعیین نحوه عملکرد خط لوله در طی بازه زمانی برنامه‌ریزی با حداقل هزینه عملیات است. فرایند برنامه‌ریزی باید توالی پمپاژ، نرخ فلوی پمپ‌ها و نیازهای عملیات را در نظر بگیرد. هزینه عملیات به تداخل زمان، توقف خط و هزینه انرژی بستگی دارد. همانند مطالعه قبلی، بخش‌های مربوط به فاز یک و دو به صورت MILP مدل‌سازی شده بود و مسئله اصلی به صورت ترکیبی CPL-MILP. هر محدودیت به عنوان بخشی از مدل CPL و نیز به عنوان بخشی از MILP فرموله شد. سپس فرایند جستجوی یکپارچه با افزودن محدودیت‌های خطی صحیح و آزادسازی خطی مسئله به منظور کران‌های هر گره درخت جستجو شکل گرفت. این مدل برای برنامه‌ریزی عملیاتی خط لوله مورد استفاده قرار گرفت. نتایج محاسبات نشان می‌دهند که مدل جدید کارایی بهتری داشته و زمان محاسبه کاهش یافته است (Magatão *et al.*, 2011).

ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، سیستم انتقال نفتی شامل خط لوله تک‌منبعی با چندین ایستگاه پمپاژ را مدل کردند. مدل ریاضی به صورت MILP تعریف شد که پارامترهایی از جمله انتقال دسته‌های مواد، هزینه انرژی الکتریکی، پنجره زمانی تقاضا، ممانعت از قسمت‌های بیکار خط و تغییرات حداقل فلوی جریان را در نظر می‌گرفت و ملاحظات مربوط به هیدرولیک خط را وارد مدل می‌کرد. مدل ساخته‌شده به شرایط عملیاتی نزدیک بود، و بسیار پیچیده. این مدل به دو بخش

تقسیم شد و از طریق رویکرد محاسباتی ترکیبی شامل الگوریتم کلونی مورچگان^۱ (ACO) و روش سیمپلکس^۲ (SM) حل شد. نهایتاً فرمول حاصل شده به یک مورد مجازی و یک مسئله واقعی اعمال شد و پایداری، همگرایی و عملی بودن آن مورد تایید قرار گرفت. در این پژوهش، پارامترهای فیزیکی سیال از جمله چگالی و ویسکوزیته آن‌ها برای دقیق‌تر شدن هزینه مربوط به انرژی مصرفی پمپ در نظر گرفته شد. به‌طور کلی، هدف این مسئله کاهش هزینه انرژی مصرفی، انحراف بین تقاضا و برنامه تحویل و تداخل‌ها بود، در حالی که بسیاری از محدودیت‌های عملیاتی و تکنیکی نیز در نظر گرفته شدند. این روش، به یک ساختار خط لوله چندفرآورده‌ای شامل چهار پایانه پخش و نیز یک مسئله واقعی با پنج پایانه پخش اعمال شد. زمان حل مدل نسبت به مدل‌هایی با ساختار مشابه کاهش داشته است. با تنظیم درست مقادیر برای الگوریتم ACO، مدل مفروض پایداری و همگرایی مناسبی را در حل مسائل زمان‌بندی بزرگ نشان می‌دهد (Zhang et al., 2017).

میرحسینی و قربانعلی‌زاده (۲۰۰۸)، یک سیستم انتقال مواد نفتی با ساختار درختی شامل یک پالایشگاه نفت، یک خط لوله چندفرآورده‌ای با انشعابات مختلف و چندین مرکز توزیع را با در نظر گرفتن بازارهای محلی مصرف مدلسازی کردند. مدل ارائه شده به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح^۳ (MIP) با اندازه بزرگ به‌شمار می‌رود. این مدل برای دو مثال مختلف پیاده‌سازی شد. **میرحسینی و جهرمی (۲۰۱۱)**، مدلی را برای زمان‌بندی کوتاه‌مدت سیستم توزیع نفت متشکل از یک پالایشگاه نفت و تعدادی پایانه توزیع در یک خط لوله با ساختار درختی ارائه دادند. این مدل با مدل قبلی ارائه شده **میرحسینی و قربانعلی‌زاده (۲۰۰۸)**، که به صورت گسسته مدلسازی شده بود مقایسه شد. مدل جدید زمان حل کم‌تری داشت و کیفیت پاسخ را نیز بهبود بخشید.

کاسترو و مصطفایی (۲۰۱۹)، یک مدل MILP زمان‌پیوسته برای برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت انتقال سیالات توسط خطوط لوله با ساختار درختی ارائه دادند. این خط شامل یک گره ورودی و چندین گره خروجی است که در انتهای هر یک از انشعابات قرار گرفته است. فرض بر این است که مواد ارسالی از پالایشگاه به صورت دسته‌ای وارد خطوط لوله می‌شود و به همین ترتیب نیز به گره‌های پایانی ارسال می‌گردد. توالی غیرمجاز مواد جلو آلودگی‌های شدید محصول را در نقاط مجاورت محصولات متفاوت می‌گیرد. زمانی که خط متوقف است و جریان ندارد، تداخل‌ها گسترش پیدا می‌کنند. بنابراین،

1. Ant Colony Optimization
2. Simplex Method
3. Mixed Integer Programming
4. Castro & Mostafaei

اپراتور تمایل دارد که درون هر قسمت خط فقط یک نوع محصول قرار گیرد. به این دلیل، در مدل محدودیتی در نظر گرفته شد که این موضوع پوشش داده شود، برخلاف مدل‌های قبلی که تأکیدی بر توالی‌های غیرمجاز در اولین تزریق مواد به خط در قسمت‌های مختلف نداشتند. چندین دسته فرآورده می‌توانند در یک شکاف زمانی وارد یک قسمت شوند یا از آن خارج گردند. مدل تولیدشده به یک خط لوله واقعی اعمال شد. برنامه بهینه به‌دست‌آمده ظرفیت خط را $6/2$ درصد افزایش داد، به‌نحوی که در بازه زمانی برنامه‌ریزی یک‌هفته‌ای، محصولات مورد تقاضا ۱۴ ساعت زودتر امکان تحویل یافتند. علاوه بر این، سه مسئله دیگر که از روی مقالات مختلف با این مدل حل شد، نتایج عملکرد بهتری را در این مدل نسبت به فرمول‌سازی‌های قبلی نشان می‌دهند، که در برخی موارد قادر به یافتن پاسخ مناسب نبودند، در حالی که در این‌جا پاسخ بهینه کلی به‌دست آمده است.

هران و همکاران^۱ (۲۰۱۰)، یک مدل MILP برای برنامه‌ریزی انتقال چندین نوع فرآورده در یک شبکه چندخطه ارائه دادند. تعادل فرآورده در نقاط میانی مهم‌ترین و مشکل‌ترین مسئله در مدل است که با رویکرد گسسته‌سازی زمان و حجم خط لوله حل شده است. تحت شرایط خاص می‌توان تعداد متغیرها و محدودیت‌ها را کاهش داد و مدل را کوچک‌تر کرد. این مدل ساده صرفاً در سناریوهایی که در آن تقاضا بالاست و در زمانی که هزینه‌های پمپ نسبت به هزینه‌های Start/ Stop پایین‌تر است، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در غیر این صورت، مدل کامل را باید بکار بست، زیرا تامین تقاضاهای پایانه‌ها نیازمند عملکرد دائم پمپ‌ها در کل بازه زمانی برنامه‌ریزی نیست. برای نشان دادن قابلیت کاربرد مدل، یک مسئله عددی تحت چند سناریو حل شد. داده‌های مورد استفاده به‌نحوی انتخاب شدند که خط در هر دو جهت کار کند. مدل ارائه‌شده در این مسئله با توجه به تعداد متغیرها و محدودیت‌ها زمان اجرایی بالایی نیز دارد و از نوع NP-Hard به‌شمار می‌رود.

کافارو و سردا (۲۰۱۰)، یک مدل MILP پیوسته برای برنامه‌ریزی عملیاتی یک شبکه خط لوله یک‌جهته با چندین منبع معرفی کردند که امکان تزریق همزمان دسته‌های فرآورده را از چندین پایانه ورودی فراهم می‌کرد. در این شبکه، فرض بر این است که حداکثر یک مسیر در گره مجاور در شبکه وجود دارد. این کار امکان تعیین بهینه توالی بچ‌های تزریق‌شده را در هر پایانه ورودی، اندازه دسته‌های مواد، نرخ پمپاژ مجاز، زمان شروع و پایان هر بلوک اجرایی پمپاژ و تخصیص فرآورده به پایانه‌های رسید، همزمان فراهم می‌کند. همچنین در این مدل، ایستگاه‌های دومانظوره، که می‌توانند

1. Herrán *et al.*
2. Batch

همزمان عملیات رسید و ارسال را انجام دهند، و نیز تغییر جریان پمپ‌ها به دلیل تغییر قطر خط لوله، در نظر گرفته شد. مدل مفروض شامل محدودیت‌های ساده ریاضیاتی برای برنامه‌ریزی بلوک‌های غیرفعال و تزریق همزمان مواد به خط بود که برتری آن استفاده بهتر از ظرفیت خط لوله و کاهش زمان مورد نیاز برای تحویل مواد به مراکز توزیع بود. هدف مسئله تامین تقاضا با کم‌ترین هزینه کلی با در نظر گرفتن هزینه تقاضای برگشتی است. سه مورد عملیاتی برای نشان دادن کارایی مدل مورد آزمون قرار گرفتند و نشان داده شد که در مسائل با اندازه بزرگ، اجرای موازی باعث کاهش زمان محاسبات می‌شود. ضمن این‌که هزینه محاسبات نیز علی‌رغم افزایش تعداد تزریق بسته‌ها کاهش یافته و هزینه تقاضای تحویل‌نشده نیز به علت عملیات موازی کاهش داشته است.

هران و همکاران (۲۰۱۲)، مدل قبلی ارائه‌شده خود را با رویکرد جدیدی حل کردند. از آن‌جا که مسئله MILP کامل قبلی برای شبکه گسترده خط لوله چندفرآورده‌ای بسیار بزرگ بود، در این پژوهش از روش فرا-ابتکاری استفاده شد. روش‌های بکاررفته در زمره روش‌های ابتکاری ساختار هستند که پاسخی برای فرایند جستجوی فرا-ابتکاری می‌سازند. در این پژوهش، سه روش تصادفی (Cr)، آزادسازی خطی (MILP (CI)، و آزادسازی کوآدراتیک (MILP (Cq) به عنوان روش‌های ابتکاری به منظور یافتن پاسخ اولیه برای مسئله فرا-ابتکاری بکار رفت. سپس چهار روش جستجوی فرا-ابتکاری در همسایگی پاسخ تولیدشده به شرح زیر بکار گرفته شد:

- Multi-Start Search (MSS)
- Variable-Neighborhood Search (VNS)
- Taboo Search (TS)
- Simulated Annealing (SA)

مسئله بهینه‌سازی فرا-ابتکاری به شکل مناسبی برای همگرایی به پاسخی قابل قبول و در بازه زمانی منطقی طراحی شد. نمونه‌های عددی برای نمایش کارایی این روش‌ها حل و با مدل پیشین **هران و همکاران (۲۰۱۰)** مقایسه شد و نشان داد که زمان مورد نیاز برای رسیدن به پاسخ بهینه نسبت به مدل MILP دو برابر کاهش یافته است (Herrán et al., 2012).

تعریف مسئله

مهم‌ترین موضوع در عملکرد خطوط لوله چندفرآورده‌ای، برنامه‌ریزی توالی بهینه محصولات، زمان آغاز پمپاژ فرآورده از مبدأ به درون خط لوله و مدت پمپاژ آن، و زمان‌بندی بهینه تحویل فرآورده‌ها از خطوط لوله به هر یک از مقاصد توزیع است، به‌گونه‌ای که کمینه‌سازی هزینه عملیات خطوط لوله و

حفظ فعالیت خط لوله در حداکثر ظرفیت ممکن؛ تعیین توالی و حجم بهینه بچ‌های جدید تزریق شده به خط لوله در طول مدت افق زمانی برنامه‌ریزی؛ افزایش اطلاعات در خصوص وضعیت حرکت انواع محصولات درون خط لوله؛ استفاده از مزایای هزینه متغیر انرژی مورد نیاز پمپاژ در بازه‌های زمانی متفاوت؛ و تامین تقاضاهای مصرف در هر یک از مراکز پخش بدون تاخیر زمانی صورت گیرد.

روش بکاررفته در این پژوهش در حل مسئله زمان‌بندی انتقال فرآورده‌های نفتی، کاربرد یک مدل ریاضی پیوسته MILP است. این مسئله برای خط لوله‌ای چندفرآورده‌ای با ساختار خطی تعریف شده است که یک مبدأ را به عنوان منبع تامین تقاضا به چند مرکز پخش محلی پیوند می‌دهد. خط لوله می‌تواند در بخش‌های مختلف دارای اقطار متفاوت باشد و بنابراین، نرخ جریان سیال درون آن ثابت نیست. در مدل‌سازی مسئله مفروضات زیر مد نظر است:

خط لوله از نوع ساختار خطی یک‌جهته است که فرآورده‌های نفتی یک مبدأ را از سر مسیر به چندین مرکز پخش در پایین‌دست انتقال می‌دهد. خط لوله همیشه پر از فرآورده‌های نفتی است و هیچ‌گاه بخشی یا کل آن نمی‌تواند خالی بماند. چون سیالات تراکم‌ناپذیر فرض می‌شود، تنها راه به جلو راندن و خارج کردن مواد از خط لوله و تحویل یک حجم مشخصی از آن‌ها به مراکز پخش پایین‌دست، تزریق همان میزان حجم مواد در مبدأ است. عملیات انتقال خط لوله به صورت Fungible و به شکل تحویل کامل صورت می‌گیرد. هر بچ درون خط لوله می‌تواند به یک یا چند مرکز پخش تخصیص داده شود. هنگامی که بچ جدید در خط لوله تزریق می‌شود، به اندازه همان حجم بچ جدید، بخشی از مواد بچ موجود درون خط لوله می‌تواند به مراکز پخش مذکور تحویل شود و باقی‌مانده آن حرکت خود را به سمت پایین‌دست جریان ادامه دهد تا به مرکز پخش دورتر دیگری برسد. بخشی از محصول درون یک بچ هنگامی می‌تواند به یک مرکز پخش تحویل شود که: الف) بچ مزبور به نقطه‌ای از مسیر برسد که محل اتصال فیزیکی مخزن مرکز پخش به خط لوله باشد؛ و ب) مخزن مربوطه در مرکز پخش ظرفیت خالی برای پذیرش آن حجم فرآورده را داشته باشد، اگر مرکز پخش فضای خالی برای تحویل فرآورده نداشته باشد، کل جریان خط لوله متوقف می‌شود. میزان حجم آلودگی و تداخلات برای هر جفت فرآورده نفتی مجاور درون خط لوله از قبل مشخص و مستقل از طول مسیر حرکت آن‌هاست. هزینه واحد^۱ مربوط به عملیات پمپاژ مقدار ثابت و معلومی است که بستگی به نوع فرآورده و مقصد دارد، ولی مستقل از نرخ پمپاژ است. مقدار تقاضای کل مراکز پخش در طول مدت افق زمانی ثابت است و بر تعداد دوره‌های زمانی از قبل معین تقسیم می‌شود تا در پایان هر دوره زمانی، آن مقدار از تقاضا بدون تاخیر به مقصد خود رسانده شود.

روش‌شناسی پژوهش (مدل ریاضی)

مجموعه‌ها

I : مجموعه بچ‌های قدیم و جدید، I^{old} : مجموعه بچ‌های قدیم درون خط لوله در ابتدای افق زمانی برنامه، I^{new} : مجموعه بچ‌های جدید که در طول افق زمانی برنامه درون خط لوله تزریق خواهد شد، P : مجموعه انواع فرآورده‌های نفتی، J : مجموعه مراکز پخش متصل به خط لوله، و T : بازه‌های زمانی افق برنامه.

پارامترها

h_{max} : حداکثر طول دوره زمان برنامه‌ریزی، dd_t : کران بالای بازه زمانی T ، vb_{min} : حداقل نرخ پمپاژ فرآورده‌های نفتی درون خط لوله، vb_{max} : حداکثر نرخ پمپاژ فرآورده‌های نفتی درون خط لوله، L_{min} : حداقل مدت زمان پمپاژ فرآورده‌های نفتی درون خط لوله، L_{max} : حداکثر مدت زمان پمپاژ فرآورده‌های نفتی درون خط لوله، $Cid_{p,j}$: هزینه واحد انبارش فرآورده نفتی p در مخازن مرکز پخش j ، $Cp_{p,j}$: هزینه واحد پمپاژ برای تحویل فرآورده نفتی p از مبدأ به مرکز پخش j ، $Cf_{p,p'}$: هزینه واحد بازپالایش حجم آلوده تداخلات میان فرآورده‌های نفتی p و p' ، $Cb_{p,j}$: هزینه واحد جریمه دیرکرد تحویل فرآورده p به مرکز پخش j در موعد زمانی t ، IPH_k : کران پایین دوره زمانی پیک مصرف انرژی k ، FPH_k : کران بالا دوره زمانی پیک مصرف انرژی k ، ρ_k : هزینه واحد جریمه انجام عملیات انتقال در حین ساعات دوره پیک مصرف انرژی k ، $IF_{p,p'}$: حداقل مقدار آلودگی مرزی میان فرآورده‌های نفتی p و p' پشت سر هم درون خط لوله، $qdp_{j,z}$: کل تقاضای فرآورده نفتی p که باید توسط مرکز پخش j برآورده شود، W_i^0 : اندازه حجم اولیه بچ قدیمی $i \in I^{old}$ در ابتدای افق برنامه، F_i^0 : مختصات حجمی بالادستی بچ $i \in I^{old}$ در ابتدای افق برنامه، و σ_j : مختصات حجمی یا فاصله حجمی مرکز پخش j از مبدأ خط لوله.

متغیرهای پیوسته

C_i : زمان پایان تزریق بچ i ، L_i : مدت زمان تزریق بچ i ، $DD_{i,j}^{i'}$: مقدار موادی که از بچ i به مرکز پخش j در بازه زمانی $[C_{i'} - L_{i'}, C_{i'}]$ انتقال یافته است، $DP_{p,j}^{i'}$: مقدار فرآورده p که به مرکز

پخش J در بازه زمانی $[C_{i'} - L_{i'}, C_{i'}]$ منتقل شده است، $F_{i'}^{i'}$: مختصات حجمی بالادستی پخش $i \in I$ در زمان پایان پمپاژ $C_{i'}$ ، $H_{i,k}$: چه مدت از پمپاژ پخش جدید i در حین دوره پیک مصرف انرژی k انجام شده است، $ID_{p,j}^{i'}$: سطح موجودی فرآورده نفتی p در مرکز پخش J در زمان $C_{i'}$ ، Q_i : اندازه حجم اولیه پخش جدید $i \in I^{new}$ ، $W_{i'}^{i'}$: اندازه حجم پخش i در زمان پایان پمپاژ $C_{i'}$ ، $WIF_{i,p,p'}$: مقدار آلودگی مرزی میان فرآورده‌های نفتی p و p' پشت سر هم درون خط لوله، D_{max} : حداکثر مقدار موادی که قابل انتقال از پخش i به مرکز پخش J است، $DM_{p,j}^{i'}$: مقدار عرضه فرآورده p از مرکز پخش J به بازار مصرف محلی مربوطه در دوره زمانی $[C_{i'-1}, C_{i'}]$ ، و $vm_{p,j}$: حداکثر نرخ عرضه فرآورده نفتی p به بازار مصرف محلی مرکز پخش J .

متغیرهای دودویی

$u_{i,k}$: برابر یک است هنگامی که تزریق پخش $i \in I^{new}$ زودتر از دوره پیک مصرف انرژی k آغاز نشود، $v_{i,k}$: برابر یک است هنگامی که تزریق پخش $i \in I^{new}$ پیش از پایان دوره پیک مصرف انرژی k خاتمه یابد، $x_{i,j}^{i'}$: برابر یک است هنگامی که بخشی از پخش i در حین تزریق $i' \in I^{new}$ قابل انتقال به مرکز پخش J باشد، $y_{i,p}$: برابر یک است هنگامی که پخش i محتوای فرآورده نفتی p باشد، و $w_{i,t}$: برابر یک است هنگامی که تزریق پخش i در بازه زمانی t به پایان رسیده باشد.

نخستین مجموعه اصلی، مجموعه دسته مواد یا پمپ‌هاست که با I نمایش داده می‌شود. پمپ‌های قدیمی موجود در خط لوله و پمپ‌های جدید که قرار است تزریق شوند هر دو زیر مجموعه‌ای از این مجموعه خواهند بود: $I = I^{new} \cup I^{old}$. $i \in I$ دومین مجموعه اصلی مسئله مجموعه مراکز پخش متصل به خط لوله است و با حرف J نمایش داده می‌شود ($J \in J$). سومین مجموعه اصلی مسئله مجموعه محصولات یا انواع فرآورده‌های نفتی است و با حرف P مشخص می‌شود ($p \in P$).

فرمولاسیون مسئله فرض می‌کند در ترتیب شماره‌گذاری اعضای مجموعه I پمپ‌های قدیمی موجود در خط لوله $i \in I^{old}$ مقدم بر پمپ‌های جدید $i \in I^{new}$ هستند. بدین ترتیب، با در نظرگیری توالی تزریق می‌توان گفت که نخستین عضو زیرمجموعه I^{old} همان دورترین پخش قدیمی از مبدأ خط لوله است و آخرین عضو آن نزدیک‌ترین پخش قدیمی به مبدأ در لحظه صفر آغاز برنامه است. از سوی دیگر، اولین عضو زیرمجموعه I^{new} همان نخستین پمپی است که قرار است در افق زمانی برنامه در خط لوله تزریق شود. در واقع، وقتی قرار است یک پخش جدید $i \in I^{new}$ در خط لوله تزریق شود باید پنج ویژگی برای آن توصیف و تعیین شده باشد: فرآورده تخصیص داده‌شده به آن (متغیر دودویی

$(V_{i,p})$ ، اندازه حجم اولیه هنگام تزریق (Q_i) ، زمان آغاز تزریق $(C_i - L_i)$ ، زمان پایان تزریق (C_i) و طول مدت زمان تزریق (L_i) . این پنج ویژگی را می‌توان جزو ویژگی‌های ایستایی بچ دانست، چون در طول زمان برنامه با تزریق دیگر بچ‌های جدید و فعالیت خط لوله تغییر نخواهند کرد. بچ ویژگی‌های دیگری نیز دارد که مقادیر آن‌ها در طول افق زمانی برنامه با تزریق دیگر بچ‌های جدید به خط لوله تغییر می‌کند و جزو ویژگی‌های دینامیکی بچ شناخته می‌شود. بنابراین لحظه پایان تزریق، بچ می‌تواند نقش نقطه رخداد اصلی را برای تعیین ویژگی‌های دینامیکی بچ در مدل بازی کند.

محدودیت تخصیص فرآورده نفتی به بچ

چون هر بچ محتوای تنها یک‌گونه محصول می‌تواند باشد، برای اختصاص رابطه یک به یک بین هر بچ با یکی از انواع فرآورده‌های نفتی، لازم است از متغیر دودویی به شکل $y_{i,p}$ استفاده شود، بدین شکل که اگر بچ i ام محتوای محصول p ام باشد، مقدار این متغیر یک و در غیر این صورت صفر است.

$$\sum_{p \in P} y_{i,p} \leq 1, \forall i \in I^{new}$$

همیشه برای بچ‌های جعلی که هیچ‌گاه در خط لوله تزریق نمی‌شوند، داریم:

$$y_{i,p} = 0, \forall p \in P$$

محدودیت‌های تعیین توالی بهینه فرآورده‌های نفتی

تزریق بچ جدید $i \in I^{new}$ نباید پیش از اتمام تزریق قبلی به اضافه زمان مورد نیاز برای تعویض نوع فرآورده صورت گیرد. اگر C_i و L_i به ترتیب نشانگر زمان اتمام و طول مدت زمان تزریق بچ i ام باشد، محدودیت‌های زیر می‌توانند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرند:

$$C_i - L_i \geq C_{i-1} \quad \forall i \in I^{new}, p, p' \in P$$

$$L_i \leq C_i \leq h_{max} \quad \forall i \in I^{new}$$

پارامتر h_{max} حداکثر طول افق زمان‌بندی برنامه را نشان می‌دهد.

محدودیت های تعیین کننده حجم اولیه بچ و مدت پمپاژ آن

حجم اولیه بچ های تزریقی به خط که با Q_i نمایش داده می شود، باید در محدوده مجاز انجام شود که با توجه به حداکثر و حداقل نرخ مجاز پمپاژ در خط لوله تعیین می شود.

$$vb_{min} * L_i \leq Q_i \leq vb_{max} * L_i, \forall i \in I^{new}$$

افزون بر این، مدت تزریق بچ (L_i) نیز نباید از کمینه و بیشینه طول تعیین شده تجاوز نماید.

$$\left(\sum_{p \in P} y_{i,p} \right) * L_{min} \leq L_i \leq \left(\sum_{p \in P} y_{i,p} \right) * L_{max}, \forall i \in I^{new}$$

در اجرای برنامه ممکن است به برخی بچ ها محصول اختصاص داده نشود که مشخصه آنها $L_i = 0$ است و مقدار $y_{i,p}$ آنها برابر صفر می شود. به این بچ ها اصطلاحاً بچ های جعلی گفته می شود. به منظور دستیابی به نتایج بهتر و تسریع در جستجو به روش شاخه و کران برای دستیابی به پاسخ بهینه، بچ های جعلی که طول آنها صفر تلقی می شود باید به انتهای توالی بچ های واقعی رانده شوند:

$$\sum_{p \in P} y_{i,p} \leq \sum_{p \in P} y_{i-1,p}, \forall i \in I^{new}$$

محدودیت آلودگی محصولات مجاور و توالی غیرمجاز

فرض کنید که بچ های $i-1$ و i دو بچ پشت سر هم از دو نوع محصول متفاوت p و p' در خط لوله هستند، با این حال حجم تداخل این دو بچ همسایه هرگز کم تر از مقدار $IF_{p,p'}$ نخواهد بود. فرض هم می کنیم که این مقدار تداخل مستقل از نرخ پمپاژ است. پس:

$$WIF_{i,p,p'} \geq IF_{p,p'} (y_{i-1,p'} + y_{i,p} - 1) \forall i \in I, i > 1, p, p' \in P$$

از سویی، برخی فرآورده ها مانند بنزین و نفت گاز در صورتی که پشت سر هم به خط لوله تزریق شوند، میزان تداخل و حجم آلودگی آنها بیش از معمول خواهد بود. پس این نوع فرآورده ها نمی توانند در مجاورت هم باشند. این ممنوعیت توالی را به صورت محدودیت زیر می توان نوشت:

$$y_{i-1,p'} + y_{i,p} \leq 1 \forall i \in I^{new}$$

محدودیت پمپاژ محصولات در زمان اوج مصرف انرژی

در طول افق زمانی برنامه‌ریزی انتقال در خط لوله، اوقاتی وجود دارد که مصرف انرژی در آن‌ها با تعرفه بالاتری محاسبه می‌شود. به منظور کاهش هزینه پمپاژ و پرهیز از انجام عملیات در این ساعات لازم است به‌نحوی محدودیت تزریق در ساعات مذکور را در برنامه زمان‌بندی وارد کنیم. به این منظور، با معرفی دو متغیر دودویی که نشان‌دهنده قرارگیری زمان آغاز و پایان تزریق بچ جدید در محدوده‌های زمانی اوج مصرف انرژی هستند، موضوع را به صورت دسته محدودیت‌های زیر فرموله می‌کنیم:

$$\begin{aligned} C_i - L_i &\leq IPH_k + u_{i,k} * MT \\ C_i &\geq FPH_k(1 - v_{i,k}) \\ C_i - L_i &\geq IPH_k * u_{i,k} \\ C_i &\leq FPH_k + (1 - v_{i,k}) * MT \end{aligned}$$

$u_{i,k}$: متغیر دودویی که یک بودن آن یعنی پمپاژ بچ جدید i زودتر از کران پایین (IPH_k) دوره زمانی پیک مصرف انرژی k آغاز نشده است و $v_{i,k}$: متغیر دودویی که یک بودن آن یعنی پمپاژ بچ جدید i پیش از کران بالای (FPH_k) دوره زمانی پیک مصرف انرژی k به پایان رسیده است. برای نشان دادن این‌که چه بخشی از پمپاژ بچ جدید i در خلال دوره زمانی پیک مصرف انرژی k انجام شده است، نیاز به یک متغیر پیوسته داریم که آن را با $H_{i,k}$ معرفی می‌کنیم.

$$\begin{aligned} H_{i,k} &\geq L_i + (u_{i,k} + v_{i,k} - 2) * MT \\ H_{i,k} &\geq C_i - IPH_k - (1 - v_{i,k}) * MT - u_{i,k} * MT \\ H_{i,k} &\geq FPH_k - (C_i - L_i) - (1 - u_{i,k}) * MT - v_{i,k} * MT \\ H_{i,k} &\geq FPH_k - IPH_k - u_{i,k} * MT - v_{i,k} * MT, \forall i \in I^{new}, k \in K \end{aligned}$$

بدین ترتیب، چهار حالت مختلف برای متغیر یادشده رخ می‌دهد که عبارت‌اند از:

۱. $u=1$ و $v=1$: حالتی که زمان آغاز و پایان پمپاژ بچ جدید i در دوره زمانی پیک مصرف k قرار می‌گیرد.

۲. $u=0$ و $v=1$: حالتی که زمان پمپاژ بچ جدید i پیش از آغاز دوره زمانی پیک مصرف k آغاز می‌شود، ولی پایان آن در دوره زمانی پیک مصرف k است.

۳. $u=1$ و $v=0$: در این حالت آغاز پمپاژ بچ جدید i در دوره زمانی پیک مصرف انرژی و پایان آن پس از اتمام دوره است.

۴. $u=0$ و $v=0$: در این حالت زمان آغاز و پایان پمپاژ بچ جدید i خارج از دوره پیک مصرف انرژی است.

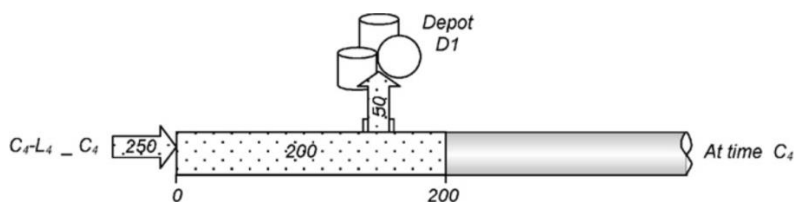
محدودیت مختصات بچ جدید

معادلات تعیین‌کننده موازنه حجم بچ تزریقی و میزان مواد موجود در خط و مواد منتقل‌شده به مراکز پخش در دو حالت تعریف می‌شوند:

۱. تحویل از بچ در حال تزریق: همان‌گونه که در **شکل (۱)** نمایش داده شد، تحویل مواد به مرکز پخش از بچ i همزمان با تزریق آن در ابتدای خط صورت می‌گیرد. در این حالت، حجم کلی تزریق‌شده بچ جدید i برابر با حجم کل تحویل‌شده به اضافه مقدار باقی‌مانده آن در خط لوله است.

$$Q_i = W_i^{i'} + \sum_{j \in J} D_{i,j}^{i'}, \forall i \in I^{new}, i' > i$$

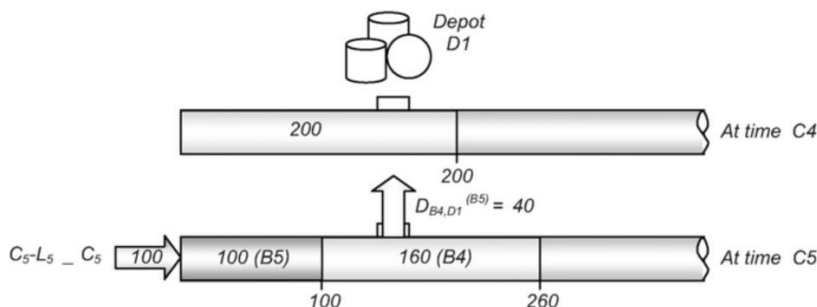
$$F_i^{i'} = W_i^{i'}$$



شکل ۱: تحویل فرآورده از بچ جدید تزریق‌شده در خط لوله

۲. تحویل از بچ قدیمی موجود در خط لوله: در این حالت، بچ جدید در ابتدای خط تزریق می‌شود و معادل آن از مواد قبلی موجود در خط لوله به مرکز/ مراکز پخش تحویل صورت می‌گیرد (**شکل ۲**). موازنه احجام در این حالت به این صورت است که حجم موجود از بچ i در انتهای تزریق بچ i' برابر تفاضل حجم این بچ در زمان اتمام تزریق بچ $(i' - 1)$ و مجموع تحویل‌های انجام‌شده از بچ i به مراکز پخش است.

$$W_i^{i'} = W_i^{i'-1} - \sum_{j \in J} D_{i,j}^{i'}, \forall i \in I, \forall i' \in I^{new}, i' > i$$



شکل ۲: تحویل فرآورده از بیج قدیمی موجود در خط لوله

محدودیت امکان تحویل مواد از بیج‌های درون خط لوله به مراکز پخش

در این بخش با تعریف یک متغیر تصمیم دودویی با نام $x_{i,j}^{i'}$ امکان انتقال مواد از بیج i به مرکز j تعیین می‌شود. زمانی مقدار این متغیر یک می‌شود که امکان انتقال مواد از بیج مذکور فراهم باشد. D_{max} کران بالای مقدار موادی است که قابل انتقال از بیج i به مرکز پخش j است.

$$D_{i,j}^{i'} \leq D_{max} * x_{i,j}^{i'}, \forall i \in I, \forall i' \in I^{new}, i' \geq i, \forall j \in J$$

$$F_i^{i'} - \sum_{p \in P} \sum_{p' \in P, p' \neq p} WIF_{i,p,p'} \geq \sigma_j * x_{i,j}^{i'}, \forall i \in I, \forall i' \in I^{new}, i' \geq i, \forall j < |J|$$

$$F_i^{i'} \geq \sigma_j * x_{i,j}^{i'}, \forall i \in I, \forall i' \in I^{new}, i' \geq i, \forall j = |J|$$

کران بالای حجم قابل انتقال به هر مرکز پخش با روابط زیر تعیین می‌شود. رابطه دوم زیر نشان می‌دهد که حجم آلوده مواد در اثر تداخل قابل انتقال به مرکز پخش نیست و همین حجم محدودیتی برای کران بالای انتقال مواد ایجاد خواهد کرد.

$$D_{i,j}^{i'} \leq \sigma_j - F_{i+1}^{i'-1} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} D_{i,k}^{i'} \right) + (1 - x_{i,j}^{i'}) * M, \forall i \in I, \forall i' \in I^{new}, i' > i, \forall j \in J$$

$$\sum_{j \in J} D_{i,j}^{i'} \leq W_i^{i'-1} - \sum_{p \in P} \sum_{p' \in P, p' \neq p} WIF_{i,p,p'}, \forall i \in I, \forall i' \in I^{new}, i' > i$$

محدودیت موازنه حجمی کل خط لوله

چون چگالی سیال درون خط، ثابت فرض می‌شود و تراکم پذیر نیست، به‌ازای کل حجم تزریق شده

بج $i' \in I^{new}$ به خط لوله آن مقدار موادی که از بجه‌های درون خط لوله می‌تواند به مراکز پخش $j \in J$ تحویل شود برابر (Q_i) است

$$\sum_{i \in I, i \leq i'} \sum_{j \in J} D_{i,j}^{i'} = Q_{i'}, \forall i' \in I^{new}$$

دسته محدودیت‌های کنترل موجودی مخازن مراکز پخش

محدودیت‌های مقدار مواد دریافتی مرکز پخش

اگر بج i حاوی محصول p باشد، مقدار $y_{i,p} = 1$ خواهد بود و در نتیجه می‌توان میزان مواد انتقال‌یافته از بج مذکور به مرکز پخش j در حین مدت زمان تزریق این بج به خط لوله را به کمک متغیر $DV_{i,p,j}^{i'}$ تعیین کرد. در غیر این صورت، هرگاه $y_{i,p} = 0$ باشد مقدار $DV_{i,p,j}^{i'}$ برابر صفر خواهد بود. بنابراین، می‌توان دو رابطه زیر را در ارتباط با بجه‌های جدید تزریقی به خط لوله مطرح کرد:

$$DV_{i,p,j}^{i'} \leq D_{max} * y_{i,p}, \forall i \in I^{new}, p \in P, j \in J, i' \in I^{new}$$

$$\sum_{p \in P} DV_{i,p,j}^{i'} = D_{i,j}^{i'}, \forall i \in I^{new}, j \in J, i' \in I^{new}$$

محدودیت‌های سطح موجودی و دامنه مجاز موجودی مخازن مراکز پخش

علاوه بر این، میزان موجودی هر یک از مخازن مراکز پخش در هر لحظه برابر با موجودی اولیه به‌علاوه مقادیر ورودی منهای مقادیر خروجی آن است. پس می‌توان گفت که برای موجودی و دامنه مجاز هر مخزن روابط زیر صادق است:

$$ID_{p,j}^{i'} = ID_{p,j}^{i'-1} + \sum_{i \in I, i \leq i'} DV_{i,p,j}^{i'} - Dm_{p,j}^{i'}, \forall p \in P, j \in J, i' \in I^{new}$$

$$IDmin_{p,j} \leq ID_{p,j}^{i'} \leq IDmax_{p,j}, \forall p \in P, j \in J, i' \in I^{new}$$

محدودیت‌های مربوط به مقدار عرضه فرآورده از سوی مراکز پخش و تامین تقاضای بازار مصرف

مقدار فرآورده $p \in P$ که از مرکز پخش $j \in J_p$ در طول دوره زمانی $(C_i - C_{i-1})$ به بازار مصرف محلی مربوطه تحویل می‌شود با متغیر $Dm_{p,j}^{i'}$ نشان داده می‌شود. این مقدار باید با نرخ عرضه v_m از طریق مرکز پخش به بازار تحویل شود. از طرفی، باید مجموع محصول تحویلی از بجه‌های مختلف به بازار در یک مرکز پخش برابر با کل تقاضای اعلام‌شده آن مرکز برای محصول مورد نظر (qd) باشد.

$$Dm_{p,j}^i \leq (C_i - C_{i-1}) * v_{m_{p,j}}, \forall p \in P, \forall j \in J_p, \forall i \in I^{new}$$

$$\sum_{i \in I^{new}} Dm_{p,j}^i = qd_{p,j}, \forall p \in P, \forall j \in J_p$$

دسته محدودیت‌های شرایط اولیه مسئله

می‌بایست در نقطه $t=0$ از افق زمانی مورد نظر شرایط موجودی درون خط مشخص باشد. بدین منظور، می‌توان محدودیت مربوط به اندازه حجم هر یک از بچ‌های قدیمی را به شکل زیر تنظیم کرد:

$$W_i^{i'-1} = W_i^0, \forall i \in I^{old}, i' = first(I^{new})$$

از سوی دیگر، مختصات و توالی بچ‌های قدیمی درون خط لوله نیز با محدودیت زیر مشخص می‌شود:

$$F_i^{i'-1} = F_i^0, \forall i \in I^{old}, i' = first(I^{new})$$

دسته محدودیت‌های پنجره زمانی تقاضا

الزام به تامین تقاضاهای کلیه مراکز پخش در پایان افق برنامه یکی از فروض اصلی و مهم مسئله است. حال علاوه بر فرض مزبور، فرض دیگری اضافه می‌کنیم بدین صورت که افق برنامه به چند بازه زمانی (با طول برابر یا نابرابر) تقسیم شود و در انتهای هر بازه زمانی مقرر می‌شود که مقدار معینی از تقاضای کل به مراکز پخش تحویل شود. به منظور تقسیم افق زمانی برنامه به چند دوره زمانی لازم است از مجموعه جدید T که معرف دوره‌های زمانی مختلف است استفاده شود $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$. از طرفی، $T = h_{max}$ و هر دوره t یک ساعت آغاز و یک ساعت پایان دارد و چون در مدل نیاز است ساعت پایان دوره‌های t از قبل مشخص باشد از پارامتر dd_t به منظور تعیین کران بالای دوره زمانی t برحسب واحد زمانی ساعت استفاده می‌شود. به منظور عملیات تحویل و محاسبه مقادیر تقاضاهای با تاخیر مواجه‌شده، ضروری به نظر می‌رسد یک متغیر دودویی مانند $w_{i,t}$ تعریف شود. این متغیر مقدار یک به خود می‌گیرد اگر و فقط اگر عملیات تزریق بچ i در دوره t به اتمام برسد. آنچه اهمیت دارد زمان پایان تزریق بچ نام است و زمان آغاز آن ممکن است در هر دوره t' پیش از t باشد.

$(t' < t)$ مقدار متغیر $w_{i,t}$ به وسیله دسته محدودیت‌های زیر مشخص می‌شود:

$$\sum_{t \in T} \omega_{i,t} = \sum_{p \in P} y_{i,p}, \forall i \in I^{new}$$

$$C_i \geq dd_{t-1} * \omega_{i,t}$$

$$C_i \leq dd_t + (1 - \omega_{i,t})(h_{max} - dd_t), \forall i \in I^{new}, t \in T$$

برای یک بچ جعلی $i \in I^{new}$ داریم: $\sum_t \omega_{i,t} = 0$ از سویی، اگر پمپاژ بچ $i \in I^{new}$ در دوره t به پایان برسد پس: $dd_{t-1} \leq C_i \leq dd_t$. توجه کنید که زمان آغاز پمپاژ بچ $i \in I^{new}$ می‌تواند در هر دوره t' به‌طوری که $t' < t$ آغاز شود، چرا که دربارهٔ زمان آغاز آن شرطی وجود ندارد، اما در دوره t پایان می‌یابد. چون ممکن است همه تقاضاها در موعد مقرر به مقصد نرسند، ضروری است این مقدار تقاضاهای عقب‌افتاده کنترل شود و در صورت اتفاق جریمه‌ای برای مدل در نظر گرفته شود. پس برای نشان دادن بخشی از تقاضاها که در پایان یک موعد زمانی t_n تامین نشده‌اند، نیاز به تعریف یک متغیر پیوسته است. به کمک این متغیر و تعریف محدودیت‌های لازم، آن مقدار از تقاضا که در پایان دوره مذکور تامین نشده باشد تحت عنوان «تقاضای عقب‌افتاده»^۱ به دوره بعدی انتقال خواهد یافت. متغیر $B_{p,j,t}$ مقدار تقاضای عقب‌افتاده محصول p در مرکز j را در انتهای موعد تحویل t ام نشان می‌دهد.

$$\sum_{l=1, l \in I^{new}}^i DM_{p,j}^l \geq \left(\sum_{k=1}^t dem_{p,j,k} \right) (\omega_{i,t} - \omega_{i+1,t}) - B_{p,j,t}, \forall p \in P, j \in J_p, t \in T, i \in I^{new}$$

پارامتر $dem_{p,j,t}$ آن بخش از تقاضای کل فرآورده p در مرکز پخش j را که بایستی پیش از اتمام موعد زمانی dd_t تامین شود نشان می‌دهد. برای تضمین این‌که محدودیت فوق به‌درستی عمل نماید الزامی است که دست‌کم یک عملیات تزریق بچ در هر دوره زمانی t به پایان برسد. بنابراین، این التزام را با محدودیت زیر به مدل تفهیم می‌کنیم:

$$\sum_{i \in I^{new}} \omega_{i,t} \geq 1, \forall t \in T$$

با لحاظ تقاضاهای عقب‌افتاده در مدل لازم است در تابع هدف نیز متناسب با مفهوم آن عبارتی اضافه شود تا با حضور آن، مدل در پی کمینه کردن تقاضاهای عقب‌افتاده باشد. به این منظور پارامتر $Cb_{p,j,t}$ به عنوان جریمه در مدل ریاضی مسئله تعریف می‌شود. این پارامتر به شکل هزینه واحد جریمه دیرکرد در تامین تقاضا و با توجه به درجه اهمیت نوع فرآورده p و مرکز پخش j و موعد تحویل t متفاوت است و همانند داده‌های اولیه در ابتدای مسئله تعیین می‌شود.

تابع هدف مدل

هدف مسئله، کمینه‌سازی کل هزینه عملیاتی خط لوله است که شامل هزینه انتقال، هزینه بازپالایش مواد آلوده، و هزینه نگهداشت محصولات در مخازن مراکز پخش است. هزینه نگهداشت محصولات مبتنی بر مقدار میانگین هر یک از محصولات در مخازن در بازه زمانی برنامه‌ریزی انتقال است. رابطه زیر نمایانگر تابع هدف در نظر گرفته شده در این مدل‌سازی است. ترم یکم این معادله مربوط به هزینه پمپاژ، ترم دوم مربوط به جریمه اعمالی ناشی از کار در ساعات پیک مصرف انرژی، ترم سوم مربوط به هزینه تداخل و بازپالایش، ترم چهارم مربوط به هزینه نگهداشت فرآورده‌ها در مخازن مراکز پخش، و ترم آخر مربوط به هزینه تقاضاهای به‌تأخیر افتاده است.

$$\min z = \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \left(cp_{p,j} \sum_{i \in I} \sum_{i' \in I^{new}} DV_{p,i,j}^{i'} \right) + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I^{new}} \rho_k H_{i,k} + \sum_{p' \in P, p' \neq p} \sum_{i \in I, i' > 1} cf_{p,p'} \times WIF_{i,p,p'} \\ + \frac{1}{card(I^{new})} \sum_{p \in P} \left[\sum_{j \in J_p} cid_{p,j} \left(\sum_{i' \in I^{new}} ID_{p,j}^{i'} \right) \right] + \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} Cb_{p,j,t} \times B_{p,j,t}$$

تجزیه و تحلیل یافته‌ها (آزمایش مدل با داده‌های واقعی و نتایج محاسبات)

اطلاعات واقعی خط لوله مورد بررسی

با توجه به فروض در نظر گرفته شده در فرایند مدل‌سازی ریاضی، خط لوله یک‌سویه چند فرآورده‌ای شاهرود به مشهد با قطر ۲۰ اینچ از مجموعه خطوط لوله چند فرآورده‌ای کشور برگزیده شد. این سنجش در قالب دو مسئله با شرایط متفاوت از هم و با داده‌های واقعی مرتبط با شرایط عملیاتی خط لوله یادشده انجام شد. طول خط لوله ۲۰ اینچ گفته شده ۴۵۷ کیلومتر است و از شهر شاهرود آغاز می‌شود و در مسیر خود از مراکز پخش^۱ سبزوآر (D_1)، نیشابور (D_2)، امام تقی (D_3) می‌گذرد و در آخر به مرکز پخش و تأسیسات مشهد (D_4) می‌رسد. فاصله هر یک از این چهار مرکز پخش از مبدأ خط لوله (شاهرود) برحسب واحد حجمی متر مکعب به ترتیب برابر ۴۷۱۰۰، ۶۶۶۰۰، ۷۸۹۰۰ و ۸۸۰۰۰ است. از خط لوله یادشده شش فرآورده نفتی بنزین (Ms)، بنزین یورو (Mu)، نفت سفید (Kr)، نفت گاز (Go)، نفت گاز یورو (Gu)، به همراه نفت جت (JF) حمل و به ترتیب با P_I تا P_6 نمادگذاری می‌شوند.

مرکز انتقال^۱ شاهرود فرآورده‌های نفتی را با دبی متغیر ۶۰۰ تا ۸۰۰ متر مکعب در ساعت، درون خط لوله پمپاژ می‌کند و بر اساس این نرخ تزریق و طول مسیر می‌توان نتیجه گرفت که برای رسیدن مواد به آخرین مرکز پخش (مشهد) حداقل زمان مورد نیاز ۱۱۰ ساعت (۴/۶ روز) است.

بر اساس الگوی مصرف و سیاست‌های اعمال شده در توزیع انواع فرآورده‌ها می‌توان گفت که نه تنها مقدار، بلکه نوع تقاضاهای مصرف چهار مرکز پخش در طول مسیر متفاوت از هم هستند، به طوری که مراکز پخش سبزوار و نیشابور فقط متقاضی سه فرآورده بنزین، نفت سفید، و نفت گاز یورو از شش فرآورده نفتی هستند و مرکز پخش امام تقی متقاضی چهار نوع فرآورده بنزین، نفت سفید، نفت گاز معمولی، و نفت گاز یورو است و تقاضای مرکز پخش مشهد به عنوان آخرین مرکز پخش شامل همه انواع فرآورده‌های نفتی به استثنای نفت گاز معمولی است.

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های عملیاتی، توالی مجاز تزریق شش فرآورده نفتی است که در خط لوله شاهرود به مشهد مطابق با **جدول (۱)** تعریف می‌شود. چنان که پیش‌تر نوشته شد، بر اثر افزایش تعرفه مصرف انرژی الکتریکی در برخی ساعات، هزینه پمپاژ افزایش می‌یابد. به همین دلیل، در این ساعات نباید خط لوله فعال باشد. اگرچه گاهی به سبب اهمیت تامین به موقع تقاضاها ناگزیر به ادامه فعالیت خط لوله در ساعات مزبور خواهیم شد. در سه مثال پیشارو در مدت ۲۴۰ ساعت افق زمانی برنامه‌ریزی دو دوره اوج مصرف انرژی الکتریکی هر یک به مدت پنج ساعت مشخص شده است که بین ساعات ۵۰ تا ۵۵ و ۲۳۵ تا ۲۴۰ است. در صورت انجام عملیات انتقال فرآورده‌های نفتی در این ساعات، هزینه انتقال بیش‌تری بر سیستم تحمیل خواهد شد. این موضوع به شکل جریمه در تابع هدف لحاظ شده و تعرفه آن معادل ۱۰ واحد پولی به‌ازای هر ساعت فعالیت خط لوله است.

هزینه انبارش یک متر مکعب فرآورده نفتی به مدت یک ساعت در مخزن مربوطه را هزینه واحد انبارش تعریف می‌کنیم. هزینه واحد انبارش برای همه انواع فرآورده‌ها در مخازن مراکز پخش $Cid(p, j)$ با هم برابر و مساوی ۰/۱ واحد پولی فرض می‌شود. اطلاعات مربوط به میزان کمینه و بیشینه ظرفیت مجاز عملیاتی مخازن هر یک از فرآورده‌های نفتی به تفکیک مراکز در **جدول (۲)** آمده است. هزینه واحد پمپاژ $Cp(p, j)$ برای تحویل هر نوع فرآورده نفتی به هر یک از مراکز انتقال به شرح **جدول (۳)** است. هزینه واحد پمپاژ، تابعی از نوع فرآورده و فاصله مرکز پخش تا مبدأ خط لوله است. یکی دیگر از پارامترهای مهم مدل، نرخ عرضه فرآورده‌های نفتی در بازارهای مصرف مجاور مراکز پخش $Vm(p, j)$ است که برحسب متر مکعب بر ساعت در **جدول (۴)** آمده است. میزان حجم آلودگی در مرز

بین دو بچ مجاور درون خط لوله که با پارامتر $IFF(p, p')$ نشان داده می‌شود، از دیگر داده‌های ثابت و مشترک بین دو مسئله مطرح شده است. این حجم آلودگی برای همه انواع فرآورده‌ها معادل ۳۰ متر مکعب در نظر گرفته شده است. همچنین، در مبحث جرایم تاخیرات در تحویل تقاضاها، میزان جریمه دیرکرد در تامین تقاضاهای عقب‌افتاده $Cb(j, p, t)$ برای همه انواع فرآورده‌های نفتی و برای همه مراکز پخش در همه پنجره‌های زمانی برنامه به‌ازای هر متر مکعب برابر ۱۵ واحد پولی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: توالی مجاز تزریق فرآورده‌های نفتی درون خط لوله

فرآورده نفتی	بنزین	نفت سفید	نفت گاز	نفت گاز یورو	بنزین یورو	نفت جت
بنزین	مجاز	مجاز	غیرمجاز	غیرمجاز	مجاز	غیرمجاز
نفت سفید			مجاز	غیرمجاز	مجاز	مجاز
نفت گاز			مجاز	مجاز	غیرمجاز	غیرمجاز
نفت گاز یورو			غیرمجاز	غیرمجاز	مجاز	مجاز
بنزین یورو	مجاز	غیرمجاز	غیرمجاز	غیرمجاز	مجاز	مجاز
نفت جت	غیرمجاز	مجاز	غیرمجاز	غیرمجاز	غیرمجاز	مجاز

جدول ۲: کمینه و بیشینه ظرفیت مجاز عملیاتی مخازن مراکز (برحسب متر مکعب)

فرآورده نفتی	موجودی	منبع شاهرود	مرکز پخش سبزوار	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد
بنزین	بیشینه	۲۰۰۰۰	۳۸۰۰۰	۶۸۰۰	۱۹۰۰۰	۶۷۵۰۰
	کمینه	۵۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰
نفت سفید	بیشینه	۲۰۰۰۰	۱۹۰۰۰	۵۰۰۰	۲۷۰۰۰	۷۴۰۰۰
	کمینه	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۴۰۰۰
نفت گاز	بیشینه	۲۰۰۰۰	۰	۰	۱۹۰۰۰	۰
	کمینه	۵۰۰۰	۰	۰	۲۰۰۰	۰
نفت گاز	بیشینه	۲۰۰۰۰	۳۲۰۰۰	۱۵۰۰۰	۸۵۰۰	۷۴۰۰۰
یورو	کمینه	۵۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۴۰۰۰
بنزین یورو	بیشینه	۲۰۰۰۰	۰	۰	۰	۳۴۰۰۰
	کمینه	۵۰۰۰	۰	۰	۰	۳۰۰۰
نفت جت	بیشینه	۲۰۰۰۰	۰	۰	۰	۲۱۵۰۰
	کمینه	۵۰۰۰	۰	۰	۰	۲۰۰۰

جدول ۳: هزینه پمپاژ فرآورده‌های نفتی درون خط لوله (واحد پول بر متر مکعب)

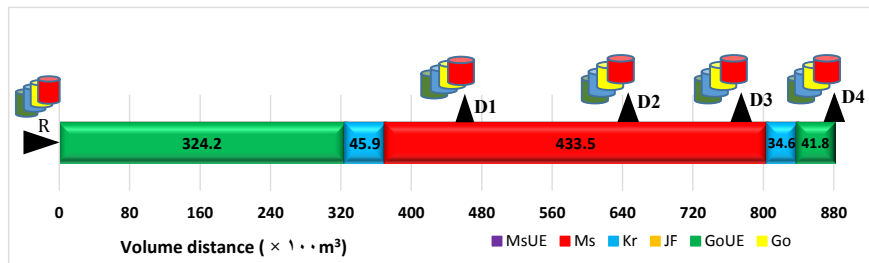
فرآورده نفتی	مرکز بخش سبزواری	مرکز بخش نیشابور	مرکز بخش امام تقی	مرکز بخش مشهد
بنزین	۳/۵	۴/۵	۵/۵	۶/۵
نفت سفید	۳/۷	۴/۷	۵/۷	۶/۷
نفت گاز	۴/۸	۵/۸	۶/۸	۷/۸
نفت گاز یورو	۴/۸	۵/۸	۶/۸	۷/۸
بنزین یورو	۳/۵	۴/۵	۵/۵	۶/۵
نفت جت	۴	۵	۶	۷

جدول ۴: بیشینه نرخ عرضه فرآورده‌های نفتی به بازار مصرف (متر مکعب بر ساعت)

فرآورده نفتی	مرکز بخش سبزواری	مرکز بخش نیشابور	مرکز بخش امام تقی	مرکز بخش مشهد
بنزین	۲۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰
نفت سفید	۲۰۰	۲۰۰	۴۰۰	۴۰۰
نفت گاز	-	-	۴۰۰	-
نفت گاز یورو	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۴۰۰
بنزین یورو	-	-	-	۳۰۰
نفت جت	-	-	-	۳۰۰

نمونه مسئله ۱

در این نمونه حمل‌شش فرآورده نفتی مختلف از خط لوله ۲۰ اینچ چندفرآورده‌ای شاهرود به مشهد در افق زمانی ۱۰ روزه ($H_{max} = 240$ hours) برنامه‌ریزی می‌شود. بر پایه داده‌های واقعی، شکل (۳) موقعیت بچ‌های قدیمی درون خط لوله یادشده را در شرایط اولیه نشان می‌دهد. خط لوله نام‌برده حاوی پنج بچ قدیمی فرآورده‌های نفتی شامل به‌ترتیب: نفت گاز یورو (بچ یکم) با حجم ۴۱۸۰ متر مکعب، نفت سفید (بچ دوم) با حجم ۳۴۶۰ متر مکعب، بنزین (بچ سوم) با حجم ۴۳۳۵۰ متر مکعب، نفت سفید (بچ چهارم) با حجم ۴۵۹۰ متر مکعب، و نفت گاز یورو (بچ پنجم) با حجم ۳۲۴۲۰ متر مکعب است.



شکل ۳: وضعیت اولیه بچ‌های فرآورده‌های نفتی درون خط لوله مسئله ۱

موجودی اولیه مخازن مراکز شاهرود، سبزوار، نیشابور، امام تقی، و مشهد به تفکیک نوع فرآورده به شرح **جدول (۵)** است. تقاضاهای مصرف چهار مرکز پخش سبزوار، نیشابور، امام تقی، و مشهد در قالب پنجره زمانی متشکل از سه دوره زمانی $T_1 = 48$, $T_2 = 96$, $T_3 = 240$ و به تفکیک نوع فرآورده نفتی در **جدول (۶)** درج شده‌اند و عملیات انتقال باید به‌نحوی برنامه‌ریزی شود که در زمان‌های مقرر تعیین‌شده مقدار مصرف مورد نیاز هر دوره زمانی به‌موقع تامین شود. اگر تاخیری در تامین تقاضای هر یک از سه دوره زمانی T_1 و T_2 و T_3 رخ دهد، سیستم متناسب با آن بخش از تقاضاهای عقب‌افتاده مشمول جریمه می‌شود و هزینه دیرکرد تامین تقاضا بر سیستم تحمیل می‌شود.

جدول ۵: موجودی اولیه مخازن فرآورده‌های نفتی مراکز مسئله ۱ (متر مکعب)

فرآورده نفتی	مرکز پخش سبزوار	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد
بنزین	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۲۵۰۰۰
نفت سفید	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۴۵۰۰
نفت گاز	-	-	۲۵۰۰	-
نفت گاز یورو	۵۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰۰
بنزین یورو	-	-	-	۷۲۰۰
نفت جت	-	-	-	۶۰۰۰

برای نمونه در **جدول (۶)**، مرکز پخش مشهد متقاضی ۷۳۶۰۰ متر مکعب بنزین در ۱۰ روز آینده است و باید به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی عملیات انتقال فرآورده بنزین انجام شود که طبق اعداد **جدول (۷)**، ۱۰۰۰۰ متر مکعب از این تقاضا تا ۴۸ ساعت نخست برنامه به مشهد برسد و ۲۵۰۰۰ متر مکعب دیگر

آن در دوره دوم، یعنی تا ساعت ۹۶ و ۳۸۶۰۰ متر مکعب باقی‌مانده تا پایان افق زمانی تحویل مشهد شود.

جدول ۶: تقاضای مصرف فرآورده‌های نفتی مراکز پخش مسئله ۱ (متر مکعب)

فرآورده نفتی	مرکز پخش سبزوار	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد
بنزین	۱۱۱۸۰	۷۲۰۰	۱۸۵۰۰	۷۳۶۰۰
نفت سفید	۲۴۰۰	۲۹۰۰	۶۴۰۰	۱۱۰۰۰
نفت گاز	.	.	۲۵۰۰	.
نفت گاز یورو	۹۷۰۰	۱۴۶۰۰	۱۳۷۰۰	۳۲۸۰۰
بنزین یورو	.	.	.	۱۳۳۹۰
نفت جت	.	.	.	۱۴۶۵۰

جدول ۷: پنجره زمانی تقاضاهای مراکز پخش مسئله ۱ (متر مکعب)

مرکز پخش	مرکز پخش سبزوار			مرکز پخش نیشابور			مرکز پخش امام تقی			مرکز پخش مشهد		
	دوره زمانی	دوره سوم T3=240h	دوره دوم T2=96h	دوره یکم T1=48h	دوره سوم T3=240h	دوره دوم T2=96h	دوره یکم T1=48h	دوره سوم T3=240h	دوره دوم T2=96h	دوره یکم T1=48h	دوره سوم T3=240h	دوره دوم T2=96h
بنزین	۱۱۸۰	۴۰۰۰	۶۰۰۰	۱۵۰۰	۳۲۰۰	۲۵۰۰	۱۰۰۰	۷۵۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۵۰۰۰
نفت سفید	۰	۱۰۰۰	۱۴۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰	۱۴۰۰	۱۰۰۰	۲۴۰۰	۳۰۰۰	۰	۷۰۰۰	۴۰۰۰
نفت گاز	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵۰۰	۰	۰	۰	۰
نفت گاز یورو	۱۷۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰	۳۶۰۰	۴۰۰۰	۷۰۰۰	۳۷۰۰	۳۰۰۰	۷۰۰۰	۸۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۰۸۰۰
بنزین یورو	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰	۴۳۹۰
نفت جت	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۶۵۰

چنان‌که پیش‌تر بیان شد، هدف اصلی مسئله کاهش هزینه‌های عملیاتی مربوط به ذخیره‌سازی و انبارش فرآورده‌های نفتی در مخازن مبدأ و مراکز پخش، هزینه پمپاژ در طول مسیر، هزینه تداخلات و بروز آلودگی‌ها در زمان‌های تعویض نوع فرآورده در حال تزریق، هزینه اجرای عملیات انتقال در ساعات اوج مصرف انرژی الکتریکی شبکه برق که تعرفه بالاتری دارند، و هزینه دیرکرد تامین تقاضاها تعریف شده است. با بررسی روشن می‌شود که مدل به دست کم ۸ بیج جدید برای برنامه‌ریزی مسئله بالا نیاز دارد و با

تعداد کم‌تر از ۸ بچ مسئله قابل برنامه‌ریزی نخواهد بود. برنامه تصویری مدل در **شکل (۴)** نمایش داده شده است. مدل برای برنامه‌ریزی مسئله (۱) به گونه‌ای تصمیم گرفته است که نخستین بچ جدید را که همان بچ ۶ است با محتوای نفت گاز و با حجم ۲۵۰۰ متر مکعب درون خط لوله تزریق کند. عملیات تزریق این بچ با نرخ ۶۰۰ متر مکعب بر ساعت از ساعت ۴/۹۵۸ آغاز و تا ساعت ۹/۱۲۵ ادامه داشته است. بچ ۷ (دومین بچ جدید) را نیز با محتوای نفت گاز یورو به حجم ۲۷۰۰ متر مکعب با نرخ ۸۰۰ متر مکعب بر ساعت به مدت ۳/۳۷۵ ساعت درون خط لوله تزریق کرده و در ادامه بچ‌های ۸ تا ۱۳ را به ترتیب از نفت سفید، نفت جت، نفت سفید، بنزین، و بنزین یورو و دوباره بنزین یورو با احجام ۷۴۳۰ و ۱۰۶۵۰ و ۱۲۲۰ و ۴۴۶۳۰ و ۴۰۱۹۰ و ۵۷۰۰۰ متر مکعب درون خط لوله تزریق کرده است. کارشناسان واحد برنامه‌ریزی انتقال مواد نفتی در شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران، مطابق با رویه جاری، مسئله (۱) را به روش دستی و با تزریق ۱۱ بچ جدید درون خط لوله برنامه‌ریزی کرده‌اند که نتایج تصمیم‌های آن‌ها به صورت گرافیکی در **شکل (۵)** آمده است. نتایج مقایسه در **جدول (۸)** آمده است. برنامه مدل با تزریق ۸ بچ جدید خط لوله را به مدت ۲۳۰/۰۴۱ ساعت از ۲۴۰ ساعت افق زمانی فعال نگاه داشته و سرجمع ۱۶۶۳۲۰ متر مکعب از انواع فرآورده نفتی درون خط لوله تزریق کرده است.

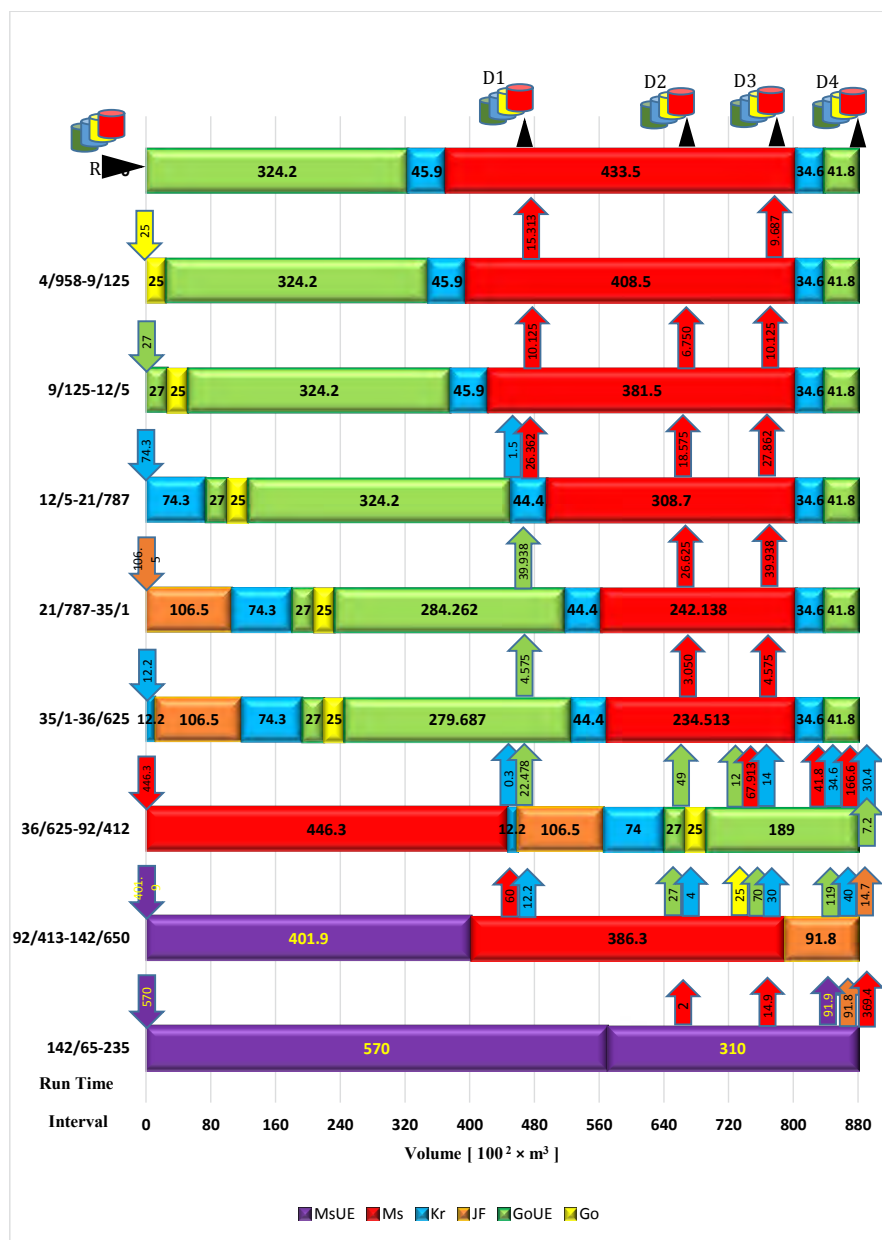
اما در برنامه‌ریزی رویه جاری برای مسئله یادشده، شاهد فعالیت خط لوله به مدت ۲۳۴/۷۳۸ ساعت هستیم که سرجمع ۱۸۷۷۵۰ متر مکعب فرآورده نفتی درون خط لوله تزریق شده است. برنامه مدل با تزریق ۸ بچ توانسته ۱۱/۴ درصد کم‌تر فرآورده در خط لوله تزریق کند و پیامد آن هزینه پمپاژ و آلودگی و انبارش مواد در مخازن مراکز پخش در مقایسه با برنامه رویه جاری به ترتیب ۷/۲، ۳۳/۳، و ۱۹/۹ درصد کاهش است. از سوی دیگر، برنامه مدل در مدیریت تامین تقاضاها بسیار بهتر عمل کرده، به طوری که میزان تقاضاهای عقب افتاده ۸۳/۷ درصد کم‌تر شده است. **جدول (۹)**، وضعیت تامین تقاضاها و میزان تاخیر پیش آمده در افق زمانی را برای هر یک از مراکز پخش نشان می‌دهد. در برنامه‌ریزی مدل تنها مرکز پخش مشهد که دورترین انبار نفت از مبدأ خط لوله است، فقط دو مورد از تقاضاهای خود را در دوره زمانی دوم با تاخیر دریافت کرده است که به ترتیب ۱۱۰۰ و ۴۸۰۰ متر مکعب از نفت گاز یورو و بنزین یورو هستند. هرچند در دوره زمانی سوم برنامه، این تاخیرها جبران شده است، اما در برنامه‌ریزی رویه جاری مسئله (۱) شاهد موارد زیادی از تاخیر در تامین تقاضاهای فرآورده‌های مختلف در هر چهار مرکز پخش هستیم. همه این آثار مثبت روی هم توانسته است هزینه کل عملیات انتقال فرآورده‌های نفتی را در برنامه مدل در مقایسه با برنامه رویه جاری به میزان ۱۲/۸ درصد بکاهد که مقدار بهبود به ازای دوره زمانی ۱۰ روزه قابل توجه است.

جدول ۸: ارزیابی و مقایسه برنامه مدل با برنامه رویه جاری برای مسئله ۱

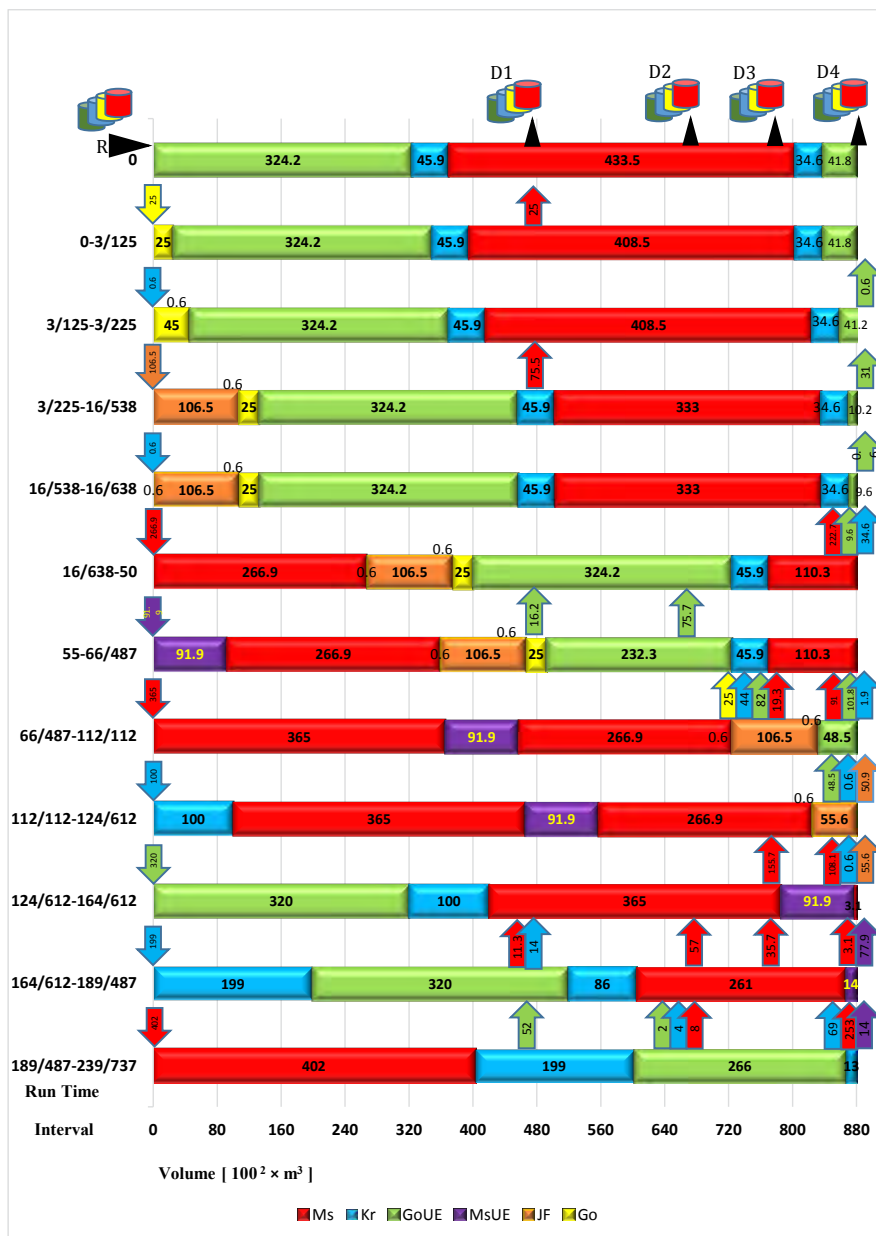
شرح آیتم	واحد	نماد	حل دستی	حل رایانه	اختلاف	درصد بهبود
تعداد بچهای تزریقی	عدد	i	۱۱	۸	۳	۲۷
کل مدت زمان فعالیت خط لوله	ساعت	$\Sigma-L$	۲۳۴/۷۳۸	۲۳۰/۰۴۱	۳/۵۵۷	۲
مجموع حجم تزریق شده در خط لوله	متر	$\Sigma-Q$	۱۸۷۷۵۰	۱۶۶۳۲۰	۲۱۴۳۰	۱۱/۴
مجموع حجم آلودگی در حین عملیات انتقال	مکعب	$\Sigma-WIF$	۴۵۰	۳۰۰	۱۵۰	۳۳/۳
هزینه پمپاژ کل عملیات انتقال		Zp	۱۱۶۳۲/۱۴	۱۰۷۹۹/۱۳۷	۸۳۳/۰۰۳	۷/۲
هزینه جراثیم مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف		Zh	۴۷/۳۷۵	۵۰	۲/۶۲۵	-۵/۵
هزینه تداخلات و آلودگی	واحد	Zc	۱۳۵	۹۰	۴۵	۳۳/۳
هزینه نگهداشت و انبارش مواد در مخازن مراکز انتقال	پول	Zid	۵۸/۳۸۸	۴۶/۷۷۴	۱۱/۶۱۴	۱۹/۹
هزینه دیرکرد تامین تقاضاها در پنجره زمانی مصرف		Zb	۱۴۴/۵۴	۲۳/۶	۱۲۰/۹۴	۸۳/۷
کل هزینه عملیات انتقال (تابع هدف)		Z	۱۲۰۱۷/۴۴۴	۱۰۴۷۲/۸۲۴	۱۵۴۴/۶۲	۱۲/۸

جدول ۹: تقاضاهای به تاخیر افتاده در برنامه مدل برای مسئله ۱ (متر مکعب)

مرکز پخش	مرکز پخش سبزواری	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد
دوره زمانی	دوره سوم T3=240h دوره دوم T2=96h دوره یکم T1=48h	دوره سوم T3=240h دوره دوم T2=96h دوره یکم T1=48h	دوره سوم T3=240h دوره دوم T2=96h دوره یکم T1=48h	دوره سوم T3=240h دوره دوم T2=96h دوره یکم T1=48h
بنزین	حل مدل	۳۲۰۰	۷۵۰۰	۸۴۰۵ ۳۳۴۵
نفت	حل مدل			
سفید	رویه جاری		۱۴۰۰	۳۰۴۰
نفت	حل مدل			
گاز	رویه جاری			
نفت گاز	حل مدل			۱۱۰۰
یورو	رویه جاری	۸۰	۱۲۰۰	۱۸۲۰ ۱۳۴۵
بنزین	حل مدل			۴۸۰۰
یورو	رویه جاری			۴۸۰۰
نفت	حل مدل			
جت	رویه جاری			

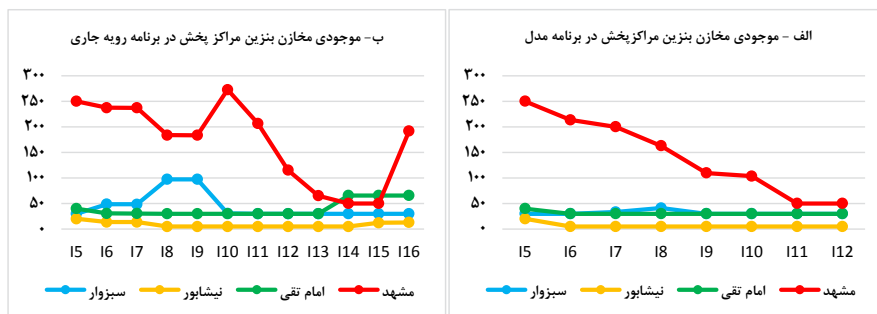


شکل ۴: برنامه‌ریزی مدل برای انتقال فرآورده‌های نفتی مسئله ۱

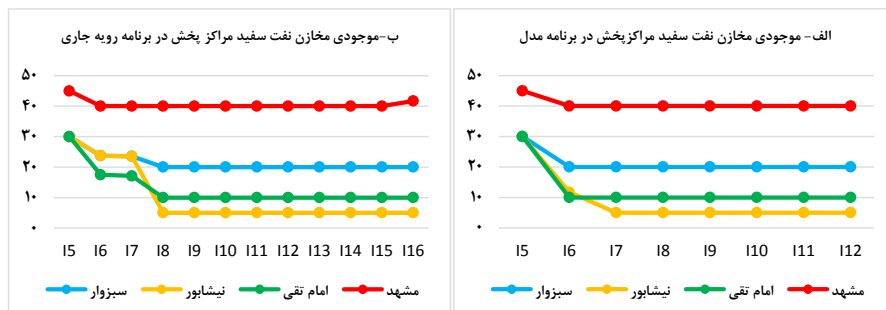


شکل ۵: برنامه‌ریزی رویه جاری برای انتقال فرآورده‌های نفتی مسئله ۱

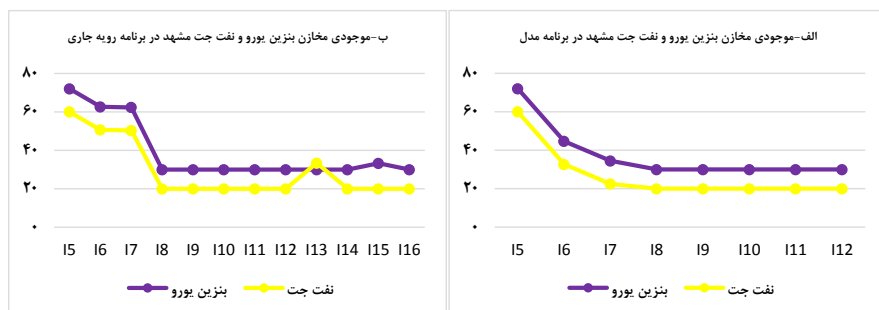
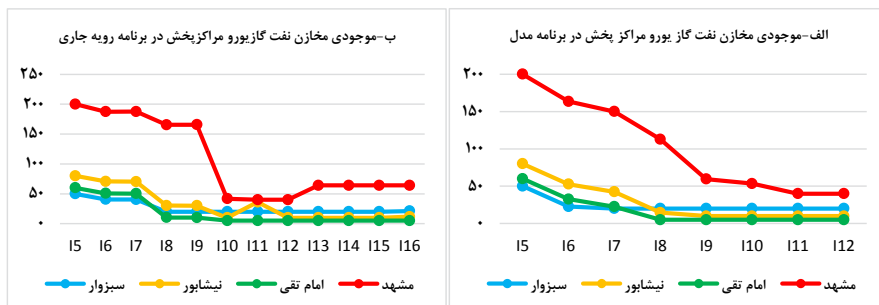
با ارزیابی داده‌های سطح موجودی مخازن فرآورده‌های نفتی در مراکز پخش و مقایسه نتایج هر دو روش برنامه‌ریزی می‌توان به عملکرد بهینه مدل ریاضی نسبت به رویه جاری پی برد. با توجه به اشکال مقایسه‌ای (۶)، (۷)، (۸)، و (۹) که تغییرات سطح موجودی مخازن فرآورده‌های نفتی را در مراکز پخش نشان می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که مدل برای کاهش هزینه‌ها در برنامه‌ریزی، سطح موجودی مخازن همه فرآورده‌ها را در کمینه خود نگه داشته است و همواره در گذر زمان روند نزولی داشته‌اند. در حالی که در برنامه رویه جاری، سطح موجودی مخازن برخی فرآورده‌ها در آخر برنامه در حداقل خود نبوده، روند تغییرات نوسان داشته و روند کاهشی یکنواخت نداشته است.



شکل ۶: مقایسه روند تغییرات سطح موجودی مخازن بنزین مسئله ۱

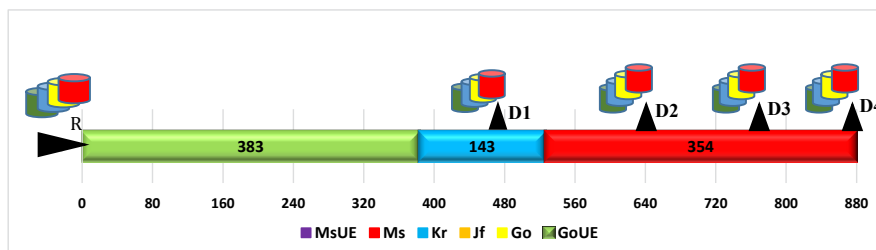


شکل ۷: مقایسه روند تغییرات سطح موجودی مخازن نفت سفید مسئله ۱



نمونه مسئله ۲

در این مسئله شرایط اولیه خط لوله شاهرود به مشهد به شرح **شکل (۱۰)** است. سه بچ قدیمی به‌ترتیب حاوی فرآورده‌های نفتی بنزین، نفت سفید، و نفت گاز با حجم‌های ۳۵۴۰۰، ۱۴۳۰۰، و ۳۸۳۰۰ متر مکعب درون خط لوله وجود دارد.



داده‌های موجودی اولیه مخازن مراکز سبزواری، نیشابور، امام تقی و مشهد به تفکیک نوع فرآورده به شرح جدول (۱۰) است. تقاضاهای مصرف هر یک از چهار مرکز پخش سبزواری، نیشابور، امام تقی و مشهد به تفکیک نوع فرآورده نفتی برای ۲۴۰ ساعت افق زمانی برنامه در قالب پنجره زمانی متشکل از چهار دوره زمانی در جدول (۱۱) درج شده‌اند. مدل برای برنامه‌ریزی مسئله بالا به حداقل ۸ بچ جدید نیاز دارد و با تعداد کم‌تر از ۸ بچ قابل برنامه‌ریزی نخواهد بود. برنامه‌ریزی مدل برای مسئله (۲) در شکل (۱۱) آمده است. کارشناسان باتجربه واحد برنامه‌ریزی انتقال مواد نفتی در شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران همین مسئله را مطابق رویه جاری و به روش دستی با تزیق ۱۱ بچ جدید درون خط لوله برنامه‌ریزی کرده‌اند. شکل (۱۲)، برنامه انتقال فرآورده‌های نفتی به‌دست آمده از رویه جاری را نمایش می‌دهد. ارزیابی و مقایسه این دو برنامه از جوانب مختلف در جدول (۱۲) آمده است.

جدول ۱۰: موجودی اولیه مخازن فرآورده‌های نفتی مراکز مسئله ۲ (متر مکعب)

فرآورده نفتی	مرکز پخش سبزواری	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد
بنزین	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۲۵۰۰۰
نفت سفید	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۴۵۰۰
نفت گاز	.	.	۲۰۰۰	.
نفت گاز یورو	۵۰۰۰	۸۰۰۰	۶۰۰۰	۲۰۰۰۰
بنزین یورو	.	.	.	۷۲۰۰
نفت جت	.	.	.	۶۰۰۰

جدول ۱۱: پنجره زمانی تقاضاهای مراکز پخش مسئله ۲ (متر مکعب)

مرکز پخش	مرکز پخش سبزواری	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد	دوره زمانی (ساعت)
بنزین	۱۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰۰	دوره چهارم T4=240 h
نفت سفید	۵۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰	دوره سوم T3=144 h
نفت گاز	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
نفت گاز یورو	۲۵۰۰	۳۵۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	دوره یکم T1=48 h
بنزین یورو	.	.	.	۳۰۰۰	دوره چهارم T4=240 h
نفت جت	.	.	.	۵۰۰۰	دوره سوم T3=144 h
	.	.	.	۴۰۰۰	دوره دوم T2=96 h
	.	.	.	۳۰۰۰	دوره یکم T1=48 h

جدول ۱۲: ارزیابی و مقایسه برنامه مدل با برنامه رویه جاری برای مسئله ۲

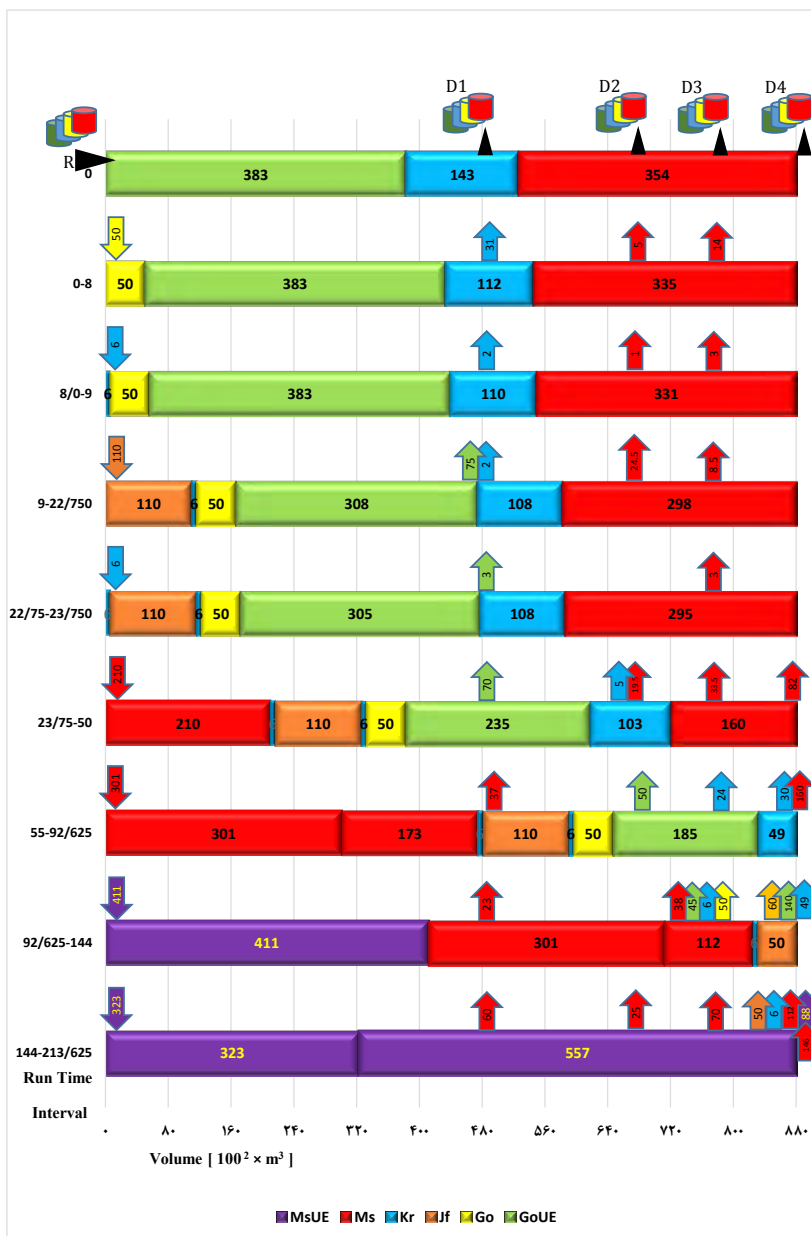
شرح آیتم	واحد	نماد	حل رویه جاری	حل مدل	اختلاف	درصد بهبود
تعداد بچ‌های تزریقی	عدد	i	۱۱	۸	۳	۲۷
کل مدت زمان فعالیت خط لوله	ساعت	ΣL	۱۹۸/۵	۲۰۸/۶۲۵	۱۰/۱۲۵	-۵/۱
مجموع حجم تزریق شده در خط لوله	متر مکعب	ΣQ	۱۶۵۷۰۰	۱۶۵۱۰۰	۶۰۰	۰/۴
مجموع حجم آلودگی در حین عملیات انتقال	متر مکعب	ΣWIF	۳۹۰	۲۴۰	۱۵۰	۳۸/۵
هزینه پمپاژ کل عملیات انتقال		ZP	۱۰۲۵۸/۶	۹۸۱۰	۴۴۸/۶	۴/۴
هزینه جرائم مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف		ZH	.	.	.	.
هزینه تداخلات و آلودگی	واحد	ZC	۱۱۷	۷۲	۴۵	۶۲/۵
هزینه نگهداشت و انبارش مواد در مخازن مراکز انتقال	پول	Zid	۵۱/۲۷۳	۵۰/۵۴۱	۰/۷۳۲	۱/۴
هزینه دیرکرد تامین تقاضاها در پنجره زمانی مصرف		ZB	۱۱۲/۸	۵۳/۶	۵۹/۲	۵۲/۵
کل هزینه عملیات انتقال (تابع هدف)		COST	۱۰۵۳۹/۶۷۳	۹۹۸۶/۱۳	۵۵۳/۵۴۳	۵/۲

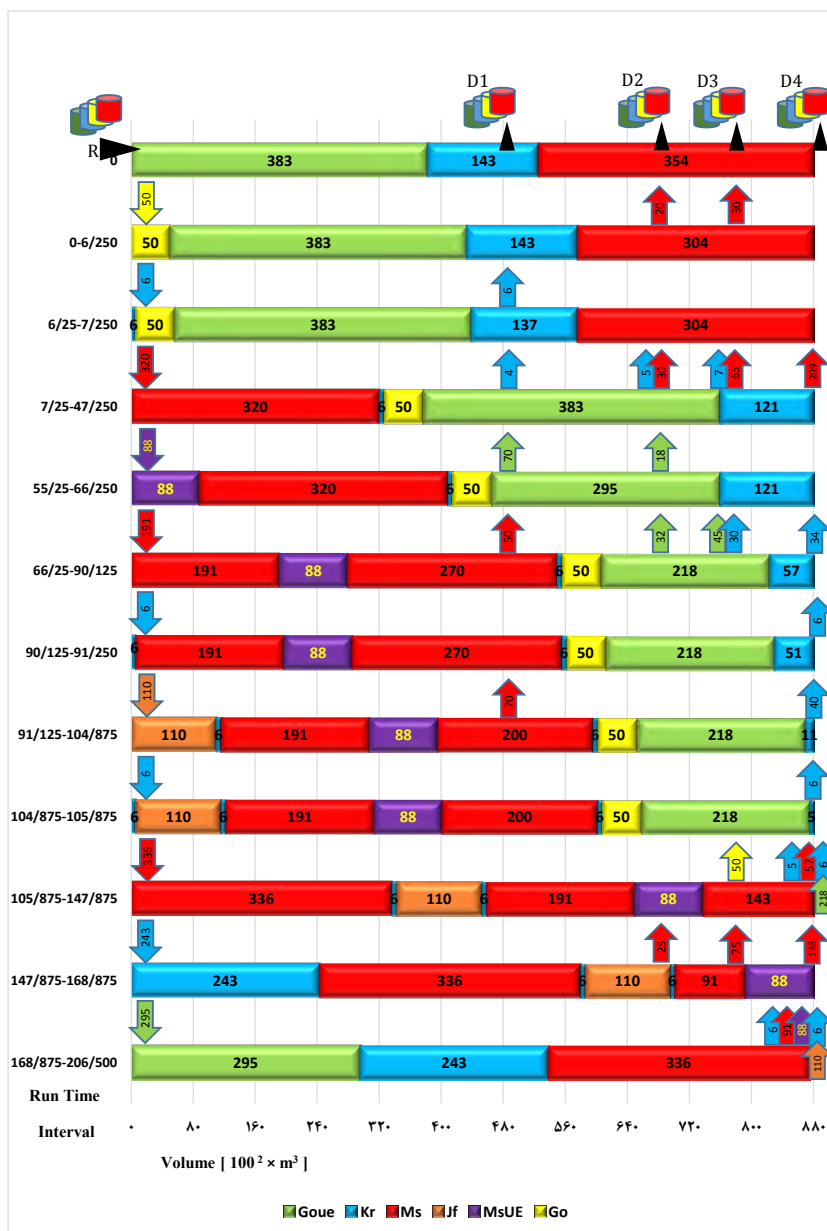
نکته مهم جدول (۱۲) این است که برنامه‌ریزی مدل نسبت به برنامه‌ریزی رویه جاری، علی‌رغم انتقال حجم کمتر، مدت زمان فعالیت بیش‌تری در نظر گرفته است. هزینه پمپاژ، هزینه تداخلات، و هزینه انبارش در مخازن مراکز پخش به ترتیب ۴/۴، ۶۲/۵، و ۱/۴ درصد بهبود یافته است و هزینه دیرکرد تقاضاها در برنامه‌ریزی مدل به مقدار قابل توجه ۵۲/۵ درصد کم‌تر است که در مجموع موجب بهتر شدن مقدار تابع هدف به میزان ۵/۲ درصد شده است. اگر بخواهیم موضوع تامین تقاضاها را در پنجره زمانی مورد بررسی قرار دهیم، با مقایسه ارقام مربوطه در جدول (۱۳)، می‌توان بیان کرد که برنامه‌ریزی مدل در مدیریت تامین تقاضاهای مصرف مراکز پخش بهتر از برنامه‌ریزی رویه جاری عمل کرده است.

جدول ۱۳: تقاضاهای به تاخیر افتاده در برنامه مدل برای مسئله ۲ (متر مکعب)

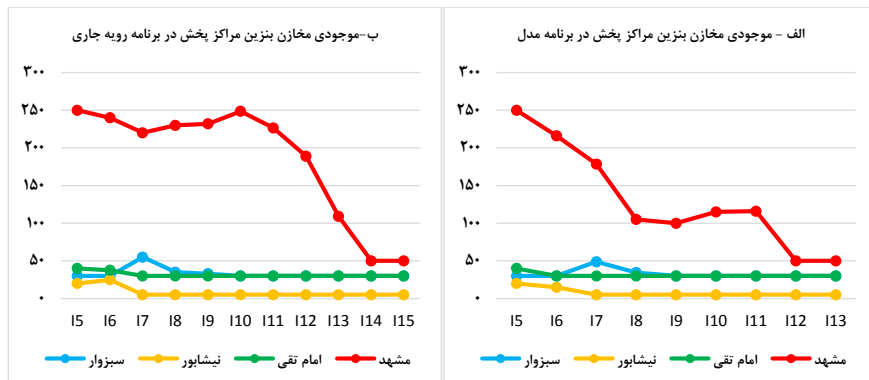
مرکز پخش	مرکز پخش سبزوار	مرکز پخش نیشابور	مرکز پخش امام تقی	مرکز پخش مشهد	دوره زمانی (ساعت)
حل	۱۰۰۰	.	.	۵۰۰	دوره چهارم T4=240 h
مدل	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
بنزین	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
رویه	۱۰۰۰	.	۵۰۰	.	دوره یکم T1=48 h
جاری	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
حل	.	.	.	۵۰۰	دوره سوم T3=144 h
مدل	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
نفت	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
سفید	.	.	.	۵۰۰	دوره چهارم T4=240 h
رویه	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
جاری	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
حل	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
نفت	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
مدل	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
گاز	.	.	.	۱۵۰۰	دوره دوم T2=96 h
رویه	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
جاری	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
حل	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
مدل	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
گاز	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
رویه	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
یورو	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
جاری	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
حل	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
بنزین	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
مدل	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
رویه	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
جاری	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
حل	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
مدل	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h
نفت	.	.	.	.	دوره دوم T2=96 h
جت	.	.	.	.	دوره یکم T1=48 h
رویه	.	.	.	.	دوره چهارم T4=240 h
جاری	.	.	.	.	دوره سوم T3=144 h

با ارزیابی داده‌های مربوط به موجودی مخازن فرآورده‌های نفتی در مراکز پخش و مقایسه نتایج برنامه‌ریزی مدل و برنامه‌ریزی رویه جاری می‌توان به عملکرد بهتر مدل ریاضی نسبت به رویه جاری پی برد. اشکال (۱۳)، (۱۴)، (۱۵)، و (۱۶) همگی گویای این مطلب هستند.

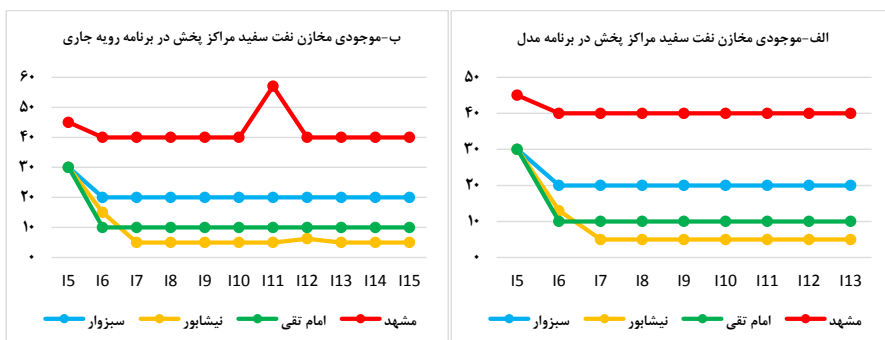




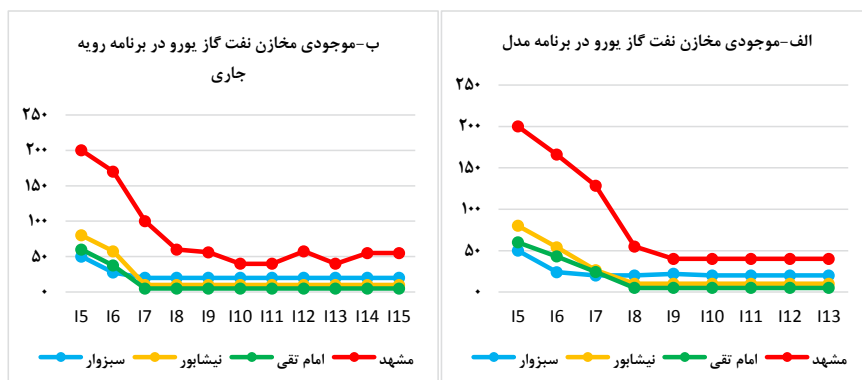
شکل ۱۲: برنامه ریزی رویه جاری برای انتقال فرآورده های نفتی مسئله ۲



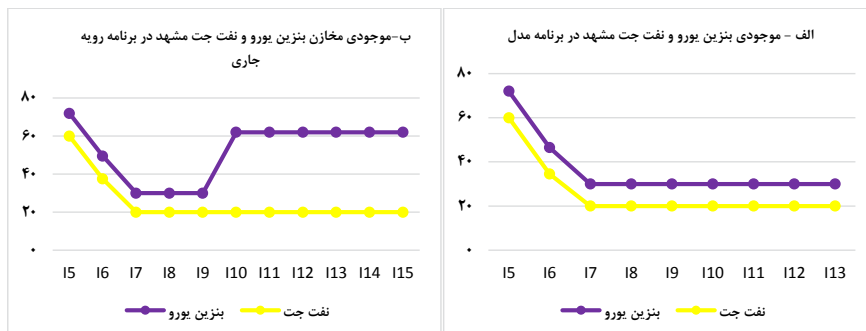
شکل ۱۳: مقایسه روند تغییرات سطح موجودی مخازن بنزین مسئله ۲



شکل ۱۴: مقایسه روند تغییرات سطح موجودی مخازن نفت سفید مسئله ۲



شکل ۱۵: مقایسه روند تغییرات سطح موجودی مخازن نفت گاز یورو مسئله ۲



شکل ۱۶: مقایسه روند تغییرات سطح موجودی مخازن بنزین یورو و نفت جت مشهد مسئله ۲

تحلیل حساسیت

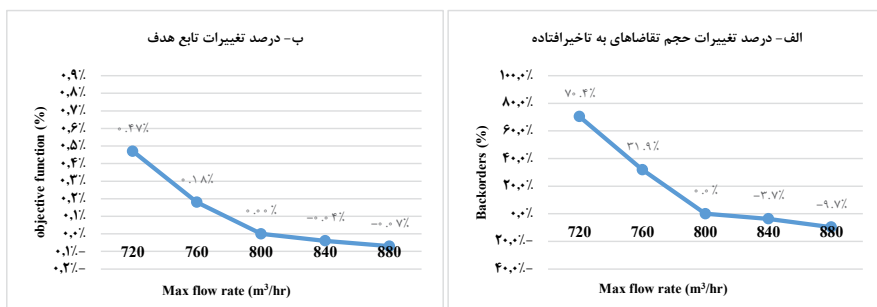
در این بخش، اثر تغییرات برخی پارامترهای سیستم بر نتایج محاسباتی مدل و تحلیل حساسیت آن بررسی می‌شود. نمونه مسئله (۲) را به همین منظور برگزیدیم.

تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات بیشینه نرخ پمپاژ فرآورده

از پارامترهای مهم در عملکرد خط لوله، نرخ تزریق فرآورده به درون خط لوله است که نقش تعیین‌کننده‌ای در شیوه تامین تقاضا دارد. اثر تغییرات پارامتر بیشینه نرخ پمپاژ فرآورده‌های نفتی در محدوده ± 5 و ± 10 بر نتایج برنامه‌ریزی مدل بررسی شد. نتایج اعمال تغییرات یادشده در جدول (۱۴) آمده است. دیده می‌شود که تغییرات بیشینه نرخ پمپاژ با تغییرات حجم تقاضاهای به تاخیر افتاده و تغییرات مقدار هزینه کل عملیات انتقال (تابع هدف) نسبت وارونه دارد. به سخن دیگر، در هر یک از حالات بررسی شده کاهش/افزایش بیشینه نرخ پمپاژ، سبب افزایش/کاهش حجم تقاضاهای به تاخیر افتاده و افزایش/کاهش هزینه کل عملیات انتقال (تابع هدف) شده است. اعداد جدول دلالت بر تاثیر بسیار زیاد پارامتر بیشینه نرخ پمپاژ بر متغیر حجم تقاضاهای به تاخیر افتاده دارد. البته به نظر می‌رسد تاثیر کاهش بیشینه نرخ پمپاژ بر متغیر یادشده بیش‌تر از تاثیر افزایش آن است. حساسیت هزینه کل عملیات (تابع هدف) خیلی کم‌تر از حساسیت حجم تقاضاهای به تاخیر افتاده نسبت به تغییرات بیشینه نرخ پمپاژ است. برای نمونه، کاهش تنها ۵ درصد از اندازه بیشینه نرخ پمپاژ سبب می‌شود حجم تقاضاهای به تاخیر افتاده ۳۱/۹ درصد افزایش یابد و مقدار هزینه کل عملیات (تابع هدف) ۰/۱۸ درصد زیاد شود. بخش الف و ب شکل (۱۷) حساسیت حجم تقاضاهای به تاخیر افتاده و تابع هدف را به تغییرات پارامتر بیشینه نرخ پمپاژ به درون خط لوله نشان می‌دهد.

جدول ۱۴: اثر تغییرات بیشینه نرخ پمپاژ فرآورده بر برنامه‌ریزی مدل

بیشینه نرخ پمپاژ	تغییر نسبت به مقدار پایه	حجم تقاضای به تاخیرافتاده	تغییر تقاضای به تاخیرافتاده	تابع هدف	تغییرات تابع هدف (%)
۸۸۰	+۱۰	۱۲۱۰۰	-۹/۷	۱۰۲۶۷	-۰/۰۷
۸۴۰	+۵	۱۲۹۰۰	-۳/۷	۱۰۲۷۰/۳	-۰/۰۴
۸۰۰	۰	۱۳۴۰۰	۰	۱۰۲۷۴	۰
۷۶۰	-۵	۱۷۶۸۰	+۳۱/۹	۱۰۲۹۲/۸	+۰/۱۸
۷۲۰	-۱۰	۲۲۸۳۰	+۷۰/۴	۱۰۳۲۲/۸	+۰/۴۷



شکل ۱۷: حساسیت حجم تقاضاهای به تاخیرافتاده و تابع هدف نسبت به تغییرات پارامتر بیشینه نرخ پمپاژ

دلیل حساسیت زیاد تقاضاهای به تاخیرافتاده به کاهش بیشینه نرخ پمپاژ قطعاً مرتبط به این موضوع است که هرچه بازه تغییرات بیشینه نرخ پمپاژ را کوچک‌تر کنیم، در واقع شرایط را برای مدل دشوارتر کرده‌ایم، به‌طوری که مجبور خواهیم شد عملیات انتقال فرآورده‌های نفتی را با سرعت کم‌تری برنامه‌ریزی کنیم و در نتیجه کاهش سرعت جابه‌جایی سیال درون خط لوله، رساندن محصولات به مقاصد، و تامین تقاضاهای مصرف آن‌ها از بُعد زمان با تاخیراتی مواجه خواهند شد.

تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات بیشینه حجم بچ فرآورده نفتی

یکی دیگر از پارامترهای اثرگذار بر عملکرد خط لوله، بیشینه حجم فرآورده درون یک بچ است. تغییرات بیشینه حجم بچ تزریق‌شده درون خط لوله را در محدوده ± 5 ، ± 10 و ± 15 بررسی می‌کنیم. نتایج اعمال تغییرات پارامتر یادشده در جدول (۱۵) آمده است. دیده می‌شود که کاهش بیشینه حجم

بع فراورده در هر یک از حالات مورد بررسی، سبب افزایش حجم تقاضاهای به تاخیرافتاده و افزایش هزینه کل عملیات انتقال (تابع هدف) شده، ولی افزایش اندازه پارامتر یادشده هیچ تغییری در حجم تقاضاهای به تاخیرافتاده و هزینه کل عملیات انتقال (تابع هدف) نکرده است.

جدول ۱۵: اثر تغییرات پیشینه حجم بع بر برنامه مدل

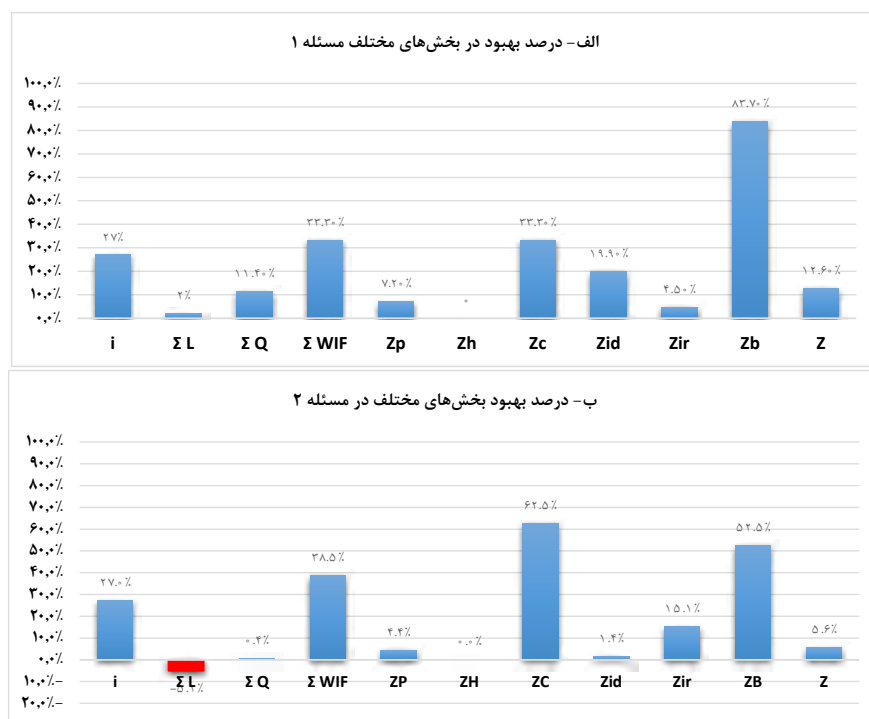
تغییر تابع هدف (%)	تابع هدف	تغییر تقاضای به تاخیرافتاده (%)	حجم تقاضای به تاخیرافتاده (m3)	تغییر نسبت به مقدار پایه (%)	پیشینه حجم بع (m3)
۰	۱۰۲۷۴/۷	۰	۱۳۴۰۰	+۱۵	۶۵۵۵۰
۰	۱۰۲۷۴/۷	۰	۱۳۴۰۰	+۱۰	۶۲۷۰۰
۰	۱۰۲۷۴/۷	۰	۱۳۴۰۰	+۵	۵۹۸۵۰
۰	۱۰۲۷۴/۷	۰	۱۳۴۰۰	۰	۵۷۰۰۰
+۰/۰۶	۱۰۲۸۰/۵	+۱/۹	۱۳۶۵۰	-۵	۵۴۱۵۰
+۰/۳۹	۱۰۳۱۵	+۱/۹	۱۳۶۵۰	-۱۰	۵۱۳۰۰
+۰/۸۳	۱۰۳۶۰	+۱۰/۸	۱۴۸۵۰	-۱۵	۴۸۴۵۰

بحث و نتیجه گیری

برنامه مدل ریاضی با برنامه کارشناسان باتجربه شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران از جوانب مختلف مقایسه گردید. جنبه‌هایی از قبیل تعداد بع‌های تزریقی، کل مدت زمان فعالیت خط لوله، مجموع حجم تزریق شده درون خط لوله، مجموع حجم آلودگی‌های ناشی از تداخلات، هزینه عملیات پمپاژ، هزینه سربار فعالیت در ساعات با تعرفه بالاتر برای مصرف انرژی، هزینه انبارش محصولات در مخازن مراکز پخش، هزینه تاخیرات در تامین تقاضاها بر پایه پنجره زمانی مقرر و کل هزینه عملیات به‌طور سرجمع در هر یک از نمونه مسائل تحلیل شد. درصد بهبود در بخش‌های مختلف یادشده بالا در مسائل (۱) و (۲) به‌ترتیب در بخش‌های الف و ب **شکل (۱۸)** نشان داده شده است. کاملاً مشخص است که بیش‌ترین تاثیر مثبت کاهش مدل در هزینه مربوط به دیرکرد تقاضاهاست. در دو مسئله فوق، کاهش چشمگیر ۸۳/۷ و ۵۲/۵ درصدی در هزینه دیرکرد تامین تقاضاها رخ داده است. در مرتبه دوم می‌توان به توانایی قابل توجه مدل در کاهش هزینه تداخلات و آلودگی‌ها به اندازه ۳۳/۳ و ۶۲/۵ درصد در دو نمونه مسئله اشاره کرد.

از حل دو نمونه مسئله واقعی مطرح‌شده برای خط لوله ۲۰ اینچ چندفرآورده‌ای شاهرود به مشهد و تحلیل نتایج آن‌ها مشخص شد که برنامه مدل ریاضی بهتر از برنامه رویه جاری کارشناسان باتجربه این حوزه بوده است. افق برنامه‌ریزی و زمان‌بندی ۱۰ روزه خط لوله در مسئله یکم به سه دوره زمانی و

در مسئله دوم به چهار دوره زمانی تقسیم شد. بهینگی به‌دست‌آمده در پاسخ نهایی دو مسئله یادشده به‌ترتیب ۱۲/۶ و ۵/۶ درصد است. اگر فرض کنیم با بکارگیری مدل ریاضی مزبور، حداقل بهینگی و حداقل مقدار کاهش در هزینه‌های عملیاتی برای یک بازه زمانی ۱۰ روزه به‌طور متوسط برابر ۹/۱ درصد باشد آنگاه می‌توان با تعمیم این فرض به سایر بازه‌های ۱۰ روزه سال (۳۶ بازه) شاهد کاهش چشمگیری در هزینه‌های عملیاتی خط لوله شاهرود به مشهد در طول سال خواهیم بود. علاوه بر کاهش هزینه‌های عملیاتی خط لوله شاهرود به مشهد، می‌توان به زمان صرف‌شده برای برنامه‌ریزی انتقال اشاره کرد. مدل ریاضی با دریافت داده‌های ضروری و اولیه مسئله، برنامه‌ریزی انتقال را در کوتاه‌ترین زمان ممکن و بدون هیچ خطا و اشتباه محاسباتی تنظیم و تولید می‌کند و ریسک‌های عملیاتی ناشی از خطای انسانی افراد برنامه‌ریز را کاهش می‌دهد. در حالی که مطابق رویه جاری نیروی انسانی به‌مراتب به زمان بیش‌تری نیاز دارد و با ریسک خطای انسانی زمان‌بندی عملیاتی برنامه انتقال را تدوین و استخراج می‌کند.



شکل ۱۸: میزان بهبود بخش‌های مختلف در دو نمونه مسئله

بیش‌ترین حجم مطالعات بررسی‌شده مربوط به خطوط لوله تک‌منبعی بود و به نظر می‌رسد خطوط لوله چندمنبعی به سبب پیچیدگی ساختاری خط لوله و در نتیجه مدل‌های پیچیده‌تر، کم‌تر مورد توجه بوده‌اند و نویسندگان به عنوان یکی از پیشنهاد‌های آینده، بررسی مدل‌های پیچیده‌تر را مطرح کرده‌اند. بیش‌تر مدل‌های برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی بکاررفته با تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی، توصیف و حل شده‌اند که از عمده این روش‌ها می‌توان به MILP و MINLP اشاره کرد. این مدل‌ها با دو روش دقیق شاخه و کران (B&B) یا شاخه و برش (B&C) یا به روش‌های ابتکاری و فرا-ابتکاری حل شده‌اند. روش‌های حل دقیق بیش‌تر در پی پاسخ بهینه هستند که اگر باشد، زمان‌بر است. در حالی که روش‌های ابتکاری و فرا-ابتکاری، بهینگی پاسخ را تضمین نمی‌کنند، اما پاسخ شدنی را در زمان قابل قبول می‌دهند. در مواردی که مسئله، بزرگ و پیچیده است، تکنیک‌های تجزیه مورد اقبال بوده‌اند. در این گونه مسائل، مسئله اصلی به چند زیرمسئله تجزیه شده و از حل این زیرمسائل پاسخ نهایی به‌دست آمده است. این تکنیک‌ها گاهی از هر دو روش دقیق و تقریبی (ابتکاری و فرا-ابتکاری) برای حل مسئله بهره برده‌اند. با دقت در تکنیک‌های حل، رویکرد زمان پیوسته بیش‌تر در مطالعات دیده می‌شود. اگر نرخ جریان در خط لوله متغیر باشد، حالت زمان پیوسته به نظر مناسب‌تر است و در مقایسه با حالت زمان گسسته از تعداد متغیرهای دودویی کم‌تری در مدل استفاده می‌کند.

مطالعات سال‌های اخیر بیش‌تر بر مدل‌سازی‌های دقیق‌تر مبتنی بر شرایط عملیاتی و محدودیت‌های تکنیکی مسئله تمرکز داشته و کوشیده‌اند که مدل را به شرایط واقعی نزدیک‌تر کنند تا پاسخ بهینه‌تر باشد. اما در هیچ یک از آن‌ها برای یک مسئله جهان واقعی، میان عملکرد مدل ریاضی ارائه‌شده و عملکرد شرکت‌های مالک خطوط لوله چندفرآورده‌ای مقایسه‌ای نشده است. جالب است بدانیم که یافته‌ها و برنامه‌های به‌دست‌آمده از خروجی مدل ریاضی مسئله، که در قالب برنامه عملیاتی است، چقدر با تصمیم‌ها و برنامه‌ریزی عملیاتی کارشناسان و سرپرست‌های باتجربه شرکت‌های خطوط لوله انتقال فرآورده‌های نفتی متفاوت خواهد بود که همواره و روزانه این کار را انجام می‌دهند. با ارزیابی و بررسی دقیق بر پایه شرایط یکسان از مسئله مربوط به یک خط لوله واقعی و مقایسه نتایج هر دو روش (حل مدل ریاضی و حل دستی کارشناسان باتجربه) می‌توان به امکان‌سنجی و برآوردهایی از اندازه بهینه‌سازی بالقوه در فرایند تصمیم‌گیری‌های عملیاتی و تدوین برنامه زمان‌بندی عملیاتی خطوط لوله دست یافت، به گونه‌ای که ظرفیت‌های نوینی در بهینگی عملیات انتقال فرآورده‌های نفتی در دو حوزه زمان انتقال یا حجم انتقال پدید آید. بدین معنا که برای تامین حجمی مشخص از انواع تقاضاها، مدل ریاضی سبب بهینگی در قالب کاهش مدت زمان عملیات انتقال یا کاهش حجم کل فرآورده نفتی

جابه‌جاشده درون خط لوله می‌شود که در پایان، این بهینه‌سازی‌ها خود را به شکل کاهش هزینه‌های عملیاتی خط لوله نشان می‌دهد.

نظر به مطالب بالا یکی از خطوط لوله چندفرآورده‌ای ایران به عنوان مورد مطالعاتی برگزیده شد و مطابق با شرایط عملیاتی آن، مدلی ریاضی معرفی شد تا به کمک آن برای انتقال فرآورده‌های نفتی، که از راه آن جابه‌جا می‌شوند و به دست مصرف‌کنندگان در طول مسیر می‌رسند، یک برنامه عملیاتی اجرایی، تنظیم و شبیه‌سازی شود و خروجی آن با برنامه عملیاتی محقق در دنیای واقعی مقایسه شود. در نتیجه، تحلیل‌هایی در زمینه چگونگی کاهش هزینه‌ها در حوزه‌های گوناگون، هزینه پمپاژ، هزینه تداخلات و آلودگی‌ها، هزینه انبارش و نگهداشت فرآورده‌های نفتی در مخازن مراکز پخش و پالایشگاه، هزینه دیرکرد تامین تقاضاها در پنجره‌های زمانی و هزینه فعالیت خط لوله در ساعات اوج مصرف انرژی ارائه شد.

زمینه‌های پژوهشی بالقوه‌ای در ادامه این کار می‌تواند بررسی شود. برای نمونه، در این پژوهش فرض شده که طی افق برنامه‌ریزی، مقدار تقاضا از پیش مشخص و تغییرناپذیر است. بنابراین، یکی از گسترش‌های بالقوه این پژوهش، ساخت مدل‌های ریاضی با در نظرگیری احتمال تغییرات تقاضا در طول افق برنامه است. یکی از مفروضات اصلی این پژوهش، نوع عملیات تحویل کامل فرآورده‌های نفتی است. اگر این فرض عملیات تحویل کامل به حالت تحویل جانبی تغییر یابد، به گونه‌ای که عملیات تحویل جانبی به دو یا چند مرکز همزمان انجام شود، قابلیت جدید به مدل افزوده می‌شود که از دید عملیاتی انعطاف بیش‌تری دارد و با شرایط عملیاتی برخی دیگر از خطوط لوله نیز همخوان است.

منابع

- Cafaro, D. C., & Cerdá, J. (2004). Optimal Scheduling of Multiproduct Pipeline Systems Using a Non-Discrete MILP Formulation. *Computers & Chemical Engineering*, 28(10), 2053-2068. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2004.03.010>
- Cafaro, D. C., & Cerdá, J. (2010). Operational Scheduling of Refined Products Pipeline Networks with Simultaneous Batch Injections. *Computers & Chemical Engineering*, 34(10), 1687-1704. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2010.03.005>
- Cafaro, D. C., & Cerdá, J. (2014). Rigorous Formulation for the Scheduling of Reversible-Flow Multiproduct Pipelines. *Computers & Chemical Engineering*, 61(1), 59-76. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2013.10.006>
- Cafaro, V. G., Cafaro, D. C., Méndez, C. A., & Cerdá, J. (2015). Optimization Model for the

- Detailed Scheduling of Multi-Source Pipelines. *Computers & Industrial Engineering*, 88(1), 395-409. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.07.022>
- Castro, P. M., & Mostafaei, H. (2019). Batch-Centric Scheduling Formulation for Treelike Pipeline Systems with Forbidden Product Sequences. *Computers & Chemical Engineering*, 122(1), 2-18. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.04.027>
- Chen, H., Zuo, L., Wu, C., Wang, L., Diao, F., Chen, J., & Huang, Y. (2017). Optimizing Detailed Schedules of a Multiproduct Pipeline by a Monolithic MILP Formulation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 159(1), 148-163. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.09.036>
- Herrán, A., de la Cruz, J. M., & De Andrés, B. (2010). A Mathematical Model for Planning Transportation of Multiple Petroleum Products in a Multi-Pipeline System. *Computers & Chemical Engineering*, 34(3), 401-413. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2009.11.014>
- Herrán, A., de la Cruz, J. M., & De Andrés, B. (2012). Global Search Metaheuristics for Planning Transportation of Multiple Petroleum Products in a Multi-Pipeline System. *Computers & Chemical Engineering*, 37(1), 248-261. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.10.003>
- Magatão, L., Arruda, L. V., & Neves Jr, F. (2004). A Mixed Integer Programming Approach for Scheduling Commodities in a Pipeline. *Computers & Chemical Engineering*, 28(1-2), 171-185. [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(03\)00165-0](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(03)00165-0)
- Magatão, L., Arruda, L. V., & Neves-Jr, F. (2011). A Combined CLP-MILP Approach for Scheduling Commodities in a Pipeline. *Journal of Scheduling*, 14(1), 57-87. <https://doi.org/10.1007/s10951-010-0186-9>
- MirHassani, S., & Ghorbanalizadeh, M. (2008). The Multi-Product Pipeline Scheduling System. *Computers & Mathematics with Applications*, 56(4), 891-897. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2008.01.035>
- MirHassani, S., & Jahromi, H. F. (2011). Scheduling Multi-Product Tree-Structure Pipelines. *Computers & Chemical Engineering*, 35(1), 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2010.03.018>
- Moradi, S., & MirHassani, S. (2015). Transportation Planning for Petroleum Products and Integrated Inventory Management. *Applied Mathematical Modelling*, 39(23-24), 7630-7642. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2015.04.023>
- Mostafaei, H., Castro, P. M., & Ghaffari-Hadigheh, A. (2016). Short-Term Scheduling of Multiple Source Pipelines with Simultaneous Injections and Deliveries. *Computers & Operations Research*, 73(1), 27-42. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.03.006>
- Rejowski Jr, R., & Pinto, J. M. (2003). Scheduling of a Multiproduct Pipeline System. *Computers & Chemical Engineering*, 27(8-9), 1229-1246. [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(03\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(03)00049-8)
- Rejowski Jr, R., & Pinto, J. M. (2004). Efficient MILP Formulations and Valid Cuts for Multiproduct Pipeline Scheduling. *Computers & Chemical Engineering*, 28(8), 1511-1528. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.12.001>
- Sasikumar, M., Prakash, P. R., Patil, S. M., & Ramani, S. (1997). PIPES: A Heuristic Search Model for Pipeline Schedule Generation. *Knowledge-Based Systems*, 10(3), 169-175. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(97\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(97)00026-9)
- Zhang, H., Liang, Y., Liao, Q., Wu, M., & Yan, X. (2017). A Hybrid Computational Approach for Detailed Scheduling of Products in a Pipeline with Multiple Pump Stations. *Energy*, 119(1), 612-628. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.027>

نحوه ارجاع به مقاله:

فرجی، فرهاد؛ علیم‌رادی، مهرداد؛ و فرهنگ مقدم، بابک، و فدایی، مهدی (۱۴۰۱). برنامه‌ریزی بهینه جابه‌جایی فرآورده‌های نفتی از خط لوله با پنجره زمانی تقاضا برای کمینه‌سازی هزینه‌ها. نشریه برنامه‌ریزی و بودجه، ۲۷(۳)، ۱۷۵-۲۲۱.

Faraje, F., Alimoradi, M., Farhang Moghadam, B & Fadaee, M. (2022). Optimal Planning for Transportation of Petroleum Products via Pipe-line According to the Demand Time Window for Minimizing Costs. *Planning and Budgeting*, 27(3), 175-221. DOI: <https://doi.org/10.52547/jpbud.27.3.175>

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Planning and Budgeting. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



این نشریه مقاله‌هایی را در فرآیند داوری قرار می‌دهد که:

- ارزش علمی - پژوهشی داشته باشد؛
- در جهت اهداف و در قالب موضوع‌های تعیین شده برای نشریه باشد؛
- حاصل مطالعه، تجربه و پژوهش‌های دست اول نویسنده باشد؛
- مقاله‌ها قبلاً در نشریه دیگری چاپ نشده باشد یا برای انتشار آن اقدام همزمان انجام نگرفته باشد؛

ساختار کلی نشریه

بدنه اصلی مقاله باید شامل چکیده، کلیدواژه، طبقه‌بندی JEL، مقدمه، مبانی نظری و پیشینه پژوهش، روش پژوهش، تجزیه و تحلیل یافته‌ها، نتیجه‌گیری و پیشنهادها و منابع باشد.

شیوه‌استاد به صورت درون متنی به سبک استناددهی انجمن روانشناسان آمریکا (APA) باشد.

فهرست منابع نیز به صورت الفبایی، بر اساس سبک انجمن روانشناسان آمریکا در انتهای مقاله به صورت یکسان و مطابق روش زیر تنظیم شده باشد:

- **برای کتاب:** نام خانوادگی، نام کوچک نویسنده (سال نشر). عنوان کتاب (ایتالیک)، احتمالاً نام و نام خانوادگی مترجم یا مترجمان، محل نشر: نام ناشر.
- **برای نشریه:** نام خانوادگی نویسنده، نام کوچک (سال نشر). عنوان مقاله، احتمالاً نام و نام خانوادگی مترجم یا مترجمان، نام نشریه (ایتالیک)، دوره (شماره) انتشار، شماره صفحه‌ها.

(برای آگاهی کامل از شیوه استناددهی به سایت، با نشانی <https://www.landmark.edu/library/citation-guides-apa-citation-style-guide/> مراجعه فرمایید.)

- رسم الخط، نقطه‌گذاری و واژه‌های معادل در زبان فارسی بر مبنای مصوبات فرهنگستان زبان و ادب فارسی به نشانی <http://www.persianacademy.ir> است.
- معادل‌های فارسی واژگان، اسامی و همچنین اصطلاح‌های خارجی مهم در متن، با اعداد تک از ۱ شماره‌گذاری و در زیرنویس هر صفحه آورده شود.
- ابتدا منابع فارسی و سپس منابع انگلیسی آورده شوند.
- تمامی منابع از راه نرم‌افزار اندنوت یا دیگر نرم‌افزارهای مشابه رفرنس‌دهی اشاره شوند.

سایر نکته‌ها

- هر مقاله از حدود ۲۵ صفحه کاغذ قطع وزیری (۱۷*۲۳) حروف‌نگاری شده تجاوز نکند؛
- مقاله حاوی چکیده فارسی و انگلیسی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ کلمه باشد؛
- کلیدواژه‌ها (دست کم ۵ تا ۷ واژه) پس از چکیده درج شود؛
- طبقه‌بندی JEL (الزاماً ۳ کد) بعد از کلیدواژه‌ها درج شود؛
- متن مقاله‌ها با نرم‌افزار Word 2013 یا Word 2010 و فونت B Nazanin ۱۱/۵ و واژه‌های انگلیسی با قلم Time New Roman 10 نوشته شود و فایل مقاله از طریق وبسایت نشریه ارسال شود؛
- عنوان جدول‌ها در بالا و عنوان شکل‌ها و نمودارها در پایین آنها و شماره جدول‌ها و شکل‌ها و نمودارها در عنوان آنها با رقم و بدون نگارش واژه «شماره» درج شود. [مانند: جدول ۲. توزیع فراوانی...] اعداد داخل جداول به فارسی نوشته شود.
- اعداد و نوشته‌های داخل جدول حتماً باید به صورت فارسی نوشته شود بجای نقطه در اعداد فارسی باید ممیز (/) گذاشته شود.
- فرمول‌ها چین و با شماره مشخص می‌شوند. شماره فرمول‌ها نیز با رقم و بدون نگارش واژه «شماره» درج شود. مانند: (۴) عدد روبروی فرمول باشد.
- تمام صفحه‌ها از صفحه عنوان تا پایان آن، شماره‌گذاری شوند. شماره‌گذاری از یک شروع و به ترتیب ادامه یابد.
- زیر نام نویسنده یا نویسندگان، مرتبه علمی دانشگاهی، محل اشتغال، نشانی کامل، شماره تلفن، دورنگار و نشانی پست الکترونیکی درج و نویسنده مسؤول مکاتبات مشخص گردد.

- نویسندگان باید از صحت مقاله ارسال شده به فصل نامه اطمینان کامل کسب کنند. چرا که تا مراحل اولیه داوری امکان تصحیح مقاله برای آنان وجود ندارد.
- نویسندگان موظف هستند تا تنها اصلاحات مورد نظر داور را به درستی انجام دهند. تغییر در مقاله اعم از اضافه یا کم نمودن هر بخشی از مقاله، که بدون نظر داور انجام شده باشد، تقلب محسوب شده و سریعاً از فرایند فصل نامه حذف خواهد شد و تمام عواقب ناشی از آن بر عهدهٔ تک‌تک نویسندگان خواهد بود.

بررسی مقاله‌ها

مقاله‌های دریافت شده نخست توسط دبیرخانه نشریه مورد بررسی قرار می‌گیرد و پس از طرح در جلسه هیأت تحریریه، در صورتی که با ختم‌شی نشریه تطابق داشته باشد به منظور ارزیابی برای سه نفر از داوران صاحب‌نظر ارسال خواهد شد. داوران از سوی اعضای هیأت تحریریه برای هر مقاله انتخاب می‌شود. مقاله‌ها ابتدا به ترتیب تاریخ دریافت و سپس به ترتیب دریافت نظر مثبت داوران منتشر می‌شود. پس از دریافت مقاله، تغییرات در ترتیب و مشخصات نویسندگان مقاله به هیچ وجه اعمال نخواهد شد. در صورت هرگونه تغییر مقاله باید با اطلاعات جدید نویسندگان مجدداً برای نشریه ارسال شود. اصل مقاله‌های ارسالی در آرشیو مجله نگهداری می‌شود و مسترد نخواهد شد. در صورت انصراف نویسندگان از چاپ مقاله در نشریه این امر حاکم‌تر به مدت دو هفته پس از ارسال مقاله با نامه کتبی انصراف به نام سردبیر و به امضای کلیه نویسندگان قابل اجرا است.

Optimal Planning for Transportation of Petroleum Products via Pipe-line According to the Demand Time Window for Minimizing Costs

Farhad Faraje¹

Mehrdad Alimoradi²

Babak Farhang Moghaddam³

Mahdi Fadaee⁴

| m.alimoradi@imps.ac.ir

| farhang@imps.ac.ir

| m.fadaee@imps.ac.ir

Received: 10/09/2022 | Accepted: 28/11/2022

Abstract The use of pipelines is the most effective and safest method of transporting large-scale petroleum products from the refinery to the storage and distribution centers. Efficient and optimal planning in multi-product pipelines is important from economic, social, and strategic points of view. In this paper, a Mixed Integer Linear Programming (MILP) model with a continuous time framework is presented to determine not only the batches' optimal injection and volume, but also their sequence and timing. The goal is to minimize the costs of pumping, storage, mixing, and delayed demands regarding all operational constraints in the problem. This paper investigates the planning of transportation of petroleum products via a one-direction multi-product pipeline with an injection source at the origin and several distribution centers along the way. The supposition of this problem regards a multi-period planning horizon with a time window for the total demands of the distribution centers, which must be provided until the end of the program horizon. The case study is a pipeline with a length of 457 km that delivers 6 petroleum products to 4 distribution centers. Two examples of the mentioned case study are presented to demonstrate the advantages of using the Mixed Integer Linear Programming model. The evaluation and validation of the plan is confirmed by comparing it with the operational plan realized in Iran Oil Pipelines and Telecommunications Company. The results imply a significant improvement in pipeline scheduling and cost reduction by applying the mathematical model.

Keywords: Multiproduct Pipelines, Optimal Scheduling, Transportation of Petroleum Products, Mixed Integer Linear Programming (MILP), Demand Time Window.

JEL Classification: C02, C41, C44, C61, C63.

1. M.A. Student of Industrial Engineering, Macroeconomic Social Systems, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

2. Faculty Member (Lecturer), Department of Systems Planning and Economic Sciences, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran. (Corresponding Author).

3. Associate Professor, Department of Systems Planning and Economic Sciences, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Systems Planning and Economic Sciences, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

Application of Incentive-Compatible Mechanisms Design Theory (Self-adjusting, Effective/Efficient Mechanisms) in the Seventh National Development Planning

Omidali Parsa¹

| o.paras@impa.ac.ir

Gholamreza Askari²

| g.askari@impa.ac.ir

Ebrahim Pazoukinejad³

Received: 06/08/2022 | Accepted: 17/01/2023

Abstract One of the obvious disadvantages and weaknesses of Iran's national five-year development plans in achieving its goals is the lack or severe weakness of structures, institutions, and self-adjusting, effective/efficient motivational mechanisms (incentive compatibility) for decentralized agents. The mechanism design theory was proposed to solve this important issue and directly consider the internal economic motivations of agents in policies and development plans and has been widely used in recent decades. Mechanism design can be viewed as the art of designing the rules of a game to achieve a social desired outcome. In order to use mechanism design in planning and policy, first the socially desirable outcomes are determined by policymakers and central planners; then, the rules of the game are determined and guaranteed to create sufficient incentives for agents to perform actions and activities in line with the aforementioned goals or outcomes. In such an incentive-compatible environment, the decentralized agents "act almost as desired by the policymakers and planners", and in this way, the individual goals of the actors and the social goals of the policymakers and planners are simultaneously realized, and so are the objectives of development plans. Our results show that as long as the macro policies, goals, laws, and regulations desired by policymakers and central planners are not supported by the design and establishment of a self-adjusting, effective/efficient motivational mechanism for decentralized agents, there would be no guarantee for their proper implementation. Thus, the design, implementation, and practical use of this modern theory are of great necessity in the seventh development plan.

Keywords: Development Plans, Comprehensive Planning, Mechanism Design, Private Information, Incompleteness and Asymmetry of information, Agents, Desired Social Outcome.

JEL Classification: H10, O21, C70.

1. Ph.D. of Economics, Islamic Azad University Science and Research Branch, Tehran, Iran (Corresponding Author).

2. Ph.D. of Mathematics, Researcher Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

3. Ph.D. of Mathematics, Researcher Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

Investigating the Reasons for the Difference in Total Factor Productivity Between East and West Asia with Emphasis on Institutions, Human Capital and Relative Backwardness

Saeid Jafari¹

Marziyeh Esfandiari²

Mosayeb Pahlavani³

m.esfandiari@eco.usb.ac.ir

pahlavani@eco.usb.ac.ir

Received: 22/08/2022 | Accepted: 06/12/2022

Abstract The trend of total factor productivity (TFP) and GDP growth per capita in most East Asian countries is upward and in most West Asian countries is downward or fluctuating. In this regard, this study seeks to investigate the reasons for the difference in TFP and consequently economic growth in East and West Asia. This study specifically analyzes the role of human capital, institutional factors, and relative backwardness in the productivity differences between East and West Asian countries for the period 2000-2019. The importance of this issue is that the main economic growth of countries occurs through the channel of total factor productivity and the study of factors affecting productivity can reveal the reasons for the growth of East Asian countries and the backwardness of West Asian countries. In this study, by forming two separate groups from East and West Asia, the model is estimated using the static GMM and the results for these two groups of countries are compared. The findings indicate that human capital, institutional factors, and distance to the technology frontier (DTF) are the most important reasons for the difference in productivity in East and West Asia. In most cases, human capital in East Asian countries has a positive effect on total factor productivity, while in West Asian countries it has no effect. The findings also show that institutional indicators in most cases in East Asian countries increase total factor productivity, while in West Asian countries do not have a significant effect on total factor productivity. A greater distance from the technology frontier (more relative backwardness) in West Asian countries than in East Asian countries leads to a further reduction in total factor productivity.

Keywords: Total Factor Productivity, East and West Asia, Human Capital, Institutional Factors, Distance to Technology Frontier (DTF).

JEL Classification: Q40, Q47, Q49.

1. Ph.D. in Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

2. Associate Professor, Department of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran, (Corresponding Author).

3. Associate Professor, Department of Econometrics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

Selecting the Government Financial Rule for Reducing the Negative Effects of the Oil Sanctions on the Selected Macroeconomic Variables in Iran: Adopting the Stock-Flow Consistent Model

MohammadAli Maghsoudpour¹ | maghsoudpour@uk.ac.ir

Mostafa Salimifar² | mostafa@um.ac.ir

Narges Salehnia³ | n.salehnia@um.ac.ir

Received: 27/08/2022 | Accepted: 17/12/2022

Abstract Financial rules can prevent budget fluctuations by regularizing the financial relations of the public sector. This research analyzes four financial rules in the framework of the Stock-Flow Consistent model. These rules are government spending as a constant ratio of GDP, government budget deficit as a constant ratio of GDP, government debt as a constant ratio of GDP, and a balanced budget. The simulation results of the research model for 50 years (2011-2061) show that the choice of financial rule can differ depending on the government's goals, the desired time horizon, and the economic conditions. Among the examined rules, government spending as a fixed ratio of GDP is optimal in the condition of oil sanctions, since it reduces the negative effects of oil sanctions on the selected macroeconomic variables of the model. Considering the importance of choosing a financial rule in accordance with changing economic conditions, such as an oil sanction, it is suggested that the rules should be designed considering the requirements of the country's economy and the goals of the policymaker, and get revised with changes in economic conditions or changes in the priority of goals.

Keywords: Oil Sanction, Financial Rules, Government Budget Deficit, Balance Sheet Matrix, Transaction Matrix, Stock-Flow Consistent Model.

JEL Classification: E27, E6, G38, H3.

1. PhD student of Economics, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. Professor, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding Author).

3. Associate Professor, Faculty of Economic and Administrative Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Comparative Study of Phillips Curve under Dual-stickiness Model Considering Heterogeneity in Iran's Economy

Maryam Hematy¹

| m.hemmati@mbri.ac.ir

Received: 18/10/2022 | Accepted: 06/12/2022

Abstract The trade-off between inflation and the output gap is different under each of the specifications of the Phillips curve, and therefore the optimal monetary policy will be different based on the assumption of each of these specifications. Considering the importance of the issue, and in order to identify the Phillips curve compatible with the stylized facts in the Iranian economy, by implementing the framework of the Dynamic Stochastic General Equilibrium (DSGE) model and Bayesian analysis, a wide range of pricing models including sticky information, Dual-stickiness, generalized Calvo, multi-sector and hybrid models have been compared and evaluated. To compare different pricing models in this study, four criteria have been applied: comparing the posterior probability of the models, comparing the moments of the simulated data of the model with real data, comparing the autocorrelation of the real inflation rate with the median of the posterior distribution of each of the models, and examining the impulse response functions. According to the results, the Phillips curve under Dual Stickiness is more consistent and compatible with the stylized facts in Iran's economy, compared with other Phillips specifications. In specifying the Phillips curve under Dual Stickiness, in addition to the expected inflation component, the lag of inflation also appears endogenous (due to the simultaneous assumption of two types of price and information stickiness).

Keywords: Phillips Curve, Pricing Model, Dynamic Stochastic General Equilibrium Model, Dual-stickiness Model, Bayesian Estimation.

JEL Classification: E31, E37, C53, D84.

1. Assistant Professor, Monetary and Currency Department, Monetary and Banking Research Institute. Tehran. Iran

Dependence Structure of Yuan and Euro Before and After Yuan Joined SDR Basket: Copula Time-varying Approach

Nasser Khiabani¹
Shadi Bozorg²

naser.khiabani@atu.ac.ir

Received: 12/06/2022 | Accepted: 29/11/2022

Abstract This paper examines the dependence structure between two currencies (Yuan and Euro) before and after Yuan joins the SDR basket. To this end, we propose SJC copula Time-varying approach for the daily closing price of these currencies for the period 2005-2020. According to the evidence, the behavior of Chinese monetary authorities in response to Euro - Dollar has changed. In the first period, exchange rates are more correlated when they are depreciating against dollar compared to when they are appreciating. This means that the Chinese monetary authorities' priority has been to maintain a competitive advantage in world trade and thus to intervene to depreciate yuan as euro depreciates against dollar. In the second period, with the internationalization of yuan, China's strategy changed and reacted more drastically to the appreciation of Euro against dollar; PBOC intervenes to appreciate Yuan, stabilizing its currency price. In this case, by supporting investors, it encourages them to maintain and even increase the Yuan share in their portfolio.

Keywords: Dependence Structure, Copula, Tail Dependence, SDR Basket, Yuan.

JEL Classification: F3, G1, F31.

1. Associate Professor, Department of Economics Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran, (Corresponding Author).

2. Ph.D. Student of Economics , Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

M, Fadaee, Ph.D.
Gh, Farjadi, Ph.D.
A.Ghoharpour, Ph.D.
M, Hadiyan, Ph.D.
A. Jalali-Naini, Ph.D.
Sh, Mohamadi, Ph.D.
Sh, Sahafi
Sh. Seighalani
M. Torabe, Ph.D.

Abstracts Translator:
Ali Rostamiaan

Editor:
Seyed Hossein Chabok

Designer:
Saeed Zeraati

Table of Contents

- | | |
|--|------------|
| <p>■ Dependence Structure of Yuan and Euro Before and After Yuan Joined SDR Basket: Copula Time-varying Approach
Nasser Khiabani and Shadi Bozorg</p> | <p>3</p> |
| <p>■ Comparative Study of Phillips Curve under Dual-stickiness Model Considering Heterogeneity in Iran's Economy
Maryam Hematy</p> | <p>27</p> |
| <p>■ Selecting the Government Financial Rule for Reducing the Negative Effects of the Oil Sanctions on the Selected Macroeconomic Variables in Iran: Adopting the Stock-Flow Consistent Model
MohammadAli Maghsoudpour, Mostafa Salimifar and Narges Salehnia</p> | <p>75</p> |
| <p>■ Investigating the Reasons for the Difference in Total Factor Productivity Between East and West Asia with Emphasis on Institutions, Human Capital and Relative Backwardness
Saeid Jafari, Marziyeh Esfandiari and Mosayeb Pahlavani</p> | <p>109</p> |
| <p>■ Application of Incentive-Compatible Mechanisms Design Theory (Self-adjusting, Effective/Efficient Mechanisms) in the Seventh National Development Planning
Omidali Parsa, Gholamreza Askari and Ebrahim Pazoukinejad</p> | <p>141</p> |
| <p>■ Optimal Planning for Transportation of Petroleum Products via Pipe-line According to the Demand Time Window for Minimizing Costs
Farhad Faraje, Mehrdad Alimoradi, Babak Farhang Moghaddam and Mahdi Fadaee</p> | <p>175</p> |

Editorial Board in Alphabetical Order

Rahi Abouk

Associate Professor, Department of Economics, Finance and Global Business, William Paterson University (New Jersey)

Ali Dadpay

Associate Professor of Finance Gupta College of Business, University of Dallas

Gholamali Farjadi

Emeritus, Professor, Department of Economics, Institute for Management and Planning Studies (Iran)

Ahmad Reza Jalali-Naini

Professor, Department of Economics, Institute for Management and Planning Studies (Iran)

Reza Kheirandish

Professor of Economics and Chair Department of Accounting, Economics, and Finance College of Business, Clayton State University

Naser Khiabani

Associate Professor, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University (Iran)

Amir Houshang Mehryar

Emeritus, Institute for Management and Planning Studies (Iran)

Ahmad Mojtahed

Professor, Faculty of Economics Allameh Tabataba'i University (Iran)

Masoud Nili

Associate Professor, Faculty of Management and Economics, Sharif University of Technology (Iran)

Abbas Shakeri

Professor, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University (Iran)

Jafar Sadjadi

Professor, Faculty of Industrial Engineering (SIE), Iran University of Science & Technology (Iran)

Sixth Floor, No. 5, Mokhtar Asgari St., Jamal-Abad St., Bahonar Sq. (Niavaran), Tehran, Iran
Postal Code: 1978911114 Tele: (+98-21) 26116904, Fax: (+98-21) 26116972

Based on the letter issued by Iranian Ministry of Science, Research and Technology (ref. number 159109, dated Nov. 8, 2011), Journal of Budgeting and Planning is graded as a Scholarly-Scientific journal as of its issue number 112; thereupon, publishing articles would be influential in promoting the scientific degree of the faculty members of the universities and educational and research institutes.

The opinions expressed by authors in this Journal should not necessarily be considered as reflecting the views of the Journal of Planning & Budgeting



Institute for Management and
Planning Studies

Managing Director:

Adel Azar, Ph.D.

Editor-in-Chief:

Ahmad Reza Jalali-Naini, Ph.D.

Deputy Editor:

Mehdi Fadaee, Ph.D.

Executive Director:

Mitra Oliyai

Institute for Management
and Planning Studies
Website

<http://www.imps.ac.ir>

Journal Website:

<http://www.jpbud.ir>

Email: info@jpbud.ir

ISSN: 2251-9092

eISSN: 2251-9106