New Economy and Trade, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Quarterly Journal, Vol. 18, No. 2, Summer 2023, 27-47
Doi: 10.30465/jnet.2023.44315.1999

Investigating the effects of membership in the Shanghai Cooperation Organization on the possibility of creating commercial links in the trade network of Post-Soviet countries;

Random Graph Model (ERGM) approach

Saleh Taheri[*], Mostafa Karimzadeh[**]
Ahmad Seifi[***], Saeed Malek Sadati[****]

Abstract

In recent years, many researchers have been interested in studying trade as a network. This is possible based on graph concept and using interconnected trade data. Despite sharing a common origin, the post-soviet countries have taken different commercial routes due to different political, geographic, economic, and cultural factors. In this study, we identify the structural model of the Post-Soviet country network and use it to examine the effects of Shanghai Cooperation Organization membership on trade relations. In this regard, the Exponential Random Graph Model (ERGM) is used to estimate parameters related to network and non-network configurations and attributes.

Based on the results, the ERGM model of the trade network of the Post-Soviet countries in different time periods (2019, 2017 and 2021) has the same network structure and the conventional configurations of the network are among the basic

* PhD Student of Economics, Ferdowsi University, s.taheri@mail.um.ac.ir
** Assistant Professor of Department of Economics, Ferdowsi University (Corresponding Author), m.karimzadeh@um.ac.ir
*** Associate Professor of Department of Economics, Ferdowsi University, spring05@um.ac.ir
**** Assistant Professor of Department of Economics, Ferdowsi University, msadati@um.ac.ir
Date received: 2023/01/19, Date of acceptance: 2023/06/17

Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

elements of the model. In addition, the variables including the characteristics Specific to node and edge have also improved the explanatory performance of the model, and membership in the Shanghai Cooperation Organization is an inhibiting factor in creating business links in the network. However, network trade studies recommend that membership effects in RTAs should be considered from different aspects as this membership have direct and indirect effects.

Keywords: Shanghai Cooperation Organization, Network Trade, Exponential Random Graph Model, Post-Soviet Countries.

JEL Classification: F02, F15, C63.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال ۱۸، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲

بررسی اثرات عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای بر امکان‌پذیری ایجاد پیوند تجاری در شبکهٔ تجاری کشورهای پساشوروی؛

رهیافت مدل گراف تصادفی (ERGM)

صالح طاهری*

مصطفی کریم‌زاده**، **احمد سیفی*****، **سعید ملک‌السادات******

چکیده

امروزه بررسی تجارت بصورت شبکه‌ای، علاقه بسیاری از محققین را بخود جلب نموده است. این امر مبتنی بر مفهوم گراف و با بکارگیری ابزار گوناگون و استفاده از داده‌های تجاری گروهی از کشورهای به‌هم مرتبط در قالب یک شبکه امکانپذیر شده است.

کشورهای پساشوروی بعنوان گروهی از کشورها ، هرچند با خاستگاه مشترک، اما با جنبههای متفاوت سیاسی، جغرافیایی، اقتصادی و فرهنگی ، مسیرهای تجاری گوناگونی را در پیش گرفته‌اند. هدف این مطالعه شناسایی مدل ساختاری شبکه کشورهای پساشوروی و به‌کارگیری آن در جهت بررسی اثرات عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای (Shanghai Cooperation Organization) بر ایجاد پیوند تجاری است. در این راستا از مدل

* دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، s.taheri@mail.um.ac.ir
** استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسندهٔ مسئول)، m.karimzadeh@um.ac.ir
*** دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، spring05@um.ac.ir
**** استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد، msadati@um.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۷

Copyright © 2018, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

گراف تصادفی نمایی (Exponential Random Graph Model, ERGM) برای تخمین پارامترهای مرتبط با پیکربندی‌ها (*Configurations*) و ویژگی‌های شبکه‌ای و غیرشبکه‌ای استفاده می‌شود.

براساس نتایج، مدل ERGM شبکه تجاری کشورهای پساشوروی در مقاطع زمانی مختلف (سال‌های ۲۰۱۹،۲۰۱۷ و ۲۰۲۱)ساختار شبکه‌ای یکسانی دارد و پیکربندی‌های متعارف شبکه، جزو عناصر اساسی مدل می باشد.علاوه بر این، متغیرهای دربرگیرنده ویژگی‌های مختص به نود و لبه نیز عملکرد توضیحی مدل را بهبود بخشیده و عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای ، عاملی بازدارنده در ایجاد پیوند تجاری در شبکه است . با این حال، بررسی تجاری در قالب شبکه دربرگیرنده این توصیه است که برآیند اثرات این عضویت مدنظر قرارگیرد چرا که توافقات ترجیحی علاوه بر اثرات مثبت برای اعضا، متضمن اثرات غیرمستقیم متاثر از این عضویت و از طریق سایر روابط تجاری است.

کلیدواژه‌ها: سازمان همکاری‌های شانگهای ،شبکه تجاری،کشورهای پساشوروی، گراف‌های تصادفی نمایی

طبقه‌بندی JEL: F02, F15, C63.

۱. مقدمه

پس از فروپاشی اتحاد جماهیر شوروی، جمهوری‌های شوروی سابق با این چالش مواجه شدند که استقلال خود را از طریق ایجاد ترتیبات نهادی بین‌المللی مناسب با ویژگی‌های سیاسی (امنیتی) و اقتصادی تضمین کنند. در واقع، آنها باید مشکل بسیار دشوار ادغام در ساختارهای سیاسی و اقتصادی بین المللی را حل می کردند. برای حل این مشکل، آنها نیاز به درک کاملاً روشنی از منافع اقتصادی و سیاسی ملی در چشم انداز بلندمدت داشتند. واضح است که هر ترتیب موفق منطقه‌ای (در صورت مساوی بودن سایر شرایط) به شدت به انتخاب مناسب متحدان بستگی دارد. به نظر می‌رسد کشورهای پساشوروی (۱۵ کشور مستقل که در دسامبر ۱۹۹۱ از اتحاد جماهیر شوروی سوسیالیستی پس‌از فروپاشی، خارج شدند. هم‌چنین روسیه به عنوان کشور جایگزین اتحاد شوروی شناخته شد. چهارده کشور دیگر عبارتند از: استونی، لتونی و لیتوانی(کشورهای بالتیک)، بلاروس، مولداوی و اوکراین (اروپای مرکزی شرقی)، ارمنستان، آذربایجان و گرجستان(قفقاز جنوبی) ، قزاقستان، قرقیزستان، تاجیکستان، ترکمنستان و ازبکستان(آسیای مرکزی))هرچند بنابر اقتضائات گوناگون ترتیبات

منطقه‌ای متفاوتی را انتخاب می‌نمایند اما همگی ارتقای روابط تجاری را بعنوان یک رکن اساسی الحاق به این اتحادیه‌ها قلمداد می‌نمایند.

سازمان همکاری‌های شانگهای یکی از ترتیبات مورد توجه برخی از کشورهای این منطقه است. این تشکل یک سازمانی اوراسیایی میان‌دولتی است که برای همکاری‌های چندجانبه امنیتی، اقتصادی و سیاسی تشکیل شده‌است. این سازمان در سال ۱۹۹۶ توسط رهبران چین، روسیه، قزاقستان، قرقیزستان و تاجیکستان با هدف برقرار کردن موازنه در برابر نفوذ آمریکا و ناتو در منطقه، پایه‌گذاری شد. اندکی بعد، ازبکستان هم به این سازمان پیوست و این سازمان رسماً به «سازمان همکاری شانگهای» تغییر نام داد. علاوه بر اعضای اصلی، ابتدا مغولستان در سال ۲۰۰۴ و یک سال بعد ایران، پاکستان، هند و افغانستان در سال ۲۰۰۵ و پس از آن بلاروس به عنوان عضو ناظر به سازمان ملحق شدند. در تاریخ ۱۰ ژوئیه ۲۰۱۵ این سازمان با عضویت هندوستان و پاکستان موافقت نمود و این دو کشور در کمتر از دو سال، همه شرایط برای عضویت کامل این سازمان را اجرا کردند و عضویت این دو کشور در سازمان همکاری شانگهای در اجلاس رهبران کشورهای عضو این سازمان که در ژوئیه ۲۰۱۷ در آستانه، پایتخت قزاقستان، برگزار شد، به تصویب رسید.از تحولات اخیر این سازمان می‌توان به موافقت با عضویت ایران در تاریخ ۱۷ سپتامبر ۲۰۲۱ اشاره کرد. به نظر می‌رسد عضوگیری این سازمان در سالهای پیش رو مجموعه کشورهای منطقه را بیشتر متاثر سازد . لذا اثرات این الحاق، هم از بعد عضویت و هم از بعد اثرات ناشی از آن بر شبکه کشورهای پساشوروی قابل‌بررسی است.

در مطالعات تجارت بین الملل اغلب مدل جاذبه رکن اصلی بررسی اثرات عضویت در ترتیبات تجاری و اقتصادی است. با این حال در سالهای اخیر بررسی شبکه‌ای تجارت موردتوجه واقع شده است. مزیت این روش مطالعه، بررسی همزمان ساختارهای زیرشبکه‌ای همراه با مولفه‌های اصلی مدل جاذبه است.علاوه بر این، تحولات ساختاری کشورهای پساشوروی پس از استقلال از روسیه، به مطالعات شبکه‌ای وزن بیشتری می‌دهد .

یکی از روشهای آماری که در حال حاضر در مطالعات تجارت بین الملل مورد استقبال قرار گرفته است ،مدل گراف تصادفی نمایی می باشد. هدف از بکارگیری این مدل در تجارت، شناسایی فرآیندهایی است که بر ایجاد پیوند تجاری تاثیر می‌گذارد، بطوریکه محقق متغیرهایی را در مدل می‌گنجاند تا بهترین توضیح را از شبکه مشاهدشده داشته باشد. مطالعه حاضر نیز با استفاده از این تکنیک قصد پاسخگویی به سوالات زیر را دارد:

ساختار اساسی مدل شبکه کشورهای پساشوروی چیست و آیا در مقاطع مختلف زمانی دچار تغییر و تحول شده است؟

آیا تعلق به «کشورهای پساشوروی» می تواند به عنوان یک مزیت جهت ایجاد پیوند تجاری تلقی گردد؟

با الهام از مدل جاذبه جایگاه بزرگی اقتصاد در شبکه مشاهده شده پساشوروی چگونه است؟

و نهایتا تاثیرات عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای بر کشورهای عضو و غیر عضو چگونه تشریح می‌شود ؟

در این مطالعه شرکای هر یک از کشورهای پساشوروی بر اساس حجم دلاری واردات رتبه‌بندی‌شده، سپس ده کشور اول، که بطور متوسط ۷۰٪ کل واردات هر کشور پساشوروی را تشکیل می‌دهد، بعنوان شرکای اصلی و نودها یا گره‌های شبکه تجاری مشاهده شده در مقاطع سالیانه ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ انتخاب می‌شوند. داده‌های تجاری از سایت Trade Map و داده‌های مربوط به ویژگی‌های نود، یعنی GDP ، از سایت بانک جهانی اخذ شد.

برای تعیین ساختار مدل از پیکربندی‌های اساسی مدل ERGM استفاده شد(جدول۱). ضمن آن‌که ویژگی‌های نود، لبه و شبکه در راستای بهبودمدل، به آن اضافه شد. با دستیابی به مدل اساسی تاثیر عضویت بعنوان یک ویژگی نود مورد بررسی قرار می‌گیرد. قسمت تجزیه و تحلیل، تفسیری از خروجی مدل‌های مورد نظر ارائه داده و بر مبنای آنها پیشنهاداتی طرح می‌گردد.

۲.پیشینهٔ پژوهش

۱.۲ مطالعات با محوریت مطالعات شبکه‌ای

بیش‌تر تحقیقات در مورد عوامل تعیین کننده تجارت دوجانبه بر اساس برآورد مدل های جاذبه بوده است. در سال‌های اخیر، نویسندگان اهمیت روابط شبکه را در این چارچوب شناسایی کرده‌اند و سعی کرده‌اند خصوصیاتی از شبکه را در این مدل‌ها بگنجانند. بسیاری از این تحقیقات برای شناسایی و گنجاندن انواع روابط شبکه ای بالقوه مهم مانند فاصله، مرزهای مشترک، زبان های مشترک و پیوندهای فرهنگی بوده است. به طور خاص، راوچ (Rauch,۱۹۹۹) شواهد قوی ارائه می دهد که این روابط شبکه ای تأثیر قابل توجهی بر

تجارت دارند. پس از این کار، بسیاری از مقالات بر روی این یافته ها با ارائه تحلیلی عمیق‌تر و اندازه‌گیری های جایگزین برای هر یک از این روابط شبکه، متمرکز شدند. برای مثال، برون و همکاران (Brun et al.,۲۰۰۵) و برتلون و فروند (Berthelon and ,Freund ۲۰۰۸) نقش فاصله جغرافیایی بین کشورها را در شبکه تجاری بررسی می کنند. پژوهشگرانی نیز مانند هاچینسون (Hutchinson۲۰۰۵,)، روشهایی را که بدانوسیله کشورها از طریق شبکه‌های زبانی مشترک ارتباط برقرار می‌کنند، مطالعه می‌کنند. به روشی مشابه، فلبرمایر و توبال (Felbermayr and ۲۰۱۰ Toubal,) تأثیر شبکه های فرهنگی را بر تجارت بررسی می کنند(هرمن،۲۰۲۱).

در هر یک از این مقالات و بسیاری از مقالات دیگر، به مفهوم وابستگی شبکه‌ای آنهم به شکلی محدود، اشاره شده است. هر کدام یک جنبه از روابط شبکه‌ای را در قالب یک شبکه ثانویه از قبیل زبان مشترک یا اثرات گره‌های با سطح بالاتری از مقاومت چند جانبه، توصیف می کند، اما نقش وابستگی های سطح بالاتر در تجارت را بررسی نمی کنند.

تعدادی از مقالات اخیر، شبکه تجارت جهانی را از منظر توپولوژیکی مورد مطالعه قرار داده که به صراحت ویژگی های شبکه را شناسایی می‌کند. آنها جنبه‌های مرسوم گراف شبکه تجارت جهانی، مانند چگالی، خوشه‌بندی و معیارهای مرکزی را شناسایی می‌کنند. دی بندیکتیس و همکاران (De Benedictis ۲۰۱۱ et al.,) معیارهای متمرکزسازی را با هم مقایسه می‌کنند که نشان می دهد گره ها به چه خوبی در بین کشورها یا مناطق مختلف به هم متصل هستند و کشورهایی را که به عنوان "مرکز تجاری" عمل می کنند، مشخص می‌سازند (هرمن، ۲۰۲۱).

درک شکل‌گیری شبکه در درک این سوال که چرا تجارت بین دو کشور رخ می‌دهد، مهم است. تعداد کمی از مقالات به طور مستقیم به این سؤال می پردازند، هرچند که این حوزه در حال گسترش است از جمله مطالعه چینی (Chaney,۲۰۱۴) که در این راستاست.

چینی از یک مدل شبکه برای توصیف رشد در پهنایی گسترده استفاده می‌کند. نویسنده به‌طور خاص تمایل شرکت های صادرکننده در بهره‌گیری از شرکای تجاری حاضر جهت تطبیق با شرکای جدید و دورتر را مورد مطالعه قرار می‌دهد. اگر مشکل تطبیق بدلیل فاصله فزاینده باشد، با بهره‌گیری از شرکای موجود می‌توان موانع را کاهش و فاصله موثر با شرکت‌های جدید را کمتر کرد. چینی با استفاده از داده‌های بنگاه‌های فرانسه، شواهدی از رشد شتابان بنگاه‌هایی که از این موقعیت استفاده می‌کنند، ارائه داد. او مفهوم استفاده از یک شریک برای کمک به پیوند با شریک دیگر را از طریق وجود نوع خاصی از رابطه مثلثی که به عنوان

سه گانه انتقالی شناخته می شود، منعکس کرد. از این رو، نتایج چینی از مدل سازی تجارت دوجانبه با سطوحی بالایی از وابستگی حمایت کرد.

در مطالعات داخلی نیز شیرازی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی جایگاه ایران در تجارت بین‌المللی بر اساس رهیافت شبکه پرداخته اند.در این مطالعه ساختار شبکه جهانی صادرات و واردات کالا برای ۱۸۳ کشور درسالهای ۲۰۰۰-۲۰۱۱ بررسی شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده کلیه شبکه‌های تشکیل شده در همه سالها دارای توزیع پاور و ضریب خوشه‌بندی بالا بوده اند. همچنین شاخص مرکزیت نشان داده که ایران کشوری تاثیرگذار درشبکه تجارت نبوده است. (رفعت، ۱۳۹۷)

هم‌چنین رفعت (۱۳۹۷) با استفاده از ماتریس تجاری و تکنیک تحلیل شبکه و محاسبه شاخص‌های مربوطه به بررسی روابط تجاری ایران با شرکای اصلی آن در آسیا می‌پردازد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد ایران و شرکای تجاری‌اش در آسیا در حال افزایش ارتباطات تجاری با کشورهایی هستند که ساختار تجاری مشابهی با آنها دارند.

۲.۲ مطالعات با محوریت کشورهای پساشوروی

در تشریح شبکه تجاری کشورهای پساشوروی، بنسوا و همکاران (Benesova et al., ۲۰۱۹) به مطالعه ویژگی‌های تجارت دو طرفه ، ساختار ، ماهیت و توسعه کشورهای منتخب در منطقه پساشوروی بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج آنان حاکی از آن است که ساختار تجاری بین کشورهای پساشوروی بشدت تحت تاثیر اقتصاد و بلوغ اقتصاد کلان آنهاست. حاکمیت آنها نه تنها برای روسیه بلکه برای دیگر کشورها نیز مهم است. تلاش بسیاری از این کشورها در جهت تغییر توزیع قدرت از طریق روابط تجاری مطلوب امکانپذیر می‌شود. آنها دریافتند روند رشد در هریک از کشورها هنوز به مرحله نهایی نرسیده است همچنین درجه بازبودن اقتصاد آنها مطلوب نیست. ساختار تجاری کشورها بتدریج در حال تغییر است . علاوه‌بر اینها تاثیرات جغرافیا آشکار است بویژه آنهایی که به روسیه متصل هستند. در مقایسه با سال ۲۰۰۰ جابجایی‌هایی در تجارت صورت گرفته است؛ برای مثال گرجستان در مقایسه با سال ۲۰۰۰ جهت‌گیری تجاری بیشتری با اتحادیه اروپا بجای روسیه و دیگر کشورهای پساشوروی داشته است.کاهش مزیت رقابتی کشورهای پساشوروی در تجارت دوطرفه با روسیه چشمگیر است بطوریکه روسیه بعنوان مهمترین شریک تجاری این کشورها باقی مانده است. وابستگی به مواد خام در تجارت خارجی کشورهای پساشوروی بشدت

معناردار است. در این خصوص روسیه و قزاقستان به میزان زیادی به عملکرد تجاری مواد خام به‌ویژه نفت و گاز طبیعی وابسته هستند. در خصوص تجارت فراصنعتی نیز مهم است اشاره شود تخصصی سازی مشابهی بین کشورها وجود دارد.

قابل ذکر است در مطالعات داخلی با محوریت ایران و مطالعه انجام شده با محوریت کشورهای پساشوروی، تحلیل توصیفی مبناست و در تبیین وابستگی، از تعاریف و شاخص‌ها استفاده شده و تاحدودی از نقش وابستگی های سطح بالاتر در تجارت چشم‌پوشی می‌شود .در این راستا مطالعه حاضر سعی دارد با اتکا بر مدل آماری، ارتباطات تجاری را بصورت کل بررسی نموده وسایر ویژگی‌های موردی در تجارت را از طریق یک کواریات مورد آزمون قرار دهد.

۳. الگو و روش پژوهش

مدل گراف تصادفی نمایی (ERGM) یک مدل آماری برای شناسایی ساختار شبکه می‌باشد که به بررسی ترجیحات درخصوص چگونگی الگوی ارتباطات شبکه می‌پردازد.اساس کار بدین صورت است که گرافها از یک توزیع گراف تصادفی همسان، مشروط به تعداد معینی لبه یا قوس استخراج می‌شود. تعداد نودها و لبه‌ها طوری انتخاب می‌شود که با تعداد نود و لبه ارتباطی شبکه مشاهده‌شده، مطابقت داشته باشد. توزیع گراف، یک تکنیک آماری (ناپارامتریک) است تا نشان دهد ساختارهای شبکه‌ای خاصی بطور معنادار بیشتر از آنچه که بر اساس شانس انتظار می‌رود، وجود دارد. با تولید نمونه بزرگی از گراف‌ها می‌توان به نرم متوسطی از تعداد پیکربندی‌ها دست یافته و بدین ترتیب امکان مقایسه با شبکه واقعی مشاهده‌شده فراهم گردد.

دریافت مفهوم ERGM مستلزم آشنایی با برخی مفاهیم گراف از قبیل تعداد لبه‌ها، تعداد ارتباطات دوطرفه، معیارهای مرکزیت، اجتماع سه‌گانه و ... است که تحت عنوان «آماره» (Statistics) نام‌گذاری می‌شوند.آماره‌های یک شبکه، تعداد پیکربندی‌های شبکه در یک گراف معین و یا تابعی از تعداد آنهاست.

گرافها بنا بر جهت‌مندی پیوندها، به دو دسته باسویه (Directed) و بی‌سویه(Nondirected) تقسیم می‌شوند. برای یک گراف بی‌سویه با N نود (ثابت و از پیش‌تعیین شده) مجموعه همه پیوندهای ممکن در قالب فرم ریاضی بشکل زیر خواهد بود:

$$J = \{(i,j): i,j \in N, i \neq j\}$$

در این مجموعه که خودارتباطی مجاز نمی‌باشد، تعداد عناصر J برابر است با:

$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}$

مسلم است که برخی لبه‌ها ممکن است در گراف یا شبکه حاضر نباشد. یک مدل استوکاستیک ، مجموعه‌ای از پیوندهاست که در زیر مجموعه‌ای تصادفی از J یعنی E قرار گرفته است. برای هر عنصر J یک متغیر تصادفی X_{ij} می‌توان تعریف کردکه اگر $X_{ij} = 1$ آنگاه $(i,j) \in E$ و $X_{ij} = 0$ آنگاه $(i,j) \notin E$.

این متغیرها (X_{ij}) ، ربط متغیر(Tie-Variable) نامیده می‌شوند. ربط‌متغیرها را می‌توان در یک ماتریس مجاورت $X = [X_{ij}]$ جمع کرد که عنصر جای گرفته در ردیف i و ستون j متعلق به پیوند i و j است. عمده تمرکز بر مدلسازی پروسه شکل‌گیری پیوند شبکه‌ای است؛ وجود پیوند دو نود را می‌توان با ترکیبی از متغیرهای ویژگی نود(کنشگر) و الگوهای پیوندهای دیگر اعضای شبکه توضیح داد.

در ERGM وجود یک پیوند شبکه‌ای (دوتایی) بر اساس چند متغیر پیش‌بینی کننده (انواع پیکربندی‌های شبکه) و از طریق مدلی که پارامترها بیانگر اهمیت یک پیکربندی برای وجود یک پیوند است، پیش‌بینی می‌شود. در واقع ERGM را می‌توان برای بررسی احتمال آماری پیکربندی‌های شبکه‌ای خاص بکار گرفت. ERGM ها مورد استفاده قرار می‌گیرند تا آزمون شود یک یا چند ساختار ممکن است بیشتر از آنچه که بر اساس شانس اتفاق می‌افتد در شبکه ظاهر شود. در اینصورت اگر پیوندهایی از یک شبکه بیشتر از آنچه که بر اساس شانس می‌باشد، در شبکه دیده شود آنگاه آن ساختار تمایل معنادار و مثبتی به حضور در شبکه خواهد داشت.

معمول‌ترین فرم لگاریتمی خطی از ERGM که به مدلهای P^* نیز معروفند عبارت است از :

$$\Pr(X = x) = \frac{\exp(\theta' Z(X))}{\kappa(\theta)} \qquad (۱)$$

θ بردار پارامترهای مدل و $Z(X)$ بردار آماره‌های مدل است. این شکل از مدل از خانواده نمایی می‌باشد که در آن تابع احتمال، بستگی به تابع نمایی از ترکیب خطی آماره‌های شبکه دارد. یک شکل از مدل (۱) که خیلی شبیه به ساده‌ترین توزیع گراف برنولی است عبارت است از :

$$\Pr(X = x) = \frac{\exp\{\theta L\}}{\kappa(\theta)} \qquad (۲)$$

که تک پارامتر θ بستگی به تعداد پیوندهای ارتباطی دارد. مشکل توزیع‌های این شکلی ثابت نرمالایزکننده (Normalizing Constant) است.این ثابت مطمئن می‌سازد که مجموع توابع انباشت

احتمال (Probability Mass Function) روی همه گرافها برابر با یک می‌شود. به منظور محاسبه احتمالات، می‌بایست κ را محاسبه کرد که برای اکثر شبکه‌ها کاری دشوار است. این امر امکان استفاده از تخمین حداکثر درستنمایی از پارامترهای مدل را دشوار می‌سازد، لذا استفاده از روش‌های جایگزین پیشنهاد می‌شود. (زمانی که در مورد احتمال رویدادی با توجه به معلوم‌بودن مدل و پارامترهای آن صحبت می‌کنیم، واژه تابع احتمال را بکار می‌بریم و زمانی که در مورد مقدارهای محتمل برای پارامتر مدل با توجه به مشاهدات انجام‌شده تصمیم می‌گیریم از تابع درستنمایی بهره می‌بریم.)

همان طور که اشتراس و وایکدا (۱۹۹۰) توصیف کردند می‌توان مدل لگاریتم خطی را با استفاده از ماهیت دوگانه (Dichotomous Nature) متغیر تصادفی X_{ij} به مدل لاجیت تبدیل کرد. با فرض اینکه جهت پیوند از i به j است، می‌توان نوشت:

$$\Pr\left(X_{ij}=1\middle|X_{ij}^{c}\right)=\frac{\Pr(X=X_{ij}^{+})}{\Pr\left(X=X_{ij}^{+}\right)+\Pr\left(X=X_{ij}^{-}\right)}=\frac{\exp\left\{\theta' Z\left(X_{ij}^{+}\right)\right\}}{\exp\left\{\theta' Z\left(X_{ij}^{+}\right)\right\}+\exp\left\{\theta' Z\left(X_{ij}^{-}\right)\right\}} \qquad (۳)$$

X_{ij}^{c} ماتریس بدون لینک ij است. در واقع باید گفت از فروض مدل لجستیک استقلال مشاهدات است. در خصوص شبکه‌ها مشاهدات مستقل نیستند لذا مدلی که به توضیح ساختار یک شبکه می‌پردازد می‌بایست این پروسه شکل‌گیری پیوند را لحاظ کند. بنابراین معادلات به گونه‌ای نوشته می‌شوند که X_{ij}^{c} شبکه را دربرگیرد؛ نسبت وجود یک پیوند بین i و j بستگی به ساختار شبکه قبل از اینکه پیوندی بین i و j ایجاد شود ، دارد.

مزیت رابطه (۳) وابسته نبودن به ثابت نرمالایزکننده است. نسبت شانس وجود یک پیوند از i به j به عدم وجود آن، برابر است با :

$$\frac{\Pr(X_{ij}=1|X_{ij}^{c})}{\Pr(X_{ij}=0|X_{ij}^{c})}=\frac{\exp\left\{\theta' Z\left(X_{ij}^{+}\right)\right\}}{\exp\left\{\theta' Z\left(X_{ij}^{-}\right)\right\}}=\exp\{\theta'[Z(X_{ij}^{+})-Z(X_{ij}^{-})]\} \qquad (۴)$$

بر این اساس، نسبت شانس لگاریتمی یا لاجیت شکل نسبتا ساده زیر را خواهد داشت:

$$\varpi_{ij}=\log\left\{\frac{\Pr(X_{ij=1}|X_{ij}^{c})}{\Pr(X_{ij=0}|X_{ij}^{c})}\right\}=\theta'[Z(X_{ij}^{+})-Z(X_{ij}^{-})] \qquad (۵)$$

اگر $\delta(X_{ij})=[z(X_{ij}^{+})-z(X_{ij}^{-})]$ تعریف شود، آنگاه مدل لاجیت(۵) فرم خلاصه زیر را خواهد داشت:

$$\varpi_{ij}=\theta'\delta(X_{ij}) \qquad (۶)$$

عبارت $\delta(X_{ij})$بردار آماره‌های شبکه است وقتی که متغیر X_{ij} از یک به صفر تغییر می‌کند. این نسخه از مدل که نسبت شانس لگاریتمی برابر با تابع خطی اجزای $\delta(X_{ij})$ می‌شود معرف مدل لاجیت P^* برای حالت انحصاری روابط دوطرفه است. می توان دریافت برای تصریح مدل لاجیت P^* ، پیشاپیش مجموعه‌ای از آماره‌های شبکه که فرض می‌شود بر شانس لگاریتمی وجود و یا عدم وجود یک پیوند موثرند، انتخاب می‌شوند. این رابطه نشان می‌دهد هر پارامتر مدل نه تنها با تعداد زیرساختارها بلکه با تفاوت آنها نیز مرتبط است.

قابل ذکر است که رابطه (۶) شانس وقوع یک پیوند را در کل شبکه بررسی می‌کند در حالی که می‌توان احتمال وقوع یک گراف یا شبکه بصورت کلی را نیز بدست آورد. طبق تئوری هامرسلی–کلیفورد(Hammersley-Clifford) ، احتمال ظهور یک گراف منحصرا با تعداد زیرگراف‌ها بدست می‌آید. چون ما یک شبکه مشاهده‌شده داریم و درصدد بازتولید آن هستیم، به‌دنبال احتمال آن شبکه تولیدشده مدل، (X) ،هستیم که مشابه شبکه مشاهده‌شده (x) است. هم‌چنین از لگاریتم استفاده می‌شود تا احتمال محدود گردد:

$$\log\big(P(X=x)\big) \propto \theta.V(G) \qquad (۷)$$

$$\log\big(P(X=x)\big) \propto \exp\{\theta.V(G)\} \qquad (۸)$$

که در آن $V(G)$ بردار زیرگراف‌ها می‌باشد. نیاز است سمت راست معادله نرمالایز شود تا توزیع احتمال مناسبی بدست آید. در واقع به منظور نرمالایزکردن احتمال یک شبکه، نیاز است همه شبکه‌های ممکن با تعداد معینی نود، نرمالایز شود:

$$P(X=x) = \frac{\exp\{\theta.V(G)\}}{\sum_{y\epsilon Y}\exp\{\theta.V(G)\}} \qquad (۹)$$

y یک ساختار شبکه ممکن از همه شبکه‌های ممکن Y است. در واقع صورت با مجموع پارامترهای همه ساختارهای ممکن شبکه نرمالایز می‌شود. البته این تعداد، بسیار زیاد می‌شود چراکه $2^{\frac{n(n-1)}{2}}$ برای یک شبکه ۱۰ نودی هم خیلی رقم بزرگی است. با یک عملیات جبری ساده می‌توان به فرم عمومی مدل ERGM دست یافت:

$$P(X=x) = \frac{\exp\{\theta.V(G)\}}{\exp\{\log(\sum_{y\epsilon Y}\exp\{\theta.V(G)\})\}} \qquad (۱۰)$$

$$P(X=x) = \frac{1}{\psi(\theta)}\exp\{\theta.V(G)\} \qquad (۱۱)$$

در خصوص برآورد، چهار روش ۱. زنجیره مارکوف مونت کارلو (Markov Chain Monte Carlo ,MCMC) ۲. الگوریتم متروپلیس–هاستینگ و نمونه‌بردار گیبز (Metropolis–Hastings

(Algorithm and the Gibbs Sampler) ۳. الگوریتم پله‌ای (Stepping Algorithm) و ۴. ستاده الگوریتم پله‌ای (Stepping Algorithm Output) برای برای تخمین مدل ERGM مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه روش MCMC اساس کار جهت بدست آوردن تخمین‌های حداکثر درستنمایی می‌باشد.

در MCMC روش کار، بیرون کشیدن یک نمونه از توزیعی که معادله (۱۱) را بطور مجانبی دنبال می‌کند، است و نیازی نیست که محاسبه مستقیم ثابت نرمالایزکننده انجام شود. زنجیره مارکوف دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی است بطوریکه مقدار اخذشده توسط متغیر تصادفی فقط به مقدار قبلی متغیر بستگی دارد. بنابراین می‌توان یک شبکه را بصورت یک ماتریس مجاورت بررسی کرد بطوریکه هر ورودی در آن یک متغیر تصادفی باشد. با جابجا کردن مقادیر این متغیرها به صفر یا یک (وارد یا خارج کردن یک پیوند از شبکه) می‌توان دنباله‌ای از گرافها را تولید کرد بطوریکه هر گراف فقط به گراف قبلی بستگی داشته باشد. آنگاه فرض بر این است که مقدار در مرحله t از توزیع درستی بیرون کشیده شده باشد آنگاه آن مقدار در مرحله t+1 نیز به‌کار گرفته شود.

۴. تخمین مدل و تجزیه و تحلیل نتایج

۱.۴ تخمین مدل بنیادی شبکهٔ تجاری

در این مطالعه ،حجم واردات کشورهای پساشوروی از ده شریک اول تجاری بعنوان اساس شبکه تجاری مدنظر قرار می‌گیرد. بسته های آماری محدودی جهت تخمین مدل گراف‌های تصادفی وجود دارد که در حال حاضر کامل‌ترین آنها، بسته R می‌باشد. مدل ERGM مورداستفاده در نرم افزار R به شکل زیر خواهد بود:

معادله(۱): مدل ERGM اساسی

formula = net2017 ~ edges + mutual + twopath + gwesp (0.1, fixed = T) + nodecov (GDP) + edgecov(psoviet) + idegree (2)

کواریات های مدل عبارتند از؛ پیکربندی‌های لبه، دوجانبه، دومسیره و شراکت لبه‌مشترک. متغیر GDP ،تولید ناخالص داخلی بعنوان کوواریات نود ، و مجازی psoviet به معنای تعلق‌داشتن و یا نداشتن به کشورهای پساشوروی بعنوان کواریات لبه ، مشخصه خاص شبکه تحت عنوان ideree(2) که بیانگر نودهای دو ورودی در مدل است؛ (کشورهای با دو ورودی تجاری) قابل ذکر است در جهت بررسی شبکه می‌توان کواریات‌های بسیار دیگری را نیز به

مدل اضافه نمود، در این راستا علاوه بر سایر پیکربندی‌های ذکر نشده در جدول(۱)، کواریات‌های دیگری نیز به مدل اضافه شد. شواهد نشان دهنده عدم برخورداری این کواریات‌ها از معناداری لازم، و نیز عدم بهبود معیارهای اطلاعات آکائیک شوارتز و بیزین حاصل بود. همچنین در تفسیر مدل ERGM ، پارامترهای مثبت متناظر با اثراتی هستند که احتمال یک پیوند را افزایش می دهند در حالیکه پارامترهای منفی اشاره به اثراتی دارند که احتمال یک پیوند را کاهش می دهند.نتایج مندرج در جدول (۲) حاکی از آن است که کواریات‌های ساختار شبکه(پیکربندی‌ها) در سه مقطع زمانی مورد بررسی ضمن معناداری از ثبات در اهمیت برخوردارند. بررسی نتایج حاصل شده از مدل ERGM در دو قسمت اثرات درون‌زا شامل پیکربندی‌های شبکه (پیکربندی های لبه، دوطرفه، دومسیره،شراکت لبه مشترک)، و برون‌زا شامل ویژگی های نود یا لبه (Vertex or Edge Attributes) و ویژگی های شبکه‌ای (Network Attributes) قابل تفسیر است.

جدول ۱. پیکربندی‌های اساسی مدل ERGM تحقیق

مشخصه	توصیف	z_i
لبه edge	تعداد پیوندها یا به طور غیرمستقیم چگالی شبکه	$\sum_{ij} x_{ij}$
سه‌گانه انتقالی Transitive Triples	تعداد تکرار شده از پیوندهای سه نود به طوریکه n_jبهn_i پیوند می‌خورد و n_j به n_k و n_kبه n_i	$\sum_{ijk} x_{ij}\, x_{jk} x_{ik}$
پیوند دوجانبه	تعداد تکرار شده از پیوندهای متقابل به طوریکه n_i به n_j پیوند داشته و n_j به n_i	$\sum_{ijk} x_{ij}\, x_{ji}$
دو مسیره Two Path	تعداد تکرار شده از از پیوندهای سه نود به طوریکه n_jبهn_i پیوند می‌خورد و n_j به n_k	$\sum_{ijk} x_{ij}\, x_{jk}$
شراکت لبه مشترک Edge-Shared Partnership	$gwesp = e^{\alpha} \sum_{i=1}^{n-2}\{1-(1-e^{-\alpha})^{i}\}sp_i$ در واقع نوعی سه‌گانه انتقالی یک گانه (مثلثی) یا چندگانه است. یعنی یک یا چند دو مسیره که با یک بازوی مشترک (لبه مشترک) بسته می‌شوند.	sp_iلبه با i شریک مشترک است

۱.۱.۴ اثرات درون‌زا

پارامتر متعلق به لبه (edge) معنادار و منفی است. از این کواریات در ERGM بعنوان عرض از مبدا یاد می‌شود.لبه منعکس‌کننده هزینه‌های پایه‌ای تجارت، قبل از لحاظ نمودن دیگر عوامل

همچون فاصله، توافقات تجاری یا اندازه اقتصاد است.ساختار دیگری که در مدلهای پژوهش وارد شده است ساختار دوطرفه (mutual) است. این پیکربندی بزرگ، منفی و بلحاظ آماری موثر بر تجارت است و نشان می‌دهد تعامل نمی‌تواند منجر به تقویت تجارت شود.

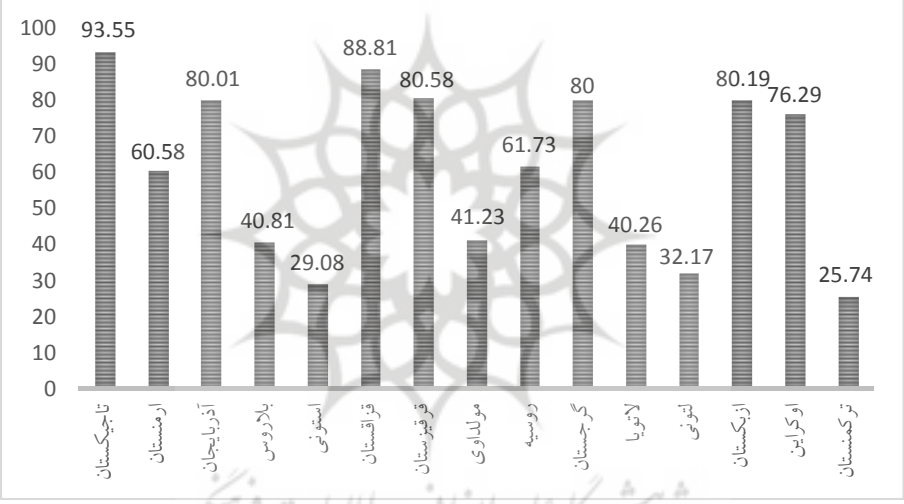
سومین ساختار بررسی شده در مدلها، پیکربندی دومسیره(twopath) است که آن نیز در شکل گیری شبکه تجاری کشورهای پساشوروی موثر است.در شبکه تجاری این ساختار بیان می کند واردکننده از یک کشور، خود می تواند صادرکننده به کشور دیگر باشد. پارامتر این ساختار نیز در همه مقاطع زمانی مورد بررسی بلحاظ آماری ، معنادار و منفی است . این ساختار به نوعی نشان دهنده عدم مشاهده تشکیل زنجیره تجاری (خرید و فروش کالا و خدمات در سطح بین الملل) بین کشورهای پساشوروی است.

جدول ۲. تخمین مدل اساسی ERGM شبکه تجاری کشورهای پساشوری در مقاطع زمانی سه گانه
ماخذ: محاسبات تحقیق

متغیر توضیحی		مقطع زمانی ۲۰۱۲	مقطع زمانی ۲۰۱۷	مقطع زمانی ۲۰۲۱
پیکربندی ها	edges	-۳.۷۷۷***	-۳.۵۳۵***	-۳.۳۱۲***
		(۰,۳۰۳)	(۰,۲۸۸)	(۰,۳۰۳)
	mutual	-۲.۲۱۷***	-۲.۶۲۶***	-۲.۰۶۱***
		(۰,۵۷۱)	(۰.۵۹۹)	(۰.۵۵۵)
	twopath	-۰.۲۸۶***	-۰.۲۸۱***	-۰.۲۹۳***
		(۰.۰۳۰)	(۰.۰۳۰)	(۰.۰۲۸)
	gwesp. fixed.۰.۱	۳.۲۱۳***	۳.۱۳۴***	۳.۰۳۸***
		(۰.۲۷)	(۰.۲۵۶)	(۰.۲۶۷)
شاخص مرتبط با شبکه	idegree (۲)	۰.۷۶۶	۰.۷۳۰	۱.۰۲۲**
		(۰.۴۵۵)	(۰.۴۵۲)	(۰.۴۰۷)
شاخص مرتبط با نود	nodecov.gdp	۰.۰۰۰۰۵**	۰.۰۰۰۰۲*	۰.۰۰۰۰۳**
		(۰.۰۰۰۰۲)	(۰.۰۰۰۰۱)	(۰.۰۰۰۰۱)
شاخص مرتبط با لبه	edgecov. psoviet	-۰.۰۲۱	-۰.۳۷۳۵	-۰.۵۴۳*

	(۰.۰۲۰۰)	(۰.۲۰۶)	(۰.۲۱۷)
معیار AIC (هرچه کمتر بهتر)	۶۵۸.۹	۶۸۵	۶۳۸.۵
معیار BIC (هرچه کمتر بهتر)	۶۹۵.۳	۷۲۱.۴	۶۷۵
+ p < ۰.۱, * p < ۰.۰۵, ** p < ۰.۰۱, *** p < ۰.۰۰۱			

در این راستا می‌توان به آمار صادرات کشورهای پساشوروی در سال ۲۰۲۰ نشان دهنده (جدول ۳) اشاره کرد. اکثر این کشورها صادرکننده مواد خام و کالاهای واسطه‌ای هستند وکمتر در تامین زنجیره ارزش جهانی نقش ایفا می‌کنند لذا می‌توان انتظار داشت میزان پیوندهای تجاری از نوع تعاملی در بین این کشورها، کمتر از حد متوسط باشد.



جدول ۳. سهم درصد صادرات کالاهای مصرفی و واسطه ای در کشورهای پساشوروی در سال ۲۰۲۰

ساختار مهم دیگری که همچون سایر ساختارها معنادار، اما متفاوت با آنها مثبت است ساختار (gwesp) شراکت لبه مشترک است که علاوه بر نقش موثر آن در شکل‌گیری شبکه، دارای اثری مثبت در تشکیل پیوند تجاری است. توزیع gwesp روشی از مدلسازی الگوهای مثلثی است که منعکس‌کننده مواردی است که دو کشور تجاری بر روی یک شریک تجاری سوم اشتراک می‌یابند. (نود i و j یک لبه مشترک خواهند داشت وقتی که به یکدیگر متصل بوده و هر دوی آنها متصل به نود سوم k باشند) مقدار مثبت آن بیانگر اثر حاشیه‌ای

شریک اضافی مشترک در افزایش تعداد شرکای مشترک تجاری است. نتایج نشان می‌دهد . در حالت خرد، اگر دو بازرگان از دو کشور مطلع شوند که با بازرگـان مشـترکی در کشـور ثالـث فعالیت می‌کنند بر حجم تجاری خود خواهند افزود.

۲.۱.۴ اثرات برون‌زا

اثرات برونزا دربرگیرنده ویژگی‌های مختص به هر نود یـا لبـه مـی‌باشـد. در ایـن پـژوهش از دو شاخص GDP و psoviet کمک گرفته شده است. psoviet یک متغیر مجازی اعمـال کننـده ایـن محـدودیت اسـت کـه آیـا ارتبـاط بـین دو نـود، یـک ارتبـاط تجـاری بـین دو کشـور پساشوروی است یا خیر. در این راستا هردو پارامتر در سالهای ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ از معناداری لازم برخوردار نیست و تنهـا در سـال ۲۰۲۱ اسـت کـه مقـدار نسـبتا کـم آن، از معنـاداری آمـاری برخوردار گردید. این تغییر از آن حیث قابل توجه است که علامت منفی آن بعنوان مانعی برای تشکیل پیوند تجاری تعبیر می‌گردد.

حضـور GDP در مـدل انعکاسـی از مـدل جاذبـه اسـت. ورود ایـن کوواریـات در مـدل، اثرگذاری GDP های کشورهای صادرکننده و واردکننده را بر روی تجـارت بررسـی مـی‌کنـد. ضریب مثبت این پارامتر در مدل گویای آن است که نودهای با GDP بالاتر، پیوندهای بیشتری در شبکه را به خود اختصاص داده‌اند.

در مدل گراف‌های تصادفی نمایی کواریات‌هایی که مربوط بـه کـل شـبکه اسـت و حامـل اطلاعاتی از قبیل بزرگی، جهت‌داری و کثرت و ... است را می‌توان وارد مدل نمود. علـی‌رغـم آزمون انواع کواریات‌ها ، تنها idegree از مرتبه دوم عملکرد مدل را بهبود بخشـید. اشـاره ایـن کواریات به نودهایی است که دو ورودی از سایر نودها دارنـد یـا بـه عبـارت دیگـر، پـذیرای دو پیوند وارداتی از سایر کشورها می‌باشند. معناداری و ضـریب مثبـت ایـن پـارامتر متضـمن آن است که وجود نودهای با درجـه ۲ در شـبکه مـی‌توانـد احتمـال ایجـاد پیونـد تجـاری را افزایش دهد. بجز سال ۲۰۲۱ که ضریب بلحـاظ آمـاری معنـادار و مثبـت اسـت مـی‌تـوان در دو مقطع دیگر از این کوواریات چشم‌پوشی کرد.

۲.۴ تخمین مدل جهت بررسی اثرات عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای

با وجود شناسایی مدل اساسی شبکه کشورهای پساشوروی، امکان بررسی اثرات سایر متغیرهای توضیح دهنده ویژگی نود یا لبه، فراهم می‌گردد. قابل ذکر است در این مطالعه تفکیک مدل دربرگیرنده متغیر عضویت در شانگهای در جهت بررسی اثرات آن بر شبکه و بررسی اثرات آن بصورت انفرادی، صورت پذیرفت. در این راستا مدل معادله(۲) قابل‌طرح است:

معادله(۲): مدل ERGM اساسی با لحاظ اثرات سازمان همکاری شانگهای

formula = net2021 ~ edges +mutual +twopath +gwesp (0.1, fixed =T) + nodecov ("gdp21") edgecov(psoviet) + idegree (2) + nodefactor ("shan2021", level = 2)

متغیر nodefactor در اینجا یک داده رسته‌ای است و بیانگر تعداد دفعاتی است که نودها با یک سطح معینی از ویژگی‌های طبقه‌بندی شده(در اینجا عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای) در مجموع لبه‌ها ظاهر می‌شود. نتایج مدل نشان می‌دهد این کوواریات به لحاظ آماری، معنادار و به شکل منفی بر ارتباط تجاری با اعضای شبکه تاثیرگذار می‌باشد. ضمنا با ظهور این کواریات در مدل قدرت توضیحی مدل نیز در حدی کم بهبود یافته در صورتی که سایر کواریات‌ها نیز به لحاظ معناداری و مقادیر دچار تغییر نمی‌گردند.

جدول ۴. تخمین مدل اساسی ERGM جهت بررسی اثرات عضویت در سازمان همکاری‌های شانگهای
ماخذ: محاسبات تحقیق

متغیر توضیحی		مقطع زمانی ۲۰۲۱	مدل برمبنای عضویت
پیکربندی ها	edges	-۳.۳۱۲***	-۳.۱۳۱***
		(۰.۳۰۳)	(۰.۳۲۷)
	mutual	-۲.۰۶۱***	-۲.۰۱۰***
		(۰.۵۵۵)	(۰.۵۶۳)
	twopath	-۰.۲۹۳***	-۰.۲۹۵***
		(۰.۰۲۸)	(۰.۰۳۰۹)
	gwesp. fixed.0.1	۳.۰۳۸***	۲.۹۹۳***

		(۰.۲۶۷)	(۰.۲۷۸)
شاخص مرتبط با شبکه	idegree (2)	۱.۰۲۲*	۱.۰۴۶*
		(۰.۴۰۷)	(۰.۴۱۱)
شاخص مرتبط با نود	nodecov.gdp	۰.۰۰۰۰۳**	۰.۰۰۰۰۳***
		(۰.۰۰۰۰۱)	(۰.۰۰۰۰۱)
	nodefactor. shan		-۰.۲۹۴*
			(۰.۱۳۱)
شاخص مرتبط با لبه	edgecov. psoviet	-۰.۵۴۳*	-۰.۵۵۴**
		(۰.۲۱۷)	(۰.۲۱۴)
معیار AIC (هرچه کمتر بهتر)		۶۳۹.۵	۶۳۷.۲
معیار BIC (هرچه کمتر بهتر)		۶۷۵	۶۷۷.۹
+ p < ۰.۱, * p < ۰.۰۵, ** p < ۰.۰۱, *** p < ۰.۰۰۱			

۵. نتیجه‌گیری

این مطالعه، به پویایی و مکانیزم‌های پس‌زمینه شکل‌گیری شبکه تجاری کشورهای پساشوروی می‌پردازد. در این راستا، مدل ERGM برای تخمین میزان تاثیرات ساختارهای زیرشبکه‌ای خاص(عوامل درونزا) و ویژگی‌های هرکشور و مختص شبکه(عوامل برونزا) بکارگرفته می‌شود.

برحسب تاثیرات درونزا؛ نتایج نشان می‌دهد که ساختارهای زیرشبکه‌ای از قبیل لبه، دوطرفه، دومسیره و شراکت لبه‌مشترک،قدرت توضیحی خوبی جهت شکل‌گیری شبکه ارائه می‌دهند. اثرپذیری شکل‌گیری پیوند تجاری در این شبکه از پروسه تعامل تجارت، همزمانی واردات از یک کشور با صادرات به کشور ثالث و تجارت چرخشی سه جانبه، از دستاوردهای مدل است.

برحسب تاثیرات برونزا؛ GDP در همه مقاطع زمانی، کواریات لبه psoviet ، منعکس‌کننده تعلق دو کشور مرتبط به کشورهای پساشوروی، و کواریات مختصات شبکه‌ای idegree(2)

(فقط در مقطع زمانی ۲۰۲۱) ضمن افزایش قدرت توضیح‌دهندگی مدل از معناداری آماری برخوردار شدند. براساس مدل برآوردشده از سال ۲۰۲۱ ؛ قدرت اقتصادی بالاتر، احتمال ایجاد پیوند تجاری با اعضای شبکه را افزایش و مراودات درون شبکه‌ای (تعلق هر دو کشورها به کشورهای پساشوروی)، این احتمال را کاهش می‌دهد.

پویایی مدل با تخمین آن در مقاطع زمانی مختلف مورد کنکاش واقع شده که نتایج حاکی از سکون ساختار شبکه از منظر تجاری است؛ آنچنانکه ضرایب مدل طی مقاطع زمانی ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ تقریبا بدون تغییر می‌ماند که نشان‌دهنده عدم تحول تجاری و حتا اقتصادی این شبکه است. در نهایت سازمان همکاری اقتصادی بعنوان کلاسی از کشورها، تاثیر منفی بر تشکیل پیوند تجاری با اعضای این شبکه داشته چه آنکه عدم لحاظ این مشخصه منجر به افزایش احتمال پیوند تجاری می‌شود. بر مبنای نتایج جدول (۴) می توان نتیجه گرفت اگرچه عضویت ایران در شانگهای می‌تواند با اتکا بر برخی ترتیبات ترجیحی و متعاقبا تقویت پیوند تجاری با اعضای آن ، ثمراتی برای ایران به همراه داشته باشد اما بدلیل اثرات منفی ناشی از الحاق به این سازمان، ایران با محدودیتهایی در ایجاد یا تقویت پیوند با سایر اعضای شبکه مواجه خواهد شد.

پیشنهاد می‌شود ضمن مطالعه شبکه‌ای اثرات سایر توافقات، اثرات سایر عوامل موثر بر ارتباط جاری با اعضای یک شبکه مدنظر قرار گیرد. برمبنای این مطالعه، ارتقای تولید ناخالص داخلی در هر صورتی دارای برآیند مثبت بر حجم تجاری خواهد بود این در حالی است که صرف حضور در توافقات ، ممکن است انحراف فیزیکی مسیر صادرات را بهمراه داشته باشد.

کتاب‌نامه

رفعت، منیره. (۱۳۹۶) کاربرد تکنیک تحلیل شبکه در بررسی روابط چندجانبه تجاری ایران با مهمترین شرکای تجاری در آسیا. فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی، شماره ۳۴ ، زمستان ۹۷ ، ۱۰۸–۱۳۷.

Anderson, J. E., Yotov, Y.V. (2016). Terms of Trade and Global Efficiency Effects of Free Trade Agreements, 1990–2002. J. Int. Econ. 99, 279–298.

Andrade, R. R., Rêgo, L. C. (2018), The use of Nodes Attributes in Social Network Analysis with an Application to an International Trade Network, Physica A, 491, 249–270.

Benesova, I., Smutka, L., Laputkova, A. (2019). Specifics of the Mutual Trade of the Post-Soviet Countries, Entrepreneurial Business and Economics Review, doi: 10.15678/EBER.2019.070102

Gala, P., Camargo, J., Freitas, E. (2018). The Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) Was Right: Scale-Free Complex Networks and Core-Periphery Patterns in World Trade. Cambridge J. Econ. 42, 633–651

Gorgoni, S., Amighini, A., Smith, M. (2019). Network of International Trade and Investment. 49–94. Series in Economics, Vernon Press.

Harris, J. K. (2014). An Introduction to Exponential Random Graph Modeling. Sage Publication Inc.

Head, K., Mayer, T. (2014). Chapter 3 - Gravity Equations: Workhorse, Toolkit, and Cookbook. In: Gopinath, G., Helpman, E., Rogoff, K. (Eds.), Handbook of International Economics, Elsevier, 131–195. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54314-1.00003-3

Herman, P.R. (2021). Modeling Complex Network Patterns in International Trade. Review of World Economics. 158, 127-179.

Johannes, V. (2019). Introduction to Network Modeling Using Exponential Random Graph Models (ERGM): Theory and an Application Using R-Project, Computational Economics volume. 54, 845–875.

Kumar, A., Sheshar, Sh., Kuldeep, S., Biswas, B. (2020). Link Prediction Techniques, Applications, and Performance: A Survey. Physica A. 553, PP. 1-46.

https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124289.

Feng, L., Xu, H., Wu, G., Zhao, Y., Xu, J. (2020). Exploring the Structure and Influence Factors of Trade Competitive Advantage Network Along the Belt and Road. Physica A, 1250-57. doi.org/10.1016/j.physa.2020.125057

Lusher, D., Koskinen, J., and Robins, G. (2013). Exponential Random Graph Models for Social Networks: Theory, Methods, and Applications. New York: Cambridge University Press.

Mele, A., Zhu, L. (2023), Approximate Variational Estimation for a Model of Network Formation, The Review of Economics and Statistics. 105 (1), 113–124.

Pu,Y., Li,Y., Zhang, J. (2022), Features and evolution of the Belt and Road regional value chain: Complex network analysis, The World Economy, 00:1-23. DOI: 10.1111/twec.13348

Snijders, T.A.B., Lomi, A. (2019). Beyond Homophily: Incorporating Actor Variables in Statistical Network Models. Netw. Sci. 7, 1–19. https://doi.org/10.1017/nws.2018.30

Zhou, M. (2020). Differential Effectiveness of Regional Trade Agreements, 1958-2012: The Conditioning Effects from Homophily and World-System Status. Social. Quart. 0, 1–22.doi.org/10.1080/00380253.2020.1834463