



پیچیدگی مالی در اقتصاد ایران با رویکرد کولموگروف

فاطمه پورعبداله^۱

سید نظام‌الدین مکیان^۲

مهدی حاج امینی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

چکیده

افزایش دانش بشری و پیشرفت تکنولوژی منجر به افزایش پیچیدگی و درهم‌تنیدگی در همه جوانب زندگی شده است. پیچیدگی مالی به دلایل مختلفی در همه جوامع اقتصادی، افزایش یافته است. بالا بودن پیچیدگی مالی در اقتصاد می‌تواند ناشی از جهانی‌شدن، گسترده‌ی بازارهای مالی، افزایش تعداد مؤسسات مالی، پیشرفت علم و تکنولوژی و حتی افزایش جمعیت باشد. این موضوع علاوه بر افزایش سرعت و کارایی در این بخش، چالش‌ها و مشکلاتی را ایجاد نموده است. به همین جهت لازم است شبکه مالی ایران از دیدگاه پیچیدگی مورد بررسی قرار گیرد. به منظور بررسی پیچیدگی مالی در اقتصاد ایران، رویکرد پیچیدگی کولموگروف مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های بخش مالی اقتصاد ایران از بانک جهانی در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱ جمع‌آوری شده است. در این رویکرد پیچیدگی کولموگروف، میزان تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی بودن در سیستم مالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور ابتدا ماتریس مجاورت شبکه مالی محاسبه و سپس پیچیدگی موجود در سیستم مالی کشور از لحاظ ارتباط متغیرهای بکار گرفته شده تصویر کشیده می‌شود. نتایج دلالت بر این دارد که، بازار سرمایه در اقتصاد ایران دارای اثربخشی کمتری نسبت به بازار پول و بیمه است. به عبارت دیگر، سیستم مالی ایران بانک محور است. از میان مؤسسات مالی، بانک‌ها و مؤسسات سپرده‌پذیر نقش تعیین‌کننده‌ای در سیستم مالی کشور ایفا می‌کنند. همچنین طبق محاسبات، بخش مالی در ایران کاملاً تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی عمل می‌کند و بنابراین شبکه مالی در اقتصاد ایران دارای پیچیدگی بالا می‌باشد. این موضوع به معنای بالا بودن ریسک سیستمی در سیستم مالی کشور است.

واژه‌های کلیدی: پیچیدگی مالی، شبکه مالی، پیچیدگی کولموگروف.

طبقه بندی JEL: C58 ، C63 ، C45

۱ گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. f.poorabdollah67@gmail.com

۲ گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (نویسنده مسئول) nmakiyan@yazd.ac.ir

۳ گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. hajamini.mehdi@yazd.ac.ir

۱- مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و دانش بشر در گذر زمان، منجر به تغییراتی در ساختار سازمان‌ها، مؤسسات و به طور کلی جوامع انسانی شده است. این تغییرات همه جانبه، روش تحلیل و نظریات مربوط به علوم و دانش بشری را در همه زمینه‌ها دگرگون کرده است و مرزهای میان رشته‌های مختلف علم را جابجا نموده است. این تغییرات و دگرگونی‌ها در بیشتر حوزه‌های علمی و تخصصی، روش تحلیل مسائل را تحت تأثیر قرار داده است. در روش تحلیل به سبک سنتی و به اصطلاح نیوتونی، همه پدیده‌ها و حوادث به صورت منظم و قابل پیش‌بینی رخ می‌دهد و علت و معلول پدیده‌ها مشخص و خطی هستند و تعادل یک وضعیت پهنه و مطلوب به شمار می‌رود. در دهه ۱۹۶۰ میلادی برخی از دانشمندان در حوزه‌های مختلفی از جمله؛ هواشناسی، ریاضی و فیزیک به شواهدی دست پیدا کردند؛ مبنی بر اینکه رفتار طبیعت غیر قابل پیش‌بینی است و طبیعت، الگوها و طرح‌های تصادفی و پیچیده‌ای را ایجاد می‌کند که با محاسبات و فرمول‌های خطی قابل انطباق نیست، بلکه در حالت‌های مشخصی راه خود را از نظرگاه‌های از پیش تعیین شده جدا می‌کند و به این ترتیب رویکردی به نام «پیچیدگی» در علم آغاز شد که در همه حوزه‌ها از جمله حوزه مالی و اقتصادی کاربرد فراوانی دارد.

در بازارهای مالی، از آنجایی که فعالیت در این بازارها همواره با ریسک‌های زیادی همراه است؛ لذا معامله‌گران و سرمایه‌گذاران به روش‌ها و استراتژی‌هایی نیاز دارند که بتوانند با پذیرش ریسک کمتر، بازده بیشتری به دست آورند. معامله‌گران همیشه به دنبال نشانه‌هایی هستند که اطلاعات موجود را به سرعت کشف و در برنامه معاملاتی خود وارد کنند تا کسب سود کرده و زیان قابل توجهی نداشته باشند (نصرتی و همکاران، ۱۴۰۳). به عبارت دیگر، به منظور کسب بازدهی بالاتر در بازارهای مالی افراد به دنبال روش‌های پیش‌بینی این بازارها هستند. میزان قابلیت پیش‌بینی این بازارها در حوزه کارایی بازارهای مالی مورد بررسی قرار می‌گیرد که در این زمینه نظرات متفاوتی وجود دارد.

ماهیت و آثار جانبی بحران‌های مالی ایجاد شده در سال‌های اخیر از جمله بحران سال ۲۰۰۸، در بازارهای مالی، ماهیت پیچیده و درهم‌تنیده سیستم‌های مالی را آشکار کرده است که این پیچیدگی با گذشت زمان افزایش یافته است. در چند دهه گذشته، مشکلات مربوط به گسترش بحران و شوک‌های اقتصادی به موضوع اصلی بسیاری از کارهای علمی در زمینه اقتصاد و اقتصاد مالی در ایران تبدیل شده است. (بیانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ فلاحی و رحمانی، ۱۳۹۷؛ چنارانی و همکاران، ۱۴۰۲؛ سرگلزائی و ایلخچی، ۱۴۰۱؛ حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۹).

بر اساس برخی مطالعات صورت گرفته، بحران‌های مالی بیشتر ناشی از مشکلات مربوط به پرتفوی دارایی‌های مؤسسات مالی است که به میزان زیاد و بی‌سابقه‌ای به هم مرتبط بودند. در دنیای مدرن مالی، بانک‌ها و سایر مؤسسات علاوه بر پرتفوی دارایی‌ها به روش‌های مختلف دیگری با هم مرتبط هستند. به عنوان مثال، بانک‌ها می‌توانند عدم تعادل نقدینگی خود را با استقراض و وام در بازار بین بانکی حل کنند، اما در عین حال خود را در معرض خطر سرایت قرار می‌دهند (بابوس، ۲۰۱۶)^۱. همچنین نوسانات موجود در روند متغیرهای بازارهای مالی

¹ Babus

به عنوان یکی از شاخص های پیچیدگی و یک عامل اثرگذار در تعیین ریسک سرمایه گذاری، می تواند نقش مهمی در تصمیم گیری سرمایه گذاران ایفا کند (اسپردیک و همکاران^۱، ۲۰۱۱).

مطالعات زیادی در حوزه شبکه مالی انجام شده است. سلیم و همکاران^۲ (۲۰۲۳) با استفاده از مدل شبکه، ارتباط متقابل میان داده های مالی در بازار سرمایه آمریکا را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که ارتباط متقابل میان بازده سهام مورد بررسی در زمان بحران افزایش می یابد. لی و همکارانش^۳ (۲۰۲۲) اثر پیچیدگی شبکه مالی بر ثبات مالی را مورد بررسی قرار دادند. به دلیل دشواری مدل سازی شبکه مالی واقعی، از ماتریس های تصادفی به عنوان ماتریس شبکه مالی استفاده نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که ثبات مالی با پیچیدگی شبکه مالی ارتباط زیادی دارد به نحوی که، هرچه شبکه مالی بزرگتر باشد و یا دارای ارتباطات بیشتری باشد، ثبات مالی کاهش می یابد. اسپینوزا-وگا و راسل^۴ (۲۰۲۰)، به منظور بررسی ارتباط میان درهم تنیدگی نهادهای مالی، بحران های مالی سیستماتیک و رکودهای طولانی مدت، یک مدل نظری ساختند. نهادهای مالی مورد بررسی در این پژوهش بانکها هستند و ارتباط میان بانکها تنها از طریق دارایی ها مورد بررسی قرار می گیرد. به عبارت دیگر «ارتباط متقابل^۵» زمانی ایجاد می شود که یک بانک به منظور کاهش ریسک اقدام به مبادله وام های پرداخت شده نمایند. لیو و همکارانش^۶ (۲۰۲۰) با الهام از مدل لورنز، سیستمی از معادلات دیفرانسیل را برای مدل سازی یک سیستم مالی معرفی کردند. با توجه به نتایج این پژوهش می توان دریافت که رفتارهای این سیستم غیرقابل پیش بینی و حساس به شرایط اولیه است. بررسی پویایی های این سیستم، رفتارهای شبه تصادفی را نشان می دهد به عبارت دیگر می توان نتیجه گرفت که سیستم مالی طبق مفروضات مطرح شده در این پژوهش دارای رفتارهای آشفته است و بنابراین سیستم مالی یک سیستم پیچیده است.

در پژوهش پیش رو مبنای محاسبات و شبکه رسم شده پیچیدگی مالی در اقتصاد ایران، کلیه داده های موجود مربوط به توسعه مالی در اقتصاد ایران در سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱^۷ بوده و همچنین میزان پیچیدگی مالی با استفاده از روش کولموگروف^۸ به صورت عددی و دقیق محاسبه شده و مورد تحلیل قرار می گیرد. تفاوت این مطالعه با سایر پژوهش های انجام شده در این حوزه (به عنوان مثال؛ لی و همکاران (۲۰۲۲)، اسپینوزا-وگا و راسل (۲۰۲۰) و لیو و همکارانش (۲۰۲۰)) این است که در این پژوهش برای اولین بار از روش کولموگروف برای تحلیل میزان پیچیدگی در سیستم مالی استفاده شده است. لذا ابتدا با استفاده از روش شبکه یا گراف، سیستم مالی مدل سازی شده و با استفاده از روش کولموگروف جهت بررسی میزان پیچیدگی استفاده شده است. به این منظور این پژوهش در بخش های زیر ارائه می شود؛ در بخش دوم ادبیات پژوهش مربوط به پیچیدگی و پیچیدگی مالی ارائه می شود،

^۱ Spierdijk et al.

^۲ Salim et al.

^۳ Li et al.

^۴ Espinosa-Vega & Russell

^۵ Interconnectedness

^۶ Liao

^۷ شایان ذکر است که آخرین سال وجود داده ۲۰۲۱ می باشد.

^۸ Kolmogorov Complexity

در قسمت سوم نتایج پژوهش مربوط به روش تحلیل شبکه و محاسبه پیچیدگی به روش کولموگروف آورده شده است. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری در قسمت چهارم پژوهش آورده شده است.

۲. ادبیات پژوهش

پیچیدگی از نظر لغوی به معنای کیفیت یا حالت بغرنج و دشوار از نظر فهمیدن، انجام دادن یا ساختن است. اصطلاح پیچیدگی مترادف با واژه‌های عدم قطعیت، عدم کنترل یا عدم شفافیت به کار می‌رود (فرهنگ لغت کمبریج^۱). از نظر تئوری، «پیچیدگی» عبارت است از؛ مطالعه بی‌نظمی‌های موجود در سیستم‌های جهان که منجر به برهم خوردن تعادل در این سیستم‌ها شده و در نتیجه باعث غیرقابل پیش‌بینی شدن آنها می‌شود. اطلاع از میزان پیچیدگی بازارهای مالی و تأثیرپذیری آنها از شوک‌های وارده بر بخش اقتصاد و همچنین میزان وابستگی این بازارها به یکدیگر این امکان را فراهم می‌آورد تا با استفاده از سیاست‌گذاری‌های مناسب، اقدام به جلوگیری از وقوع بحران نموده و در صورت وقوع، بعد از بحران تأثیر این بحران بر بخش‌های مختلف را کاهش دهد و با این آثار را در جهت مطلوب هدایت نماید. بررسی و محاسبه پیچیدگی در سیستم مالی می‌تواند هم به تخصیص بهتر منابع به عنوان مهمترین کارکرد سیستم مالی کمک کند و در نتیجه منجر به کارایی سیستم مالی و نظام اقتصادی شود و هم به پیش‌بینی بهتر بازار مالی به عنوان یکی از مهمترین نظام‌های موجود در اقتصاد کمک کند.

۲-۱. پیچیدگی مالی

اصطلاح پیچیدگی مترادف با واژه‌های عدم قطعیت، عدم کنترل یا عدم شفافیت به کار می‌رود. در مورد سیستم‌ها چن^۲ (۲۰۰۱) اشاره می‌کند که؛ درجه پیچیدگی یک مجموعه به توان بالقوه بروز رفتارهای معلول پدیده‌های پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی، اشاره دارد. معمولاً در توصیف ساختاری سیستم‌های پیچیده، به تعداد بسیار زیاد اجزاء، تعامل پیچیده و گسترده آنها اشاره می‌شود. سیستم‌های اقتصادی و به‌طور خاص سیستم‌های مالی به‌عنوان یک سیستم اجتماعی، یک نمونه‌ای از سیستم‌های پیچیده مخلوق انسان به‌شمار می‌روند، سیستم‌های اجتماعی بسیار پیچیده‌تر از سیستم‌های فیزیکی هستند، زیرا این سیستم‌ها از ویژگی‌هایی چون درک و اراده آزاد برخوردارند. به دلیل پیچیدگی‌های خاص سیستم‌های اجتماعی، نمی‌توان بحران‌ها و فروپاشی‌های اقتصادی را براساس معادلات ریاضی مدلسازی، تحلیل و پیش‌بینی کرد. سیستم مالی یک کشور به عنوان یک سیستم اجتماعی، شامل اجزاء و ارتباطات زیادی است که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده بالا بودن میزان پیچیدگی در این سیستم باشد. اجزای یک سیستم مالی شامل کلیه واحدهای فعال در بازارهای مالی است. در یک بازار مالی شرکت‌های درون بازار به‌هیچ عنوان مستقل از یکدیگر عمل نمی‌کنند و فعالیت‌های آنان به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر روی یکدیگر اثر می‌گذارند و این تأثیرگذاری در طول زمان ثابت نیست. در نتیجه نوعی درهم‌تنیدگی و همبستگی میان فعالیت

¹ Cambridge Dictionary

² Chan

شرکت‌های مختلف در بازار ایجاد می‌شود. به همین جهت گفته می‌شود که سیستم مالی، یک سیستم پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی به شمار می‌رود.

افزایش پیچیدگی در سیستم مالی از یک طرف کارایی بالاتر، رشد اقتصادی سریع‌تر و همچنین سهولت و سرعت انجام معاملات مالی را به دنبال دارد. اما، از طرف دیگر منجر به آسیب‌پذیرتر شدن سیستم مالی، شکنندگی بیشتر بازارهای مالی، افزایش ریسک سیستمیک^۱، ایجاد چالش و هزینه برای شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها شده، و در نهایت ممکن است منجر به کاهش سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی شود. به همین جهت در حال حاضر اندازه‌گیری پیچیدگی و راه‌های کاهش آن در سیستم‌های اقتصادی و مالی و فرآیندهای تصمیم‌گیری دارای اهمیت بالایی است.

۲-۲. پیچیدگی کولموگروف

پیچیدگی کولموگروف یک روش ریاضی است که برای اندازه‌گیری پیچیدگی یک سامانه استفاده می‌شود. در واقع، روش پیچیدگی کولموگروف، یک مفهوم مهم در تئوری اطلاعات است و به عنوان یک ابزار محاسباتی برای محاسبه پیچیدگی برای یک سری عددی استفاده می‌شود. این روش پیچیدگی فقط برای دنباله اعداد از متغیرها تعریف می‌شود. این مفهوم به عنوان یک معیار برای اندازه‌گیری پیچیدگی گراف نیز به کار می‌رود. پیچیدگی کولموگروف برای گراف‌ها می‌تواند مفید باشد تا میزان ساختار پیچیده یا ساده بودن یک گراف را اندازه‌گیری نماید. با استفاده از این مفهوم، می‌توان مقایسه‌ای بین گراف‌ها انجام داد و یا تغییراتی از ساختار گراف را در مراحل مختلف تجزیه و تحلیل کرد. پیچیدگی کولموگروف می‌تواند به عنوان یک معیار برای تحلیل گراف‌های شبکه مورد استفاده قرار گیرد. پیچیدگی کولموگروف بسیار قابل اعتمادتر و قوی‌تر برای ساخت معیار پیچیدگی برای اشیاء مرکب، مانند شبکه‌ها و سیستم‌ها است. اگرچه به طور ذاتی غیر قابل محاسبه است، اما پیچیدگی را می‌توان به راحتی تا حدی تقریب زد که امکان استفاده عملی از پیچیدگی را در برنامه‌های کاربردی دنیای واقعی فراهم می‌کند. این نوع پیچیدگی بر روی ویژگی تصادفی بودن و غیرقابل پیش‌بینی بودن در سیستم‌های پیچیده اشاره می‌کند. به نحوی که سیستم‌های با عدد کولموگروف بالا در سری عددی آنها، سیستم‌های کاملاً تصادفی بوده و در دسته سیستم‌های پیچیده طبقه‌بندی می‌شوند.

در حوزه مالی، این روش می‌تواند به عنوان یک ابزار برای ارزیابی پیچیدگی و ریسک مالی مورد استفاده قرار گیرد. روش پیچیدگی کولموگروف در حقیقت یک روش تحلیلی است که از مفاهیم ریاضی و آماری برای تحلیل پیچیدگی سیستم‌ها استفاده می‌کند. در این روش، متغیرهای تصادفی مرتبط با ساختار مالی مورد بررسی قرار می‌گیرند و پیچیدگی بر اساس تئوری اطلاعات و نظریه احتمال محاسبه می‌شود. محاسبه پیچیدگی مالی در مقیاس کلان با روش پیچیدگی کولموگروف، شامل مراحل زیر است:

(۱) تعریف معیارهای پیچیدگی: معیارهای مختلفی برای اندازه‌گیری پیچیدگی ساختار مالی وجود دارد، که

¹ Systemic Risk

در این پژوهش توسعه مالی در ابعاد مختلف در نظر گرفته شده است.

(۲) جمع‌آوری داده‌ها: برای محاسبه پیچیدگی مالی، باید داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری شوند. این داده‌ها شامل اطلاعات مالی و بانکی است، که در پژوهش پیش‌رو اطلاعات مورد نیاز از بانک جهانی جمع‌آوری شده است.

(۳) رسم شبکه و محاسبه پیچیدگی: پس از جمع‌آوری داده‌ها، باید آن‌ها را تحلیل کرده تا معیارهای پیچیدگی وابسته، محاسبه شود. در مطالعه حاضر ابتدا با استفاده از اطلاعات موجود شبکه مالی رسم شده و همچنین عدد کولموگروف برای سری عددی ایجاد شده محاسبه شده است.

(۴) تفسیر نتایج: پس از محاسبه پیچیدگی ساختار مالی، نتایج باید تفسیر شوند. برای این منظور، می‌توان با استفاده از مقایسه با رقبا یا تحلیل اثرات مالی تغییرات در پیچیدگی، نتایج را تفسیر کرد.

پیچیدگی کولموگروف $KT(s)$ یک دنباله s به این صورت تعریف می‌شود؛

$$K_T(s) = \min\{|P|, T(P) = s\} \quad (1)$$

P -برنامه‌ای است که رشته s را هنگام اجرا بر روی ماشین تورینگ جهانی U^1 (UTM) ایجاد می‌کند و $|P|$ طول برنامه P است، یعنی تعداد بیت‌های مورد نیاز برای نمایش P . احتمال الگوریتمی $p^a(s)$ رشته s به عنوان احتمال مورد انتظار تعریف می‌شود که یک برنامه تصادفی اجرا شده بر روی یک ماشین تورینگ جهانی T با الفبای دودویی، رشته s را با توقف و غیرمداوم تولید کند:

$$p^a(s) = \sum_{P: T(P)=s} \frac{1}{2^{|P|}} \quad (2)$$

از احتمال الگوریتمی $(2^{|P|})$ می‌توان برای محاسبه پیچیدگی K با استفاده از قضیه کدگذاری استفاده کرد (لوین، ۱۹۹۳)^۲. احتمال الگوریتمی تقریب پیچیدگی کولموگروف تا یک مقدار ثابت c ، رابطه زیر برقرار می‌باشد:

$$|-\log_2 p^a(s) - K_T(s)| \leq c \quad (3)$$

نتیجه قضیه کدگذاری این است که احتمال وقوع رشته s را با پیچیدگی آن مرتبط می‌کند. به عبارت دیگر، اگر یک رشته خاص s توسط برنامه‌های مختلف تولید شود، آن را "ساده" در نظر می‌گیرند. از طرف دیگر، اگر یک برنامه بسیار خاص برای تولید رشته داده شده لازم باشد، این رشته را می‌توان به عنوان "پیچیده" در نظر گرفت. قضیه کدگذاری همچنین نشان می‌دهد که پیچیدگی یک رشته s را می‌توان از احتمال وقوع آن با استفاده از

¹ Universal Turing Machine

^۲ نوعی ماشین محاسباتی است که می‌تواند بر اساس یک داده تصادفی یک محاسبه تورینگ تصادفی را شبیه‌سازی نماید.

³ Levin

فرمول زیر تقریب زد:

$$K_T(s) \approx -\log_2 p^a(s) \quad (۴)$$

پیچیدگی محاسبه شده با استفاده از روش کولموگروف نسبت به سایر روش‌ها، دارای خطای پایین‌تری است و توصیف قوی‌تر و قابل اعتمادتری از شبکه ارائه می‌دهد. وقتی شبکه‌ها به تدریج از حالت‌های بسیار منظم به حالت‌های بسیار بی‌نظم تبدیل می‌شوند، پیچیدگی کولموگروف این انتقال را حداقل با توجه به ماتریس‌های مجاورت و ماتریس‌های لاپلاسی به تصویر می‌کشد (مورزی و همکاران، ۲۰۱۷).^۱

۳. نتایج تجربی

۳-۱. تعریف متغیرهای مورد بررسی

توسعه مالی از طریق گسترش و ایجاد ابزارها، نهادها و بازارهای مالی نوین، سعی در تقویت سرمایه‌گذاری و افزایش رشد اقتصادی دارد (سینا و نادری، ۱۳۹۷). از آنجایی که توسعه مالی با تسهیل جریان منابع مالی، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد، لذا بروز مشکل در سیستم مالی، سرمایه‌گذاری و رشد اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (باقری و همکاران، ۱۴۰۰). به همین جهت به منظور بررسی کارایی سیستم مالی از متغیرهای توسعه مالی استفاده شده است. پایگاه داده توسعه مالی جهانی بانک جهانی یک چارچوب مفهومی جامع و در عین حال نسبتاً ساده را برای اندازه‌گیری توسعه مالی در سراسر جهان ایجاد کرده است. این چارچوب چهار مجموعه از متغیر را مشخص می‌کند که نشان‌دهنده عملکرد خوب یک سیستم مالی باشند که برای دو مؤلفه اصلی در بخش مالی، یعنی مؤسسات مالی و بازارهای مالی اندازه‌گیری می‌شوند.

با توجه به اینکه جامعه مورد بررسی، بازار مالی اقتصاد ایران است، متغیرهای منتخب برای بررسی پیچیدگی مالی در اقتصاد ایران با توجه به آمار موجود در گزارشات بانک جهانی، به شرح جدول ۱ است. متغیرهای مورد بررسی شامل ۲۲ متغیر، که عمدتاً در گروه مؤسسات مالی قرار می‌گیرند و سه متغیر مربوط به بازارهای مالی است. مؤسسات مالی؛ شامل بانک‌ها و سایر مؤسسات مالی سپرده‌پذیر و همچنین مؤسسات بیمه و بازارهای مالی؛ شامل بورس و فرابورس است.

¹ Morzy et al.

جدول ۱: جزئیات متغیرهای مورد بررسی

ردیف	نام شاخص	شرح	نماد
۱	نسبت دارایی‌های بانک مرکزی به تولید ناخالص داخلی (٪)	دارایی‌های بانک مرکزی مطالبات بانک مرکزی از بخش غیرمالی واقعی داخلی است، که به صورت درصدی از تولید ناخالص داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.	DI.06
۲	نسبت دارایی‌های بانک‌های سپرده‌پذیر به مجموع دارایی‌های بانک‌های سپرده‌پذیر و دارایی‌های بانک مرکزی (٪)	کل دارایی‌های نگهداری شده توسط بانک‌های سپرده‌پذیر به عنوان سهمی از مجموع سپرده بانک و بانک مرکزی از بخش واقعی غیرمالی داخلی محاسبه می‌شود. دارایی‌ها شامل مطالبات مربوط به بخش غیرمالی واقعی داخلی است که شامل دولت، شرکت‌های دولتی غیرمالی و بخش خصوصی می‌شود.	DI.04
۳	نسبت دارایی‌های بانک‌های سپرده‌پذیر به تولید ناخالص داخلی (٪)	کل دارایی‌های نگهداری شده توسط بانک‌های سپرده‌پذیر به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرد. دارایی‌ها شامل مطالبات مربوط به بخش غیرمالی واقعی داخلی است که شامل دولت، شرکت‌های دولتی غیرمالی و بخش خصوصی می‌شود.	DI.02
۴	نسبت اعتبارات داخلی به بخش خصوصی به تولید ناخالص داخلی (درصد تولید ناخالص داخلی)	اعتبارات داخلی به بخش خصوصی به منابع مالی ارائه شده به بخش خصوصی اطلاق می‌شود. مانند وام، خرید اوراق بهادار بدون سهام، اعتبارات تجاری و سایر حساب‌های دریافتنی که ادعای بازپرداخت را ایجاد می‌کند. برای برخی از کشورها این ادعاها شامل اعتبار به شرکت‌های دولتی است.	DI.14
۵	نسبت سپرده‌های سیستم مالی به تولید ناخالص داخلی (٪)	سپرده‌های تقاضا، مدت‌دار و پس‌انداز در بانک‌های سپرده‌پذیر و سایر موسسات مالی به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود.	DI.08
۶	نسبت حجم حق بیمه عمر به تولید ناخالص داخلی (٪)	حجم حق بیمه، حق بیمه‌های مستقیم بیمه گر است که (در صورت بروز حادثه یا سلامت) در طول سال تقویم قبلی دریافت شده است.	DI.09
۷	نسبت بدهی‌های نقدی به تولید ناخالص داخلی (٪)	بدهی‌های نقدی به عنوان پول گسترده یا M3 نیز شناخته می‌شوند. که عبارتند از مجموع ارز و سپرده‌های بانک مرکزی (M0)، به اضافه سپرده‌های قابل انتقال و ارز الکترونیکی (M1)، به علاوه سپرده‌های مدت‌دار و پس‌انداز، سپرده‌های قابل انتقال ارز، گواهی سپرده، و قراردادهای بازخرید اوراق بهادار (M2)، به علاوه.	DI.05

ردیف	نام شاخص	شرح	نماد
		چک‌های مسافرتی، سپرده‌های مدت‌دار ارزی، اوراق تجاری، و سهام صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک یا وجوه بازار که توسط ساکنان نگهداری می‌شود.	
۸	نسبت حجم حق بیمه غیرعمر به تولید ناخالص داخلی (٪)	نسبت حجم حق بیمه غیرعمر به تولید ناخالص داخلی. حجم حق بیمه، حق بیمه‌های مستقیم بیمه گر است که (در صورت بروز حادثه) یا (در صورت زندگی/سلامت) در طول سال تقویم قبلی دریافت شده است.	DI.10
۹	نسبت اعتبار خصوصی توسط بانک‌های سپرده‌پذیر و سایر مؤسسات مالی به تولید ناخالص داخلی (٪)	نسبت اعتبار خصوصی توسط بانک‌های سپرده‌پذیر و سایر مؤسسات مالی به تولید ناخالص داخلی (٪)	DI.12
۱۰	نسبت اعتبار خصوصی توسط بانک‌های سپرده‌پذیر به تولید ناخالص داخلی (٪)	منابع مالی ارائه شده به بخش خصوصی توسط بانک‌های پول داخلی به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.	DI.01
۱۱	نسبت ارزش بازار سهام به تولید ناخالص داخلی (٪)	ارزش کل سهام فهرست شده در یک بازار سهام به عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود.	DM.01
۱۲	ارزش کل بازار سهام معامله شده به تولید ناخالص داخلی (٪)	ارزش کل همه سهام معامله شده در بورس اوراق بهادار به عنوان درصدی از تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود.	DM.02
۱۳	نسبت گردش بازار سهام (٪)	عبارت است از ارزش کل سهام معامله شده در طول دوره تقسیم بر میانگین ارزش بازار آن دوره.	EM.01
۱۴	نسبت میزان اعتبار به شرکت‌های دولتی به تولید ناخالص داخلی (٪)	میزان اعتبار پرداخت شده از سوی بانک‌های سپرده‌پذیر به دولت و شرکت‌های دولتی نسبت به تولید ناخالص داخلی (٪) محاسبه می‌شود	EI.08
۱۵	نسبت اعتبار بانکی به سپرده‌های بانکی (٪)	منابع مالی ارائه شده به بخش خصوصی توسط بانک‌های داخلی به عنوان سهمی از کل سپرده‌ها می‌باشد. کل سپرده‌ها شامل سپرده‌های نقدی، مدت‌دار و پس‌انداز در بانک‌های پول سپرده است.	SI.04
۱۶	نسبت میزان سپرده‌های بانکی به تولید ناخالص داخلی (٪)	این نسبت ارزش کل سپرده‌های تقاضا (DDA)، مدت‌دار و پس‌انداز در بانک‌های سپرده‌پذیر داخلی به عنوان سهمی از تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌شود. بانک‌های سپرده‌پذیر شامل بانک‌های تجاری و سایر مؤسسات مالی هستند که سپرده‌های قابل انتقال مانند سپرده‌های عمدی را می‌پذیرند.	OI.02

ردیف	نام شاخص	شرح	نماد
۱۷	مطالبات خارجی تلفیقی بانک‌های گزارش‌دهنده BIS به تولید ناخالص داخلی (٪):	نسبت مطالبات خارجی تلفیقی به تولید ناخالص داخلی برای بانک‌هایی که به بانک تسویه حساب‌های بین‌المللی (به انگلیسی: Bank for International Settlements یا BIS) گزارش می‌دهند. مطالبات خارجی به عنوان مجموع مطالبات برون مرزی به اضافه مطالبات داخلی دفاتر خارجی به همه ارزها تعریف می‌شود. در آمارهای بانکی تلفیقی، مطالباتی که به افراد غیرمقیم اعطا یا تعمیم داده می‌شود، مطالبات فرامرزی نامیده می‌شود. در چارچوب آمار بانکی تلفیقی، دعاوی محلی به ادعاهای وابستگان خارجی بانک‌های داخلی (شعبه‌ها/شرکت‌های تابعه) از ساکنان کشور میزبان (یعنی کشور محل اقامت شرکت‌های وابسته) اشاره دارد.	OI.14
۱۸	وام‌ها و سپرده‌های خارجی بانک‌های گزارش‌دهنده در مقابل کلیه بخش‌ها (درصد سپرده‌های بانکی داخلی)	درصد وام‌ها و سپرده‌هایی که مربوط به بانک‌های گزارش‌دهنده است نسبت به همه بخش‌ها، به صورت سهمی از سپرده‌های بانکی داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.	OI.12
۱۹	وام‌ها و سپرده‌های خارجی بانک‌های گزارش‌دهنده در مقابل بخش بانکی (درصد سپرده‌های بانکی داخلی)	درصد وام‌ها و سپرده‌های مربوط به بانک‌های گزارش‌دهنده نسبت به بخش بانکی به صورت سهمی از سپرده‌های بانکی داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.	OI.10
۲۰	وام‌ها و سپرده‌های خارجی بانک‌های گزارش‌دهنده در مقابل بخش‌های غیربانکی (درصد سپرده‌های بانکی داخلی)	درصد وام‌ها و سپرده‌های مربوط به بانک‌های گزارش‌دهنده نسبت به بخش‌های غیربانکی به صورت سهمی از سپرده‌های بانکی داخلی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.	OI.11
۲۱	نسبت حجم حواله به تولید ناخالص داخلی (٪)	حواله‌های کارگران و غرامت کارکنان شامل نقل و انتقالات جاری توسط کارگران مهاجر و دستمزدها و حقوق‌های دریافت‌شده توسط کارگران غیرمقیم است.	OI.13
۲۲	نسبت حجم لیزینگ جهانی به تولید ناخالص داخلی (٪)	نسبت حجم لیزینگ جهانی به تولید ناخالص داخلی (٪)	OI.17

مأخذ: Bank Report 2016 World

۳-۲. رسم گراف برای سیستم مالی اقتصاد ایران

با مشخص شدن متغیرهای مورد بررسی جهت تعیین میزان پیچیدگی، گام بعدی؛ محاسبه میزان همبستگی میان جفت متغیرها و رسم ماتریس همبستگی آنها است. در سال‌های اخیر مفاهیم زیادی در خصوص کمی‌سازی و سنجش پیچیدگی توسعه یافته است. تجزیه و تحلیل شبکه، یک روش نوآورانه برای داده‌کاوی و کشف دانش موجود در داده‌های مالی است (تانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۸). شبکه یک روش شهودی به منظور بررسی همبستگی اجزای شبکه می‌باشد. در سیستم مالی، شبکه‌سازی به توصیف سیستم مالی، ساختار سیستمی آن و اثرات مسری احتمالی کمک می‌کند. این شبکه می‌تواند بینش‌های مهمی در مورد پیامدهای سطح سیستم ارائه دهد و به کشف تغییرات در ریزساختار بازار، شکل‌گیری حباب و تغییرات در مدل‌های کسب‌وکار کمک کند (رادانت و کنت^۲، ۲۰۱۶).

با توجه به این‌که بخش مالی یک سیستم پویا است، لذا به منظور لحاظ کردن پویایی در این سیستم، متغیرهای مورد بررسی در یک بازه زمانی در نظر گرفته می‌شوند. به این منظور داده‌های مورد نیاز برای کشور ایران در فاصله زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۵ مورد بررسی قرار گرفتند. ماتریس همبستگی میان متغیرهای مورد بررسی با استفاده روش همبستگی پیرسون^۳ و نرم‌افزار SPSS محاسبه و نتایج در سطوح معنی‌داری ۵٪ و ۱٪ در جدول ۲ آورده شده است. برای رسم شبکه مالی، لازم است ماتریس مجاورت محاسبه شود. به منظور محاسبه این ماتریس جفت متغیرهایی که دارای رابطه همبستگی هستند، عدد ۱ و سایر موارد صفر در نظر گرفته می‌شود، که نتایج محاسبه ماتریس مجاورت در سطح معنی‌داری ۱٪ در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۲: ماتریس همبستگی جفت متغیرهای مورد بررسی برای اقتصاد مالی ایران

Correlations																									
DL10	DL17	DL11	DL19	DL12	DL14	DL08	DL04	DL06	DL09	DL02	DL01	DL13	DL10	DL05	DL03	DL08	DL02	DL14	DL04	DL06					
1.000																									
	1.000																								
		1.000																							
			1.000																						
				1.000																					
					1.000																				
						1.000																			
							1.000																		
								1.000																	
									1.000																
										1.000															
											1.000														
												1.000													
													1.000												
														1.000											
															1.000										
																1.000									
																	1.000								
																		1.000							
																			1.000						
																				1.000					
																					1.000				
																						1.000			
																							1.000		
																								1.000	
																									1.000

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

مأخذ: یافته‌های پژوهشگر

¹ Tang et al.² Raddant, M. & Kenett, D.Y.³ Pearson

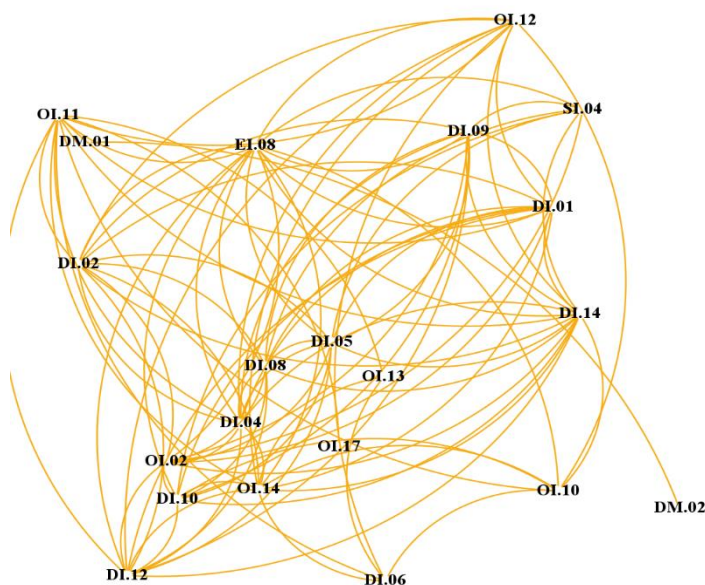
جدول ۳: ماتریس مجاورت جفت متغیرهای مورد بررسی برای اقتصاد مالی ایران

OL13	OL17	OL11	OL10	OL12	OL14	OL02	SL04	EL08	EM01	DM02	DM01	DI01	DI12	DI10	DI05	DI09	DI08	DI02	DI14	DI04	DI06	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL06
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL04
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL14
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL02
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL08
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL09
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL05
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL01
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	DM01
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	DM02
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	EM01
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	EL08
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	SL04
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL02
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL14
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL17
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	OL13

مأخذ: یافته‌های پژوهشگر

به منظور رسم گراف سیستم مالی ایران، طبق ماتریس مجاورت محاسبه شده، نودهایی که همبستگی یک دارند توسط یال به هم مرتبط می‌شوند. به این منظور، متغیر EM.01 به دلیل اینکه با هیچ متغیری ارتباط ندارد، حذف شده است. همچنین متغیرهای DM.01 و DM.02 که تنها متغیرهای بازار مورد بررسی در مطالعه حاضر می‌باشد، تنها با یکدیگر ارتباط داشته و با سایر متغیرها مرتبط نیستند و بنابراین حذف می‌شوند. گراف مالی برای متغیرهای باقی‌مانده و با استفاده از ماتریس مجاورت توسط نرم‌افزار پایتون^۱ رسم شده و خروجی برای کل سیستم مالی و برای متغیرهای عمق مالی و سایر به تفکیک رسم شده توسط شکل ۱ نشان داده شده است. در گراف رسم شده ملاحظه می‌شود که متغیرهای EI.08 و DI.14 دارای ۱۵ عدد یال و بیشترین تعداد یال در گراف مالی است. بعد از این دو متغیر DI.01 و DI.12 دارای بالاترین تعداد یال یعنی ۱۲، هستند. طبق تعاریف ارائه شده در جدول ۱، متغیرهای دارای بیشترین تعداد یال مربوط به میزان اعتبارات دولتی، داخلی و خصوصی هستند. به عبارت دیگر بانک‌ها و اعتبارات در گراف مالی نقش مرکزیت در سیستم مالی اقتصاد ایران را دارا می‌باشد.

¹ Python



شکل ۱: گراف کلی سیستم مالی ایران (شامل مؤسسات مالی و بازار)
منبع: یافته‌های پژوهشگر

با بررسی شبکه مالی رسم شده با استفاده از متغیرهای مالی در اقتصاد ایران، این نتیجه حاصل می‌شود که؛ اولاً، در اقتصاد ایران بازار سرمایه نقش مؤثری در شبکه مالی ندارد و با بقیه اجزای شبکه هیچ‌گونه ارتباطی ندارد. ثانیاً، متغیرهای مربوط به اعتبارات اعطایی دارای نقش بسیار پررنگی در شبکه مالی ایفا می‌کنند. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت بازار پول و نقش تعیین‌کننده آن در سیستم مالی اقتصاد ایران می‌باشد. به عبارت دیگر بانک‌ها و اعتبارات اعطایی توسط آنها در گراف مالی نقش مرکزیت در سیستم مالی اقتصاد ایران را ایفا کرده و اقتصاد ایران بانک محور تلقی می‌شود. همچنین از میان متغیرهای مربوط به اعتبارات، اعتبارات اعطایی به دولت با اکثر متغیرهای مورد بررسی مرتبط بوده و نقش بسیار مؤثری در شبکه مالی اقتصاد ایران ایفا می‌کند، که این موضوع می‌تواند بزرگ بودن دولت در اقتصاد ایران را نتیجه دهد.

۳-۳. محاسبه پیچیدگی با استفاده از روش کولموگروف

روش بررسی پیچیدگی مالی در اقتصاد ایران در این پژوهش، روش کولموگروف است. پیچیدگی کولموگروف میزان پیچیدگی موجود در یک رشته را محاسبه می‌کند. از آنجایی که این مفهوم به عنوان یک معیار برای اندازه‌گیری پیچیدگی گراف‌ها نیز به کار می‌رود، لذا می‌توان از آن برای محاسبه پیچیدگی در شبکه مالی اقتصاد ایران نیز

استفاده نمود. طبق تعریف، در این روش، پیچیدگی مالی از بعد تصادفی بودن سیستم مالی و قابلیت پیش‌بینی بودن، تعریف می‌شود. به عبارت دیگر سیستم مالی هر چه تصادفی‌تر باشد، دارای پیچیدگی بالاتری نیز می‌باشد، چراکه قابلیت پیش‌بینی پایینی دارد. با استفاده از پیچیدگی کولموگروف برای گراف مالی میزان ساختار پیچیده یا ساده بودن آن گراف را می‌توان اندازه‌گیری نمود. همچنین، با استفاده از این مفهوم، علاوه بر محاسبه دقیق میزان پیچیدگی در یک شبکه یا گراف در یک مقطع زمانی، می‌توان به صورت مقایسه‌ای نیز عمل نمود، مقایسه بین گراف‌های مختلف و مقایسه یک گراف در بازه‌های زمانی مختلف.

با در نظر گرفتن ماتریس مجاورت ارائه شده در جدول ۳، اگر هر ردیف از ماتریس مجاورت به عنوان یک بلوک جداگانه در نظر گرفته شود، نمایش رشته ماتریس مجاورت به صورت رشته ۱ زیر خواهد بود. این رشته شامل ۲۲ عضو بوده که هر عضو ۲۲ رقم خواهد داشت.

S={0000000000000000111101, 0011111011000101110100, 0101111111000111111100, 0110111011000101110100, 0111011111000111000000, 0111101111000111000000, 0111101111000111000000, 0010111011000111101000, 0111111101000101110100, 0111111110000101110100, 0000000000010000000000, 0000000000100000000000, 0000000000000000000000, 0111111111000011111100, 0010111100000101000000, 0111111111000110000000, 1111000111000100011101, 1111000011000100101100, 1010000100000100110100, 1111000011000100111011, 0000000000000000000100, 10000000000000000100100}

با توجه به اینکه متغیرهای مربوط به بازار سرمایه در اقتصاد ایران به گونه‌ای مستقل عمل می‌کنند، لذا از لیست متغیرها حذف می‌شود و رشته عددی ایجاد شده طبق رشته ۲ ذیل، ۱۹ عضو خواهد داشت که هر عضو ۱۹ رقم خواهد بود.

{000000000000000011110,	0011111011010111010,	0101111111011111110,	S=	
0110111011010111010,	0111011111011100000,	0111101111011100000,		
0111110111011100000,	0010111011011110100,	011111101010111010,		
0111111110010111010,	0000000000000000000,	0111111111001111110,		
0010111100010100000,	0111111111011000000,	1111000111010001110,		(Y)
1111000011010010110,	1010000100010011010,	1111000011010011101,		
	00000000000000000010,	1000000000000010010}		

طبق تعریف ارائه شده برای پیچیدگی کولموگروف، عدد پیچیدگی برای رشته به‌دست آمده از سیستم مالی اقتصاد ایران، به الگوی موجود در اعداد رشته بستگی دارد. با توجه به اینکه در رشته ایجاد شده الگو و نظم خاصی مشاهده نمی‌شود، لذا در صورتی که احتمال ایجاد رشته فوق در نظر گرفته شود و هر متغیر به صورت باینری^۱ در نظر گرفته شود، تعداد 19×19 متغیر یعنی ۳۶۱ متغیر برای این رشته وجود دارد. از آنجایی که دو حالت کلی (۰ و ۱)، برای متغیرهای موجود در رشته متصور است، لذا با در نظر گرفتن هر دو حالت در یک زمان (استفاده از کد

¹ Binary

دستوری if، میزان پیچیدگی کولموگروف برای این رشته تقریباً معادل ۸.۴۳ خواهد بود؛

$$K \approx \log_2^{361} = 8.43 \quad (3)$$

برای بررسی عدد کولموگروف به دست آمده برای شبکه مالی ایران، لازم است که بازه حداقل و حداکثر عدد کولموگروف برای این رشته عددی مشخص شود. حداقل عدد کولموگروف برای این رشته عددی زمانی اتفاق می افتد که همه آرایه ها مثل هم باشند، یعنی همه اعداد صفر یا یک باشند. در این حالت عدد کولموگروف معادل صفر خواهد بود؛

$$K \log_2^1 = \min \quad (4)$$

حداکثر میزان کولموگروف زمانی اتفاق می افتد که رشته عددی به صورت کاملاً تصادفی باشد. به این منظور در صورتی که از کد دستوری random استفاده شود، عدد تصادفی ایجاد شده برای یک رشته عددی ۱۹×۱۹ تایی، ۷۳۹ بوده که با تکرار این کد دستور عدد کولموگروف حدوداً معادل ۹.۵۲ خواهد بود؛

$$K \log_2^{739} \approx \max \quad (5)$$

طبق محاسبات صورت گرفته این نتیجه حاصل می شود که عدد پیچیدگی کولموگروف برای رشته عددی ۱۹×۱۹ تایی، بین بازده صفر و ۹/۵۲ یا تقریباً بین صفر تا ۱۰ می تواند قرار بگیرد. عدد محاسبه شده برای سیستم مالی اقتصاد ایران ۸.۴۳ بوده که با مقایسه با بازه محاسبه شده، این نتیجه حاصل می شود که عدد کولموگروف محاسبه شده به حد بالای کولموگروف نزدیک است، به عبارت دیگر شبکه مالی اقتصاد ایران دارای پیچیدگی بالایی است.

۴. نتیجه گیری و پیشنهادات سیاستی

بخش مالی شامل بازارها و مؤسسات مالی، به عنوان موتور محرک اقتصاد کشور، به دلیل تعداد زیاد اجزا و ارتباطات بالای عناصر مالی، به عنوان یک سیستم پویای پیچیده در نظر گرفته می شود. بررسی میزان پیچیدگی در سیستم مالی یک کشور کمک می کند تا علاوه بر مشخص شدن پیچیدگی های موجود در این سیستم، با اتخاذ سیاست های مناسب از بروز نارسایی ها و بحران ها در این بخش جلوگیری شود. در این راستا در این پژوهش، پیچیدگی مالی در اقتصاد ایران با رویکرد کولموگروف، در سال های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱ با هدف دستیابی به توسعه مالی مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت.

این پژوهش برای اولین بار میزان تأثیرگذاری و اهمیت اجزای سیستم مالی در اقتصاد ایران را با توجه به میزان همبستگی اجزا به صورت سیستمی مورد بررسی قرار داده است تا تأثیرگذارترین بخش در سیستم مالی اقتصاد ایران مشخص شود. طبق گراف مالی رسم شده برای متغیرهای در دسترس ارائه شده توسط بانک جهانی در اقتصاد ایران این نتایج حاصل می شود که؛ اولاً بازار سرمایه در اقتصاد ایران دارای نقش مؤثر و تعیین کننده در سیستم مالی کشور ایران نیست، ثانیاً دولت و متغیرهای مربوط به اعتبارات تخصیص یافته دولتی نقش مرکب

در گراف سیستم مالی دارند. این موضوع نشان‌دهنده نقش مؤثر و تعیین‌کننده دولت در ساختار مالی ایران است. ثالثاً، متغیرهای مربوط به نسبت اعتبارات تخصیص یافته به کلیه بخش‌ها به تولید ناخالص داخلی دارای بیشترین ارتباط با متغیرهای این بخش را دارند، به عبارت دیگر بانک‌ها و مؤسسات مالی سپرده‌پذیر تعیین‌کننده‌ترین نهادهای مالی نسبت به بازار سرمایه و مؤسسات بیمه هستند که با توجه به این موضوع سیستم مالی اقتصاد ایران بانک محور می‌باشد و بخش بازار سرمایه نقش مؤثری در این بازار ایفا نمی‌کند.

میزان و نوع پیچیدگی مالی با استفاده از محاسبات عددی و روش کولموگروف نیز نوآوری این پژوهش به شمار می‌رود. با بررسی سری عدد ایجاد شده در ماتریس مجاورت ملاحظه شد که الگوی خاصی در این اعداد موجود نبوده و بنابراین به نوعی تصادفی و قابل پیش‌بینی پایین به‌شمار می‌رود. با استفاده از نظریه احتمال، پیچیدگی کولموگروف برای ایران ۸.۴۳ به دست آمد که به حد بالای این میزان یعنی عدد ۹.۵۲ نزدیک‌تر بوده و بنابراین تصادفی با پیچیدگی بالا به‌شمار می‌رود. به منظور کاهش پیچیدگی مالی، پیشنهاد می‌شود تمرکز تأمین مالی بنگاه‌ها از طریق بازار سرمایه صورت گیرد و به منظور کاهش نقش دولت در سیستم مالی بانک‌ها و سایر مؤسسات مالی اعتبارات کمتری را به دولت و شرکت‌های دولتی اختصاص دهند.

۵. پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی

از آنجایی که سیستم مالی با رویکرد شبکه‌ای برای سایر کشورها موضوع کاربردی و جدیدی است، لذا، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی شبکه مالی در سایر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مورد بررسی قرار گرفته و باهم مقایسه شود. همچنین، عدد محاسباتی سری زمانی پیچیدگی مالی می‌تواند به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌سازی‌های مالی در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد، از جمله موضوعهای پیشنهادی برای پژوهش‌های آتی می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- بررسی ارتباط متقابل پیچیدگی مالی و پولشویی در ایران
- تأثیر میزان پیچیدگی مالی و ورود سرمایه (رویکرد مقایسه‌ای کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه)
- بررسی اثر پیچیدگی مالی بر میزان کارایی بازارهای مالی ایران در مقایسه با کشورهای منطقه

فهرست منابع

- باقری، محمد، نقی‌لو، احمد، و دالمن‌پور، محمد (۱۴۰۰). بررسی تأثیر غیرخطی شاخص توسعه مالی بر توسعه بخش صنعت در کشورهای اسلامی رهیافت رگرسیون انتقال ملایم تابلویی (PSTR)، *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۱۵(۳)، ۳۳۵-۳۷۰.
- بیانی، عذرا، محمدی، تیمور، بهرامی، جاوید و توکلیان، حسین (۱۳۹۸). اثر شوک عوامل مؤثر بر بحران‌های مالی در اقتصاد ایران: رویکرد خودرگرسیون برداری پارامتر متغیر- زمان، *فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۳(۲)، ۴۵-۷۲.

- چنارانی، حسن، یآوری، کاظم، حیدری، حسن و شریف‌زاده، محمدجواد (۱۴۰۲). اثر بحران بانکی (ناآرامی) بر متغیرهای کلان اقتصادی در چارچوب مدل تعادل عمومی پویای تصادفی، *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۱۲ (۴۶)، ۳۶-۹.
- حسین‌پور، مهناز، هژبرکیانی، کامبیز، زندی، فاطمه، دهقانی، علی و سعیدی، خلیل (۱۳۹۹). مقایسه تطبیقی آثار شوک‌های مالی دولت بر رشد اقتصادی در اقتصاد ایران و کشورهای منا، *فصلنامه اقتصاد کاربردی*، ۱۰ (۳۳ و ۳۴)، ۵۲-۳۵.
- سرگلزائی، مصطفی و صفایی ایلخچی، مهدی (۱۴۰۱). تأثیر شوک‌های اقتصاد کلان بر ریسک نقدینگی سیستم بانکی: رویکرد (MS-VAR)، *تحقیقات مالی*، ۲۴ (۴)، ۵۷۶-۵۲۸.
- فلاحی، سمانه و رحمانی، تیمور (۱۳۹۷). شناسایی نقش شوک‌های مالی در نوسانات اقتصاد ایران، *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۲۳ (۴)، ۳۵-۳.
- کرم، سینا و نادری، پیام. (۱۳۹۷). بررسی اثر رمیتانس بر توسعه مالی، *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۲۵، ۳۴۳-۳۶۳.
- نصرتی‌قزوینی‌نژاد، محمود، پاک‌مرام، عسگر و رضایی، نادر (۱۴۰۳). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر برنامه معاملات پویا در بازار سرمایه ایران، *فصلنامه اقتصاد مالی*، ۱۸ (۶۹)، ۴۶۰-۴۳۹.
- Babus, A. (2016). The formation of financial networks. *The RAND Journal of Economics*, 47(2), 239-272.
- Chan, S. (2001). Complex adaptive systems, *ESD, 83 research seminar in engineering systems*, Massachusetts Institute of Technology.
- Espinosa- Vega, M. A. & Russell, S. (2020). Interconnectedness, systemic crises, and recessions, *Latin American Journal of Central Banking*, 1(2020).
<https://databank.WorldBank.org/source/global-financial-development>.
- King, R. G. & Levine, R. (1993). Financial intermediation and economic development, in financial intermediation in construction of Europe, *Idsl Colin Mayer a Xavier*, 156-189.
- Li, F., Kang, H. & Xu, J. (2022). Financial stability and network complexity: a random matrix approach, *International Review of Economics & Finance*, 80 (2022), 177-185.
- Liao, Y., Zhou, Y., Xu, F. & Shu, X. (2020). A Study on the complexity of a new chaotic financial system, *Hindawi Complexity*. ID 8821156.
- Morzy, M., Kajdanowicz, T. & Kazienko, P. (2017). On measuring the complexity of networks: Kolmogorov complexity versus Entropy, *Hindawi Complexity*. ID 3250301.
- Raddant, M. & Kenett, D.Y. (2016). Interconnectedness in the global financial market, *Office of Financial Paper, Working Paper*, 16-09.
- Salim, Z., Ramdhan, D., Daly, K. (2023). Centrality measures of financial system interconnectedness: a multiple crises study, *Heliyon*, 9(2023), 1-21.
- Spierdijk, L., Bikker, J. A. & Van Den Hoek, P. (2012). Mean reversion in international stock markets: an empirical analysis of the 20th century, *Journal of International Money and Finance*, 31(2), 228-249.
- Tang, Y. Xiong, J. Jia, Z. Zhang, Y. (2018). Complexities in financial network topological dynamics: modeling of emerging and developed stock markets, *COMPLEXITY*, 2018, 1-31.

**Financial Complexity in Iran's Economy:
Using Kolmogorov Method**

Fatemeh Pourabdollah¹
Seyed-nezamuddin Makiyan²
Mehdi Hajamini³

Received: 02/ July /2025

Accepted: 02/ September /2025

Abstract

The development technology may lead to increased complexity and inter-dependence in all aspects of life. Financial section of any economy can be analyzed in terms of complexity. This can be because of globalization, the expansion of financial markets, the increase in the number of financial institutions, technology, and even the increase in population. Despite of increasing the speed and efficiency in this sector as result of complexity, this can create challenges and problems. Hence, it is necessary to analyze complexity in financial network of Iran's economy.

For investigating the complexity in financial sector for Iran's economy, Kolmogorov method is applied and the necessary data are collected from World Bank by 2005 – 2021. To doing this, at first, the adjacency matrix of the financial network of the Iranian financial system is calculated, and, in second step this financial system is drawn in terms of the relationship between the important variables of the finance sector. In this approach, financial complexity is the level of randomness and unpredictability of the financial system. Analyzing the network of the financial system indicates that, the capital market in the Iran's economy is not an effective sector in comparison of the money and insurance markets. In other words, the economy of Iran is bank oriented. Among financial institutions, banks and depository institutions play a decisive role in the country. Also, according to calculations, the financial sector in Iran is completely random and unpredictable. Therefore, the finance sector of the economy is highly complex. So, it can be interpreted there is high systemic risk in the country's financial system.

Keywords: Financial Complexity, Financial Network, Kolmogorov Complexity

JEL Classification: C58 ,C63 ,C45

¹ Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran. f.poorabdollah67@gmail.com

² Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran. (Corresponding author). nmakiyan@yazd.ac.ir

³ Department of Economics, Faculty of Economics, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran. hajamini.mehdi@yazd.ac.ir