

## اندازه‌گیری پویای پایداری شبکه بین بانکی ایران

طیبه زنگنه \*

محمدعلی رستگار \*\*

سید کاظم چاوشی \*\*\*

میر فیض فلاح شمس \*\*\*\*

### چکیده

بانک‌ها با ورود به بازار بین بانکی به منظور ایجاد موازنه بین سود آوری و مدیریت ریسک نقدینگی خود، متناسب با شرایط فعالیت‌های کوتاه مدت، نسبت به تجهیز منابع از طریق این بازار و یا اعطای وام کوتاه مدت به سایر بانک‌ها اقدام می‌نمایند. تعهدات بانک‌ها در بازار بین بانکی می‌تواند به علت اثر سرایت منجر به بروز و افزایش ریسک سیستمی شود. بدین منظور در این پژوهش به بررسی پایداری شبکه بین بانکی در طی زمان با استفاده از سنجه‌های آماری به کار رفته در تئوری شبکه‌های پیچیده پرداخته شده است. لذا بررسی و شاخص‌های اندازه‌گیری ریسک سیستمی شامل ضریب خوشه بندی، میانگین کوتاهترین طول مسیر، همگونی و تمرکز شبکه برای شبکه‌های ماهانه محاسبه گردید. روند این سنجه‌ها در طی زمان با استفاده از تست‌های آماری به طور یکسان نشان داد که مشخصات توپولوژیکی شبکه در طی زمان تغییر کرده است و پایداری شبکه به طور معناداری به مرور کمتر و ریسک سیستمی افزایش یافته است. همچنین عملکرد بانک‌ها به تفکیک نوع آنها در شبکه بین بانکی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در صورت بروز مشکل و نکول در شبکه بیشترین آسیب پذیری از ریسک سیستمی متوجه بانک‌های دولتی-تخصصی و خصوصی شده (بانک‌های اصل ۱۴۴) بوده و بانک‌های خصوصی با توجه به حجم مبادلات بالا و جریان خالص منفی ریسک سیستمی قابل توجهی را به شبکه بازار بین بانکی تحمیل می‌کنند.

واژگان کلیدی: پایداری شبکه، ریسک سیستمی، ضریب خوشه بندی، همگونی شبکه، تمرکز شبکه

\* دانشجوی دکتری مدیریت مالی، گروه مدیریت مالی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\*\* استادیار گروه مهندسی مالی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول). Ma\_rastegar@modares.ac.ir

\*\*\* استادیار گروه مدیریت بازرگانی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

\*\*\*\* دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، گروه مدیریت بازرگانی، تهران، ایران

## مقدمه

بانک ها به عنوان مؤسسات مالی و خدماتی، نقش تعیین کننده ای در گردش پول و ثروت جامعه بر عهده دارند و از این رو از جایگاه ویژه ای در اقتصاد هر کشور برخوردارند. در نظام بانکی هر کشور، تجزیه و تحلیل بانک ها با مقاصد گوناگونی مانند ارزشیابی سهام، سودآوری، ارزیابی عملکرد، کارایی و ... صورت می گیرد، ضمن آنکه وقوع بحران مالی اخیر و آثار مخرب ناشی از انتقال بحران از بخش پولی به بخش واقعی اقتصاد، اهمیت توجه هر چه بیشتر به مقوله سلامت بانکی را آشکار ساخته است (باباجانی، سلیمی، جعفری، ۱۳۹۶)

امروزه سیاست های پولی یکی از سریعترین ابزارهای دولتها برای اعمال سیاستهای اقتصادی می باشد و مجری سیاستهای پولی بانک مرکزی و بانکها می باشند. ابزار مستقیم سیاست پولی اعم از کنترل نرخهای سود بانکی و تعیین سقف اعتباری است و ابزار غیرمستقیم سیاست پولی نیز شامل مدیریت نسبت سپرده قانونی، تعیین نرخ سود بین بانکی و همین طور انتشار اوراق مشارکت بانک مرکزی می باشد. بازار پول شامل بازار بین بانکی، بازار ثانویه اسناد خزانه، اوراق تجاری، گواهی سپرده و بازار خرید و فروش اوراق بهادار است. ابزار غیرمستقیم پولی در شرایطی که ارکان بازار پول از عمق و اندازه کافی برخوردار باشد، منشأ اثر بوده و نتایج مورد نظر را تأمین خواهد کرد. در کشورهایی که بازارهای ثانویه و خرید و فروش اوراق بهادار از پویایی و انسجام کافی برخوردار نباشد، اتکای ابزار غیرمستقیم پولی بیشتر بر بازار بین بانکی خواهد بود. ضرورت و اهمیت بازار مزبور، بانک های مرکزی کشورهای مختلف را به سمت تأسیس و گسترش آن در درون بانک و یا در تشکیلات مجزا با هدایت و رهبری خود سوق داده است؛ زیرا بانک ها و مؤسسات مالی در انجام امور روزمره خود بعضاً با کمبود منابع روبه رو می شوند. این منابع در مواردی همچون پرداخت سپرده قانونی، بازپرداخت بدهی ها و استفاده از فرصت های سودآور کاربرد دارد (توکلیان، ۱۳۹۰)

بنابراین بازار بین بانکی به عنوان یکی از ابزارهای غیرمستقیم سیاست پولی محسوب می شود. دو کارکرد مهم این بازار عبارتند از: ایفای نقش فعال و موثر بانک مرکزی از طریق راهبری نرخ سود و انتقال مطلوب نقدینگی از مؤسسات مالی دارای مازاد به مؤسسات دارای کسری وجوه (توکلی، ۱۳۹۵) شرایط اقتصادی بازارهای جهانی، رقابت شدید و نااطمینانی محیط تجاری در برخی مواقع ممکن است منجر به درماندگی مالی

شود. در ماندگی مالی که گاهی به ورشکستگی نیز می‌انجامد، به شرایطی اطلاق می‌شود که بانک نتواند به تعهدات خود در قبال اعتباردهندگان عمل کند؛ یا در عمل به این تعهدات دچار مشکل باشد (پیری، خداکریمی، ۱۳۹۶). بنابراین علیرغم اینکه بازار بین بانکی ابزاری برای تخصیص کارای نقدینگی است، می‌تواند به وسیله سرایت مالی منجر به احتمال بروز ریسک سیستمی شود. ورشکستگی و نکول ناتوانی یک بانک می‌تواند به وسیله ارتباطات بین بانکی به دیگر بانکها نیز سرایت کند (گونزالز آولاً و همکاران، ۲۰۱۶).

مطالعات تئوریک در این حوزه نشان می‌دهد که احتمال وقوع سرایت مالی توسط وام‌های بین بانکی بستگی به ساختار بازار بین بانکی دارد. ظهور ریسک سیستمی و سرایت مالی در بازار بین بانکی و در سیستم‌های پرداخت در مطالعات بین‌المللی به طور وسیعی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (آلداسور و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷. آنجلینی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲. باس و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶. لوری و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶. فورفین<sup>۶</sup>، ۲۰۰۳. لوری و جعفری<sup>۷</sup>، ۲۰۰۳) تحلیل شبکه ساختارهای اقتصادی و مالی تا به حال در موضوعاتی از قبیل روابط بین اعضای هیئت مدیره (باتیستون و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۳) شبکه‌های مالکیت سهام (کارلاشلی و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۵) و نمایش گراف ماتریس همبستگی بازده سهام (بونانو و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۳) و همچنین بازار بین بانکی (لوری و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۷) استفاده شده است.

این امر اثبات شده است که توپولوژی یک شبکه (مانند شبکه ارتباطات اینترنت، وب سایت‌های جهانی، شبکه‌های همکاری، شبکه‌های بیولوژیکی، شبکه‌های ارتباطی اجتماعی، شبکه‌های قدرت) عملکرد و پایداری آن شبکه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. (نیومن<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۴. آلبرت و بارباسی<sup>۱۳</sup>، ۲۰۰۲. ارول و ووهرآ<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۸). مجموعه عملیات

1 Gonzalez-avella

2 Aldasoro

3 Angelini

4 Boss et a

5 Iori et al., 2006

6 Furfine

7 Iori and Jafarey

8 Battiston e

9 Garlaschelli et al.

10 Bonanno et al.

11 Iori et al.

12 Newman

13 Albert and Barabasi

14 Erol and Vohra

مالی در بازار، یک سیستم پیچیده است که به طور طبیعی می تواند توسط شبکه یا گراف توضیح داده شود. مطالعات انجام شده تاکنون دو نوع شبکه در مورد تبادلات بین بانکی را مد نظر قرار داده اند: سیستم های پرداخت و بازار بین بانکی (میراندا و همکاران، ۲۰۱۴). در این مقاله تمرکز بر روی بازار بین بانکی است. جذابیت این بازار در تحقیقات آلن و گاله<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) و فریاساس<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) و تقویت شد و آنها از این بحث حمایت کردند که یکی از کانالهای سرایت مالی مبالغ پول مشترک و مبادله شده بین بانک ها در شبکه بین بانکی است. همانطور که آلن و گاله (۲۰۰۰) در مقاله خود مطرح کردند براساس مبالغی که یک بانک از بانک های دیگر قرض کرده است نکول و شکست یکی از شرکت کنندگان بازار می تواند با ایجاد اثر دومینویی منجر به شکست و نکول بانک های دیگر شود. این مسئله ارتباط قوی و مهم بین توپولوژی شبکه و پایداری مالی را نشان می دهد (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۵).

از ارتباط بانک ها در بازار بین بانکی می توان یک شبکه طراحی کرد که راس های آن بانک ها و یال ها و ام های فی مابین می باشد. مجموعه وام هایی که بین بانک ها در بازار بین بانکی مبادله می شود دارای ساختاری هستند که به طور طبیعی به وسیله تئوری شبکه قابل تفسیر می باشد. که در آن گره ها (بانک ها) به وسیله یک یال جهت دار (وام یا بدهی) یا بیشتر به یکدیگر متصل می شوند. بنابراین مشخصات یکپارچه مجموعه ای از روابط و تراکنش های بین بانکی می تواند توسط ویژگیهای آماری و توپولوژی شبکه مورد بررسی قرار گیرد. ارزیابی توپولوژی شبکه بین بانکی ما را قادر می سازد که مقاومت کلی سیستم مالی را در مقابل شوک های بیرونی بررسی نماییم.

علیرغم اهمیت بازار بانکی در مدیریت نقدینگی بانک ها و همچنین ابزاری کارآمد جهت اعمال سیاست های پولی بانک مرکزی و ضمناً خطر وجود ریسک سرایت و ریسک سیستمی در نتیجه تعاملات بین بانکی، تحقیقات اندک و انگشت شماری در این زمینه در ایران انجام شده است. لذا هدف اصلی این تحقیق اندازه گیری ریسک سیستمی شبکه بین بانکی ایران با استفاده از روشهای آماری است که در تئوری شبکه های پیچیده به کار می رود. نوآوری این تحقیق بررسی ساختار بازار بین بانکی ایران با رویکرد طراحی و تحلیل تئوری شبکه پیچیده، سنجش ریسک سیستمی و آسیب پذیری شبکه برای

1 Miranda et al.

2 Allen and Gale

3 Freixas

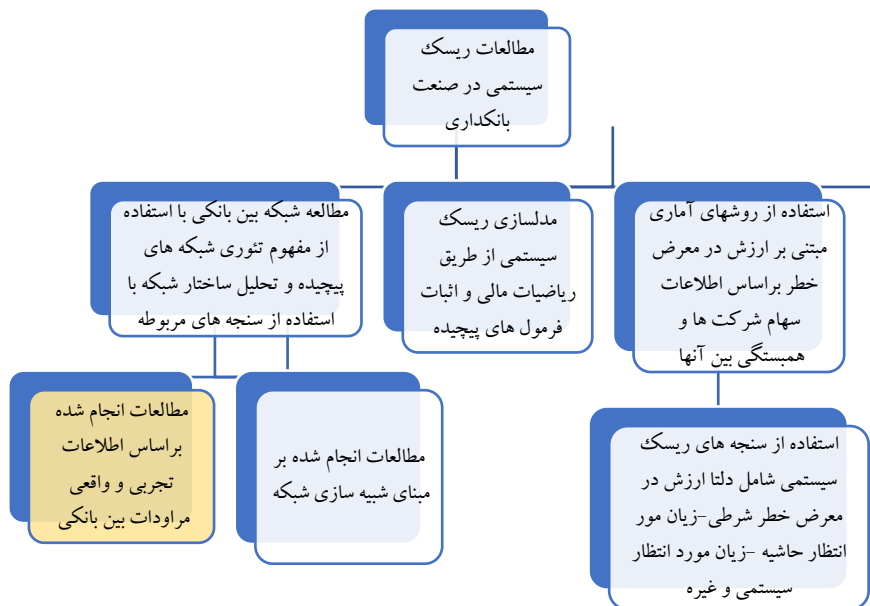
4 Silva et al.

نخستین بار در ایران می‌باشد. لازم به ذکر است تعاملات بین بانکی شامل تبادلات وام‌های یک شبه، سپرده‌های بانک‌ها نزد یکدیگر، بازار اوراق بهادار و گواهی سپرده‌ها می‌باشد. ولیکن به علت محدودیت اطلاعاتی موجود و عدم دسترسی به اطلاعات تمامی تبادلات و روابط بین بانکی در این تحقیق تمرکز بر مدلسازی با استفاده از اطلاعات بازار بین بانکی ریالی است.

در بخش دوم مفاهیم و مرور ادبیات موضوع توضیح داده شده است. در بخش سوم مدل سازی بازار بین بانکی با استفاده از تحلیل شبکه تشریح شده است. در بخش پنجم تحلیل نتایج تحقیق ارائه شده است و در آخر نیز نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی آورده شده است.

### مبانی نظری و مروری بر پیشینه تحقیق

پس از بحران سال ۲۰۰۸ تحقیقات در خصوص ریسک سیستمی و روشهای ارزیابی و مدلسازی آن اهمیت بیشتری پیدا کرد و تحقیقات متعددی تاکنون در کشورهای مختلف در این حوزه انجام پذیرفته است. با بررسی مقالات مختلف در حوزه ریسک سیستمی و اثر سرایت در صنعت بانکداری می‌توان تحقیقات را به صورت شکل ۱ طبقه بندی کرد.



شکل ۱- طبقه بندی مطالعات در حوزه ریسک سیستمی

بخش زیادی از مطالعات مربوط به ارزیابی ریسک سیستمی از طریق سنجه هایی است که مبتنی بر مفهوم ارزش در معرض خطر هستند. بخش دیگری از مطالعات با فرمول های ریاضی و از طریق ریاضیات مالی به مدلسازی ریسک سیستمی می پردازند که دارای پیچیدگی زیاد و عموماً نسبت به دو نوع دیگر غیر کاربردی تر هستند.

بخش دیگری از مطالعات که به تازگی مورد توجه قرار گرفته اند به اندازه گیری و ارزیابی ریسک سیستمی از طریق تئوری شبکه پرداخته اند. این تحقیقات از تئوری شبکه که در علوم ریاضی و فیزیک و ... به کار برده شده است در علوم مالی استفاده کرده اند و جزو تحقیقات بین رشته ای به حساب می آیند. در ذیل این گروه از تحقیقات، بخشی از محققان به دلیل عدم دسترسی به داده های واقعی از طریق شبیه سازی شبکه بر مبنای مفروضاتی که در تحقیقات گذشته اثبات شده است، تحقیق خود را انجام داده اند. گروه دیگری از تحقیقات که پژوهش حاضر نیز جزو آن دسته به شمار می آید به هدف دستیابی به نتایج واقعی و کاربردی تر از اطلاعات واقعی ارتباطات بانکی شامل وام های مبادله شده بین بانک ها به طراحی شبکه بین بانکی پرداخته اند و پس از طراحی شبکه به مطالعه ساختار و شناسایی نوع شبکه و همچنین ارزیابی پایداری آن با استفاده از مفاهیم سنجه های شبکه پرداخته اند.

در جدول ۱ نتایج به دست آمده از تحقیقاتی که در حوزه شبکه بین بانکی انجام شده است جمع بندی شده است.

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، شناسایی ساختار شبکه بین بانکی در کشورهای مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته است. سنجه های توزیع درجه، شباهت، ضریب خوشه بندی، همگونی، تمرکز و میانگین طول کوتاهترین مسیر در تحقیقات مختلف استفاده و از منظر تاثیر بر ریسک سیستمی و پایداری شبکه تفسیر شده اند.

با توجه به اینکه هیچ گونه تحقیقی در داخل کشور در این حوزه انجام نشده است، در این مقاله سعی شده است که ساختار شبکه بین بانکی به طور جامع و با استفاده از تمام سنجه های معرفی شده در تحقیقات مختلف و با به کارگیری داده های واقعی مبادلات بین بانکی مورد ارزیابی قرار گیرد. بررسی پویای پایداری شبکه در طی زمان از طریق طراحی تست های آماری جهت صحت گذاشتن به نتایج تحقیق نیز از دیگر نوآوریهای این مقاله نسبت به تحقیقات گذشته می باشد.

اندازه‌گیری پویای پایداری شبکه بین بانکی ایران ۱۷۳

جدول ۱- اهم مطالعات در حوزه برآورد ریسک سیستمی از طریق تئوری شبکه

ردیف	پژوهشگران	داده های پژوهش	قلمرو پژوهش	سنجه های مورد استفاده	نتایج پژوهش
۱	سوما و همکاران (۲۰۰۳)	داده های تجربی	شبکه بین بانکی ژاپن	توزیع درجه	شبکه بین بانکی ژاپن دارای خاصیت بدون مقیاس است و توزیع درجه از توزیع پاورلا درجه دو تبعیت می کند.
۲	لابلوی (۲۰۰۶)	داده های تجربی	سیستم پرداخت مبالغ بزرگ در مجارستان	معیار تمرکز	ساختار شبکه پرداخت در ماه جون ۲۰۰۵ دائمی و ثابت شد. همچنین در این ساختار چند مرکز تقلیدی وجود دارد.
۳	سورامای و همکاران (۲۰۰۷)	داده های تجربی	شبکه پرداخت بین بانکی آمریکا	میانگین کوتاهترین مسیر توزیع درجه	شبکه دارای میانگین کوتاهترین مسیر کوتاه و اتصال کم می باشد و توزیع درجه نشان دهنده این بود که شبکه دارای خاصیت بدون مقیاس است. همچنین ویژگی های ساختاری شبکه بلافاصله بعد از ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ به طور قابل ملاحظه ای تغییر کرده بود.
۴	باس و همکارانش (۲۰۰۷)	داده های تجربی	بازار بین بانکی کشور استرالیا	میانگین کوتاهترین مسیر توزیع درجه ضریب خوشه بندی	شبکه بین بانکی استرالیا دارای توزیع پاورلا درجه دو و دارای خاصیت کوچک جهانی می باشد. همچنین نشان دادند شبکه بین بانکی استرالیا دارای ساختار جامعه ای و چند درجه ای، ضریب خوشه بندی و میانگین طول کوتاهترین مسیر پایین می باشد.
۵	لوری و همکاران (۲۰۰۶)	داده های تجربی و شبیه سازی	بازار بین بانکی کشور ایتالیا	همگونی	در یک مدل شبیه سازی شده از معاملات بانک های نا همگون، ساختار شبکه نقش حیاتی در پایداری کل سیستم دارد. آنها در یک بازار مجازی و ساختگی نشان دادند که زمانی که بانک ها نا همگون هستند، ارتباط بالای بین آنها ریسک سیستمی و سرایت را افزایش می دهد. زمانی که ارتباط متقابل بین بانک ها نا همگون است، خطر سرایت و نارسایی سیستمی افزایش می یابد و نا همگنی به تنهایی می تواند به بی ثباتی کمک کند.
۶	لوری و همکاران (۲۰۰۷)	استفاده از داده های تجربی	بازار بین بانکی کشور ایتالیا	توزیع درجه همگونی	شبکه بین بانکی ایتالیا تصادفی است و در طول زمان تغییر می کند. همچنین شبکه دارای دو جامعه می باشد. یکی از جوامع شامل بانک های بزرگ و خارجی و جامعه دیگر شامل بانک های کوچک می باشد. این نشان دهنده این است که شبکه دارای ساختار جامعه ای است. شبکه به شدت نا همگون است و بانک های بزرگ وجوه خود را از بانک های کوچک فرض می گیرند که این ساختار با این ویژگی مشکوک به بروز ریسک سیستمی می باشد.
۷	نیر و همکارانش (۲۰۰۷)	استفاده از داده های تجربی و شبیه سازی	بازار بین بانکی آلمان	درجه گره ها تمرکز	با تغییر پارامترهای تعیین کننده ساختار شبکه مالی از قبیل سطح سرمایه گذاری، درجه ارتباط بانک ها با هم، اندازه وام های بین بانکی و درجه تمرکز سیستم، رابطه بین ساختار سیستم مالی و ریسک سیستمی را بررسی کردند. آنها نشان دادند که تاثیر درجه ارتباط بانک ها یکپارچه نیست، به این معنی که در ابتدا افزایش کوچک در ارتباطات اثر سرایت را افزایش می دهد اما بعد از یک حد آستانه مشخص، ارتباطات توانایی سیستم بانکی را برای جذب شوک ها تقویت می کند.
۸	باس و همکاران (۲۰۰۸)	استفاده از داده های تجربی	بازار بین بانکی کشور استرالیا	توزیع درجه	آنها یک توزیع پاورلا برای اندازه های وام ها و یک $power-law$ decay برای توزیع پال های ورودی و خروجی پیدا کردند. همچنان آنها نشان دادند که آسیب پذیرترین گره ها (بانک ها)، گره هایی هستند که مرکزیت (که به وسیله تعداد پال هایی که وارد آن گره می شوند، محاسبه می شود) بالاتری دارند.
۹	لوری و همکاران (۲۰۰۸)	داده های تجربی	بازار بین بانکی کشور ایتالیا	ضریب خوشه بندی	وام دهی ترجیحی محدود است و جریان پول مستقیماً از وام دهنده به وام گیرنده بدون واسطه منتقل می شود و بانک ها قادر به کسب سود کوتاه مدت از طریق فرض گیری از بانکی و فرض دادن آن پول به بانک دیگر در یک روز نمی باشند. این امر نشان دهنده کارایی بازار بین بانکی است.
۱۰	تاباک و کاجرو (۲۰۰۸)	داده های تجربی	بازار بین بانکی برزیل	همگونی	ساختار بازار بین بانکی این کشور دارای ساختار جامعه (مشترک) ضعیف و نا همگونی بالایی می باشد.

۱۱	تایاک و همکاران (۲۰۰۹)	استفاده از داده های تجربی	بازار بین بانکی برزیل	حداقل درخت دربرگیرنده توزیع درجه	بانک های خصوصی و خارجی تمایلی به ایجاد خوشه در درون شبکه دارند و همچنین بانک ها با اندازه های مختلف به شدت با یکدیگر مرتبط بوده و تمایلی به ایجاد خوشه ندارند.
۱۲	پوکوتا و ستیلا (۲۰۱۱)	داده های تجربی	بازار بدهی بانکی ژاپن	توزیع درجه	به اندازه گیری ریسک سیستمی و سرایت شبکه ارتباطی مالی با توجه به ساختار شبکه ای بدهی های بین موسسات مالی پرداختند و با این نتیجه رسیدند که نقل و انتقال بدهی ها و سرایت ریسک و نکول به ساختار شبکه بستگی دارد.
۱۳	پاپا دیمنتریو و همکاران (۲۰۱۳)	داده های تجربی	بازار بین بانکی آمریکا	درجه گره ها تمرکز گره و شبکه	بانک های مرکزی یا اصلی را بانک هایی با بزرگترین درجه شناسایی کردند و بین بانک های بزرگ (از نظر اندازه) و مرکزی تمایز قائل شدند و نشان دادند بانک های مرکزی در شبکه مرکزیت دارند و برای نظارت و پایداری شبکه بسیار حیاتی هستند.
۱۴	پلتون و همکاران (۲۰۱۴)	داده های تجربی و شبیه سازی	معاملات گواهی سپرده	توزیع درجه	شبکه دارای ساختار "جهانی کوچک" و توزیع درجه بدون مقیاس است
۱۵	تایاک و همکاران (۲۰۱۴)	داده های تجربی و شبیه سازی	بازار بین بانکی برزیل	ضریب خوشه بندی	ضریب خوشه بندی جهت دار در شبکه های پیچیده می تواند به عنوان معیار اندازه گیری ریسک سیستمی استفاده شود.
۱۶	تولگا اوموت کوزویاس و همکاران (۲۰۱۴)	داده های تجربی	بازار بین بانکی ترکیه در طی بحران سال ۲۰۰۰	تمرکز	پیش از بحران تعداد کل بال ها در بازار بین بانکی کاهش می یابد. در حالی که تعداد معاملات افزایش می یابد که نشان می دهد شبکه شدیداً متمرکز می شود. پس از بحران به طور قابل ملاحظه ای شبکه به یک شبکه کمتر متمرکز تبدیل می شود. معیارهای تمرکز در شناسایی موسسات مهم در ریسک سیستمی قبل از بحران به خوبی عمل می کنند. همچنین با ایجاد تصاویر گرافیکی از تکامل شبکه بین بانکی نشان دادند که شبکه قبل از بحران به تدریج تبدیل به یک شبکه ستاره ای در اطراف دمی بانک شده است.
۱۷	سیلوا و همکاران (۲۰۱۵)	داده های تجربی	بازار بین بانکی کشور برزیل	شباهت	در ساختار غیر مشابه، بانک های پیرامونی به بانک هسته ای وصل هستند و بانک هسته ای با بقیه شبکه در ارتباط است و به عنوان واسطه فرآیند وام گیری و وام دهی عمل می کند و این امر باعث مقاومت شبکه بین بانکی می شود.
۱۸	آسغلو و همکاران (۲۰۱۵)	داده های تجربی	بازار بین بانکی ترکیه	تراکم تمرکز	سرایت در بازار بین بانکی منجر به ریسک سیستمی می شود. اگر شوک هایی که برای موسسات مالی اتفاق می افتد کوچک باشد، تراکم و ارتباطات قوی در شبکه مالی منجر به تقویت ثبات مالی می شود اما پتانسیل شوک ها از مقدار مشخصی بزرگتر باشند ارتباطات داخلی قوی تر منجر به انتشار شوک و در نتیجه شکنندگی سیستم مالی می شوند. بنابراین مطالعه ساختار بازار بین بانکی و تغییرات آن یک موضوع مهم در این حوزه به شمار می رود.
۱۹	زو و همکاران (۲۰۱۶)	شبیه سازی شبکه بر مبنای مفروضات پویا	بازار بین بانکی کشور چین	توزیع درجه ضریب خوشه بندی میانگین طول کوتاهترین مسیر	شبکه بازار بین بانکی یک شبکه جهانی کوچک و درجه تجمعی شبکه دارای توزیع پاور لا می باشد. محققان در حین فرآیند شبیه سازی به این نتیجه رسیدند که شبکه پایداری پویای خود را حفظ می کند و با افزایش ترجیح وام دهی اعتباری ضریب خوشه بندی شبکه افزایش و به طور همزمان میانگین طول کوتاهترین مسیر کاهش می یابد که باعث بهبود پایداری ساختار شبکه بین بانکی خواهد شد. شوک های بیرونی تهدیدهای اصلی برای بازار بین بانکی هستند و کاهش نرخ بازده سرمایه گذاری بانک و نوسانات سپرده ها منجر به بهبود پایداری سیستم بانکی می شوند.
۲۰	لانگ و همکاران (۲۰۱۷)	داده های تجربی	بازار سهام کشور چین	تمرکز ضریب خوشه بندی	شبکه هایی با مقادیر بزرگتر در معیار های مرکزیت و ضریب خوشه بندی با مشکلات ریسک سیستمی بیشتری مواجه هستند.
۲۱	لوتنیدس و همکاران (۲۰۱۸)	شبیه سازی مونت کارلو	بازار بین بانکی آمریکا	توزیع درجه همگونی ضریب خوشه بندی	آنها با استفاده از روش مونت کارلو سرایت بین بانکی را در قبال تغییرات عواملی از قبیل توپولوژی شبکه، اهرم، وابستگی داخلی، همگون بودن و ناهمگون بودن بانک ها از نظر اندازه شبیه سازی کردند.
۲۲	دی گانچی و همکاران (۲۰۱۸)	شبیه سازی	بازار بین بانکی آمریکا	توزیع درجه همگونی تمرکز ضریب خوشه بندی	مقاومت یک شبکه مالی در مقابل شوک های بیرونی به ساختار های توپولوژیکی شبکه بستگی دارد. همچنین نشان دادند ریسک سیستمی شبکه نسبت به مشخصات شبکه بسیار حساس است.
۲۳	کاراپوز و همکاران (۲۰۱۹)	شبیه سازی مونت کارلو و داده های تجربی	بازار بین بانکی کشور آمریکا	شباهت	ساختار شبکه هایی با ریسک سیستمی بالا مشابه است. به این معنی که بانک های پر ریسک معمولاً در ارتباط با بانک های پر ریسک دیگر هستند. در مقابل شبکه هایی با ریسک سیستمی پایین دارای ساختار غیر مشابه هستند و بانک های پر ریسک با بانک های پایدار ارتباط دارند.

همچنین با بررسی درجه گره ها و خالص جریان نقدینگی هر گروه از بانک ها، به شناسایی



میزان سهم هر یک از انواع بانک‌ها در ریسک سیستمی شبکه می‌پردازیم.

### مدل سازی بازار بین بانکی با استفاده از تحلیل شبکه

تئوری شبکه‌های پیچیده مرز مشترک بین تئوری گراف و مکانیزم‌های آماری است که باعث می‌شود این حوزه دارای ماهیت چند رشته‌ای<sup>۱</sup> شود (کوستا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵). یکی از مزایای برجسته استفاده از تئوری مبتنی بر شبکه این است که ما را قادر می‌سازد مشخصات ساختاری و توپولوژیکی روابط بین بانک‌ها را بیابیم (نیومن، ۲۰۱۰).

تئوری شبکه پیچیده<sup>۳</sup> یک ابزار مهم برای مدلسازی سیستم‌های پیچیده است و توپولوژیهای متداول آن از قبیل گراف تصادفی اردوس-رنی<sup>۴</sup>، شبکه جهانی کوچک<sup>۵</sup> شبکه بدون مقیاس<sup>۶</sup> و غیره می‌باشند. روشهای چند عامله<sup>۷</sup> می‌توانند برای مدل کردن و تحلیل رفتار عامل‌ها به کار گرفته شوند. بازار بین بانکی دارای درجه بالایی از پیچیدگی و جزئیات است و دارای ساختارهای شبکه‌ای متنوعی می‌باشد (فریساس و پارچی، ۲۰۰۰). آلن و گاله، ۲۰۰۰). از قبیل ساختار مرکز پول<sup>۸</sup>، بازار کامل<sup>۹</sup>، بازار ناقص<sup>۱۰</sup>.

در بازار بین بانکی گراف جهت دار  $G = (V, E)$  را تعریف می‌کنیم که در آن  $V$  مجموعه بانک‌ها را نشان می‌دهد و  $E$  نشان دهنده مجموعه روابط اعتباری بین بانک‌هاست. یک لبه یا بردار جهت دار  $e_{ij}$  بین دو گره  $i, j \in V$  وجود دارد اگر و فقط اگر بانک  $i$  به بانک  $j$  وام داده باشد. فرض می‌کنیم تعداد کل بانک‌ها  $|V| = N$  باشد، در آن صورت  $N_i$  نشان دهنده مجموعه از بانکهایی است که با بانک  $i$  همسایه هستند و  $X = (x_{ij})_{N \times N}$  ماتریس مقیاس اعتباری بانک‌ها را نشان می‌دهد. که در  $x_{ij}$  آن نشان دهنده اعتبار و وامی است که از بانک  $i$  به بانک  $j$  داده شده است.  $L_i$  نشان دهنده مقیاس یا توان اعتباری بانک  $i$  است به طوریکه (زو<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶):

1 Multidisciplinary  
2 Costa et al.  
3 Complex network theory  
4 Erdos-Renyi random graph  
5 small-world network  
6 scale-free network  
7 Multi-agents methods  
8 money center structure  
9 complete market  
10 incomplete market  
11 Xu et al.

$$L = \sum_{1 \leq i \leq N} L_i, L_i = \sum_{j: j \neq i} x_{ij} \quad L = \sum_{1 \leq i \leq N} L_i, L_i = \sum_{j: j \neq i} x_{ij} \quad (1)$$

با استفاده از اطلاعات وام های مبادله شده بین بانک ها که می تواند روزانه یا ماهانه باشد، برای هر روز یا هر ماه سه ماتریس قابل محاسبه است: ماتریس مجاورت<sup>۱</sup> A، ماتریس ارتباطات<sup>۲</sup> C و ماتریس ارتباطات موزون<sup>۳</sup> W. درایه  $a_{ij}$  در ماتریس A برابر با 0 خواهد اگر در روز یا ماه مورد نظر هیچ تراکنشی بین بانک i و j وجود نداشته باشد. اگر حداقل یک تراکنش وجود داشته باشد برابر با 1 خواهد شد. درایه  $C_{ij}$  در ماتریس C نشان دهنده تعداد تراکنش های بین بانک i و j در یک روز یا یک ماه می باشد. درایه  $W_{ij}$  در ماتریس W نشان دهنده کل مبلغ وام مبادله شده بین بانک i و j در یک روز یا یکماه را

$$N_i = \frac{1}{2} \sum_{ij} a_{ij}$$

نشان می دهد. تعداد یال های فعال در شبکه به صورت، تعداد تراکنش ها

$$V = \frac{1}{2} \sum_{ij} w_{ij} \quad N_i = \frac{1}{2} \sum_{c_{ij}}$$

و کل حجم مبادلات خواهد بود. تعداد بانک های فعال با اندیس Nb نشان داده می شود. سه ماتریس فوق به صورت گراف های بدون جهت تعریف می شوند به طوری که یال ها دو طرفه هستند و  $a_{ij} = a_{ji}$ ,  $C_{ij} = C_{ji}$  و  $W_{ij} = W_{ji}$ . دسترسی به پایگاه داده کامل ما را قادر می سازد که ماتریس های متناسب با گراف های جهت دار را نیز محاسبه کنیم. می توان ارتباطات جهت دار را با دنبال کردن جهت جریان پول بین بانک ها ایجاد کرد به طوریکه ارتباط (بردار) از فروشنده<sup>۴</sup> (قرض دهنده) خارج می شود<sup>۵</sup> و به خریدار<sup>۶</sup> وارد می شود. گراف جهت دار برای محاسبه ریسک سرایت و نکول سیستمیک در سیستم مفید تر از گراف بدون جهت است. بنابراین شش ماتریس دیگر می توان ایجاد کرد.

$A^b$ ;  $A^l$ ,  $C^b$ ;  $C^l$  and  $W^b$ ;  $W^l$ ، درایه های ماتریس  $(a^l)_{ij}$  یا  $a^b_{ij}$  نشان می دهد که آیا حداقل یک تراکنش در یک روز یا یک ماه خاص بین بانک i و j وجود دارد به طوریکه بانک i قرض گیرنده (قرض دهنده)<sup>۸</sup> است.

1 adjacency matrix  
2 connectivity matrix  
3 weighted connectivity matrix  
4 seller  
5 Outcoming link  
6 buyer  
7 Incoming link  
8 borrowing (lending)

درایه  $cb_{ij}$  ( $cl_{ij}$ ) ماتریس ارتباطات نشان دهنده تعداد تراکنش‌ها در یک روز یا یک ماه خاص بین بانک  $i$  و  $j$  می‌باشد به طوری که بانک  $i$  قرض گیرنده (قرض دهنده) است. درایه  $w^b_{ij}$  ( $w^l_{ij}$ ) ماتریس ارتباطات موزون نشان دهنده مبلغ کل اعتبار (وام) در یک روز یا یک ماه خاص بین بانک  $i$  و  $j$  می‌باشد به طوری که بانک  $i$  قرض گیرنده (قرض دهنده) است. واضح است که  $w^b_{ji} = w^l_{ij}$ . جریان بین دو بانک به صورت  $f_{ij} = w^l_{ij} - w^b_{ij}$  تعریف می‌شود. اگر بانک در کل قرض دهنده (lender) باشد جریان مثبت خواهد بود (لوری و همکاران، ۲۰۰۷).

برخلاف اینکه در تئوری گراف نمی‌توان به راحتی گراف‌ها را با یکدیگر مقایسه کرد که آیا گراف‌ها مشابه هستند یا خیر. که یکی از مشکلات تئوری گراف به شمار می‌رود، در تئوری شبکه‌های پیچیده سنج‌های آماری تعریف شده‌اند که که علائم توپولوژیکی و وزنی را با هم ترکیب می‌کنند و مشخصات آماری گره‌ها و ارتباطات را نشان می‌دهند و ارتباط بین مبالغ موزون و ساختارهای اساسی شبکه را بررسی می‌کنند و به وسیله آن‌ها توپولوژی شبکه مشخص می‌شود. این سنج‌ها در طول زمان قابلیت مقایسه دارند و می‌توان آن‌ها را مورد بررسی و مقایسه قرار داد و بنابراین تغییر ساختار شبکه را بررسی کرد.

### ضریب خوشه بندی

ضریب خوشه بندی<sup>۱</sup> معیاری برای اندازه‌گیری تراکم اتصالات پیرامون گره  $i$  است و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$(۲) \quad \tilde{c}_i = \frac{2}{k_i(k_i-1)} \sum_{j,h} a_{ij}a_{ih}a_{jh}$$

ضریب خوشه بندی شبکه از میانگین ضریب خوشه بندی تک تک گره‌ها به دست می‌آید.

$$(۳) \quad c = \frac{1}{N} \sum_i \tilde{c}_i$$

این شاخص یک مقیاس آماری کلی از تراکم ارتباط سه گانه گره‌ها در شبکه است. ضریب خوشه بندی نسبت (میزان) نزدیکترین همسایگان یک گره را که با یکدیگر در ارتباط هستند نشان می‌دهد. یکی از مسائلی که نشان سازمان یافتگی شبکه است این است که پول به طور مستقیم و بدون واسطه بین بانک‌ها جریان می‌یابد. در واقع شبکه ضریب

خوشه بندی کمتری داشته باشد (لوری و همکارانش ۲۰۰۷)<sup>۱</sup>. تراکم زیاد و شدت ارتباط سه گانه بین گره ها منجر به سهم بیشتری در ریسک سیستمی می شود (هایمین لانگ و همکارانش ۲۰۱۷)<sup>۲</sup>. هر چه ضریب خوشه بندی بیشتر باشد نکول و اختلال در یک بانک راحتتر به همسایگان منتقل می شود و در نتیجه ریسک سیستمی بیشتر متوجه سایر بانک ها می شود.

بنابراین چنانچه این سنجه افزایش یابد، ریسک سیستمی شبکه نیز افزایش می یابد و شبکه ناپایدار تر می شود. برای بررسی این امر که آیا ضریب خوشه بندی در طی زمان ثابت بوده یا روند صعودی داشته است یا خیر فرضیه ای به شرح زیر را آزمون می کنیم.

فرضیه  $H_0$ : عدم وجود روند در سری زمانی ضریب خوشه بندی شبکه.

فرضیه  $H_1$ : وجود روند در سری زمانی ضریب خوشه بندی شبکه.

برای آزمون فرضیه فوق از تست های آماری معناداری رگرسیون خطی، ضریب همبستگی پیرسون (روش پارامتریک) و آزمون من-کندال (روش ناپارامتریک) استفاده می شود.

با استفاده از تست  $t$ ، معنی دار بودن شیب خط برازش شده سری زمانی ضریب خوشه بندی در سطح اطمینان  $\alpha$  مورد ارزیابی قرار می گیرد. چنانچه شیب خط برازش شده از نظر آماری معنادار باشد به این معنی است که سری داده دارای روند می باشد. چنانچه علامت شیب منفی باشد، روند داده ها، نزولی و در صورت مثبت بودن شیب، روند صعودی خواهد بود. ضریب همبستگی خطی پیرسون ( $r$ ) که نشان دهنده ضریب همبستگی متغیر و زمان می باشد، اطلاعاتی در خصوص جهت و قدرت روند خطی ارائه می دهد. مقدار مثبت برای  $r$  نشاندهنده یک خط روند صعودی و مقدار منفی نشاندهنده یک خط روند نزولی است. هر چه مقدار ضریب همبستگی که بین  $-1$  تا  $1$  قرار دارد به عدد یک نزدیکتر باشد، روند قویتر خواهد بود.

در آزمون من-کندال چنانچه آماره کندال-تو<sup>۳</sup> محاسبه شده در سطح معناداری  $\alpha$  معنادار باشد، فرض  $H_0$  رد می شود و در صورتی که آماره مثبت باشد، روند صعودی و در غیر این صورت روند نزولی خواهد بود.

1 Giulia Iori et al 2007

2 Haiming Long et al

3 Kendall's tau

## میانگین طول کوتاهترین مسیر

فاصله بین گره  $i$  و  $j$  یا  $d_{ij}$  طول کوتاهترین مسیر بین دو گره را نشان می دهد. اگر بین گره  $i$  و  $j$  یک یال وجود داشته باشد آنگاه  $d_{ij}$  برابر یک است. متوسط فاصله از یک گره به سایر گره ها در یک شبکه به هم پیوسته به عنوان متوسط طول مسیر یک گره نامیده می شود. که به صورت محاسبه می شود.

$$l_i = 1/(n-1) \sum \quad (4)$$

متوسط طول مسیر شبکه از متوسط طول مسیر گره ها به دست می آید  $l = (1/n) \sum_i l_i$  در شبکه تصادفی کلاسیک  $l \approx \ln(n)/\ln(p.n)$  است. گریز از مرکز یک گره  $\varepsilon_i$  حداکثر فاصله تا سایر گره ها در یک شبکه یا  $\varepsilon_i = \max_j d_{ij}$  است. قطر یک شبکه ( $D$ ) حداکثر گریز از مرکز (یا فاصله) در بین تمام گره ها یا  $D = \max_i \varepsilon_i$  است.

بررسی تحقیقات پیشین نشان می دهد، در بسیاری از تحقیقات انجام شده میانگین طول کوتاهترین مسیر شبکه در حدود عدد ۲ است و در نتیجه شبکه های بین بانکی معمولاً جزو شبکه کوچک جهانی هستند. زمانی که مسیر کوتاه بین بانک ها کم تر باشد، نقدینگی راحت تر بین بانک ها چرخش خواهد داشت و شبکه پایدارتر خواهد بود و با افزایش این معیار شبکه ناپایدارتر می شود. برای بررسی این امر که آیا میانگین طول کوتاهترین مسیر شبکه در طی زمان ثابت بوده یا روند صعودی داشته است فرضیه ای مشابه فرضیه فوق را آزمون می کنیم.

## نا همگونی شبکه

اولین کسی که یک معیار اندازه گیری برای نا همگونی شبکه پیشنهاد کرد اسنیجرز<sup>۱</sup> در بستر شبکه های اجتماعی بود که توسط بل<sup>۲</sup> به عنوان واریانس درجه های گره اصلاح شد:

$$\text{VAR} = \frac{1}{N} \sum_i (k_i - \langle k \rangle)^2 \quad (5)$$

که  $\langle k \rangle$  متوسط درجه در شبکه را نشان می دهد، اگر چه این هنوز یکی از معیار های ناهمگونی محبوب بشمار میرود، کاربرد آن عمدتاً به RGs (random graphs) محدود می شود که در آن می توان به طور متوسط یک  $k$  را تعریف کرد.

1 Snijders TAB. 1981

2 Bell FK. 1992

یکی دیگر از معیارها توسط البرستون<sup>۱</sup> به عنوان:

$$A = \sum_{i,j} |k_i - k_j|$$

که ترکیبی از تفاوت‌های محلی در درجه گره در شبکه است. این شاخص نیز به اندازه کافی به طور متناسب ناهمگونی شبکه‌ها با توپولوژی‌های مختلف را بیان نکرده است. به غیر از دو معیار فوق تعریف شده در شبکه‌های اجتماعی، معیار دیگری به تازگی برای درجه ناهمگونی تعریف شده است که از ضریب نابرابری توزیع، به نام ضریب جینی<sup>۲</sup> استفاده می‌کند. که به طور گسترده‌ای برای توصیف نابرابری دارایی در اقتصاد کاربرد دارد. در اینجا منحنی ناهمگونی با استفاده از نسبت درصد تجمعی از درجه کل گره‌ها به درصد تجمعی تعداد گره‌ها تولید می‌شود. سپس شاخص ناهمگونی به عنوان نابرابری درجه در یک شبکه اندازه‌گیری می‌شود. به طور خلاصه، هیچ کدام از این اقدامات، هر چند مفید در زمینه‌های خاص، واقعا نشان دهنده ناهمگونی که نشان دهنده تنوع درجه گره در یک شبکه نیستند. مطالعات تطبیقی اقدامات ناهمگونی فوق توسط بدهم<sup>۳</sup> انجام شده است.

جنبه دوم ناهمگونی، ناهمگونی توپولوژیکی یا ساختاری ممکن در شبکه پیچیده است که در شبکه‌های دنیای واقعی بسیار مهم است. یک مثال برای اندازه‌گیری این معیار اخیرا توسط که توسط استرادا<sup>۴</sup> ارائه شده است.

$$\rho = \sum_{i,j} \left( \frac{1}{\sqrt{k_i}} - \frac{1}{\sqrt{k_j}} \right)^2$$

که همچنین می‌تواند نرمالیزه شود برای اندازه‌گیری  $\rho_n$  در بازه واحد [۰,۱] به عنوان:

$$\rho_n = \frac{\rho}{N - 2\sqrt{(N-1)}}$$

در این مقاله از معیار استرادا جهت اندازه‌گیری ناهمگونی شبکه استفاده شده است. ممکن است رابطه‌ای بین یکپارچگی و ثبات شبکه با معیار پیشنهاد شده وجود داشته باشد. از سوی دیگر شبکه ستاره<sup>۵</sup> که بالاترین ناهمگونی را دارد آسیب پذیرترین شبکه است زیرا تنها اختلال در یک گره می‌تواند کل شبکه را نابود کند. لوری و همکارانش<sup>۶</sup> در سال ۲۰۰۶ در یک مدل بازار مصنوعی نشان دادند که زمانی که

1 Albertson MO. 1997

2 Gini coefficient

3 Badham JM. 2013

4 Estrada E. 2010

5 Star network

6 Iori et al (2006)

ارتباط متقابل بین بانک‌ها نا همگن است، خطر سرایت و نارسایی سیستمیک افزایش می‌یابد و نا همگنی به تنهایی می‌تواند به بی‌ثباتی کمک کند. برای بررسی روند این سنجه نیز از تست آماری مشابه بخش قبل استفاده می‌شود.

### تمرکز شبکه

یک مفهوم مهم دیگر از شبکه تمرکز شبکه است، که میزان اینکه یک شبکه دارای یک یا چند گره خاص است که سایر گره‌ها گرد آنها جمع شده‌اند می‌باشد. این شاخص معادل با ارائه یک اندازه‌گیری رسمی از میزان شباهت یک شبکه به شبکه ستاره است. قاعده کلی که تحت آن همه معیارهای تمرکز شبکه در حال حاضر محاسبه شده است توسط فریمن<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۹ پیشنهاد شده است. در این فرمول، برای محاسبه تمرکز شبکه، با جمع کردن تفاوت راس با بیشترین مرکزیت با تمام راس‌های دیگر آغاز می‌کنیم، سپس با تقسیم کردن آن به بیشترین حالت مرکزیت ممکن آن را نرمالیزه می‌کنیم، که مقدار تمرکز شبکه ستاره است. این فرمول خلاصه شده آن است:

$$C_G = \frac{\sum[C(P^*) - C(P_i)]}{\max \sum[C(P^*) - C(P_i)]} \quad (6)$$

که در آن  $C_G$  تمرکز شبکه  $G$  است و  $C$  هر معیار اندازه‌گیری مرکزیت است ما کسیمم از همه گراف‌های ممکن با اندازه یکسان با شبکه  $G$  (تعداد راس‌های یکسان) در نظر گرفته می‌شود (استرافن و همکاران، ۱۹۷۱).

تولگا اوموت کوزوباس<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴) کارایی چندین معیار مرکزیت در تشخیص موسسات مهم در ریسک سیستمی با استفاده از داده‌های بازار بین بانکی ترکیه در طی بحران سال ۲۰۰۰ مورد بررسی قرار دادند، نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که پیش از بحران تعداد کل یال‌ها در بازار بین بانکی کاهش می‌یابد. در حالی که تعداد معاملات افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد شبکه شدیداً متمرکز می‌شود. با توجه به تعاریف و نتایج بدست آمده می‌توان به این نتیجه رسید که افزایش ناهمگنی و تمرکز شبکه باعث می‌شود که شبکه به شبکه ستاره‌ای شباهت بیشتری پیدا کند که این امر موجب افزایش ریسک سیستمی در شبکه خواهد شد و اختلال در یک گره می‌تواند باعث آسیب جدی به شبکه

1 Freeman

2 Tolga Umut Kuzubas

شود.

بنابراین چنانچه معیار تمرکز شبکه در طی زمان روند صعودی داشته باشد، می توان به این نتیجه رسید که شبکه ناپایدار تر شده است. برای بررسی این امر که آیا تمرکز شبکه در طی زمان ثابت بوده یا روند صعودی داشته است یا خیر فرضیه ای مشابه را آزمون می کنیم.

## روش تحقیق و تحلیل نتایج

### داده های تحقیق

این تحقیق از نظر نتایج تحقیق از نوع کاربردی و از حیث جمع آوری داده ها از نوع اسنادی یا کتابخانه ای می باشد. آمار مورد نیاز از داده های مرکز آمار بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و پژوهشکده پولی و بانکی بانک مرکزی ج.ا. جمع آوری و تجزیه و تحلیل شده است. روش تحقیق به صورت مطالعه ساختار شبکه و محاسبه معیارهای تئوری شبکه که در بخش ۳ بیان شد و مقایسه با نتایج تحقیقات بین المللی می- باشد.

پایگاه داده مورد استفاده مربوط به تعاملات فی مابین بانک ها در بازار بین بانکی ایران به صورت ماهانه از سال ۱۳۸۹-۱۳۹۴ می باشد. پایگاه داده مورد استفاده تحقیق مربوط به تعاملات فی مابین ۳۳ بانک و موسسه اعتباری فعال در بازار بین بانکی ایران از فروردین ماه ۱۳۸۹ الی شهریور ماه ۱۳۹۴ به صورت ماهانه است که شامل ۶۶ ماتریس ماهانه می باشد. اطلاعات شامل مبلغ تجمعی وام های فی مابین در یک ماه و نرخ میانگین موزون ماهانه بین هر جفت از بانک ها است. جهت انجام تجزیه و تحلیل ها و محاسبات شبکه ای از نرم افزار MATLAB 2017 و Excel استفاده شده است. ۳۳ بانک مورد بررسی در چهار دسته تفکیک و به شرح جدول ۲ می باشند.

جدول ۲- بانک ها و موسسات اعتباری مورد بررسی

خصوصی		خصوصی شده	دولتی تخصصی	دولتی تجاری
شهر	کارآفرین	ملت	مسکن	ملی
گردشگری	سامان	صادرات	کشاورزی	سپه
حکمت ایرانیان	اقتصاد نوین	رفاه	صنعت و معدن	پست بانک
موسسه توسعه	پارسیان	تجارت	توسعه صادرات	
ایران زمین	پاسارگاد		قرض الحسنه مهر	



رسالت	سرمایه		توسعه تعاون	
خاورمیانه	سینا			
قوامین	آینده			
ایران و ونزوئلا	دی			
موسسه کوثر	انصار			

برای هر ماه از جامعه آماری شبکه وام‌هایی که بین بانک‌ها مبادله می‌شود ساخته و پارامترهای مربوطه محاسبه شده است. همچنین تفاوت عملکرد بانک‌ها با اندازه‌های مختلف و در چهار گروه (دولتی، تخصصی، خصوصی شده و خصوصی) مورد بررسی قرار گرفته است.

### مشخصات توپولوژیکی شبکه

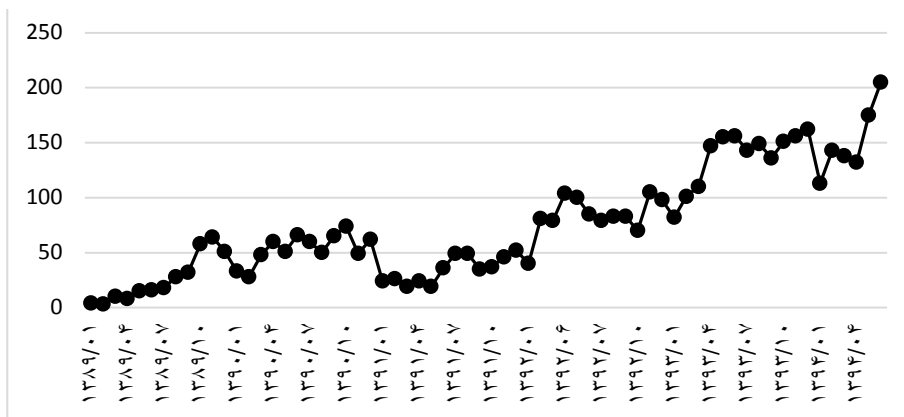
مشخصه اصلی یک شبکه تعداد گره‌ها (بانک‌ها) و تعداد یال‌های (وام‌ها) شبکه است. تعداد گره‌ها ( $n$ ) اندازه شبکه را نشان می‌دهد و تعداد یال‌ها ( $m$ ) به تعداد یال‌های ممکن که در شبکه می‌تواند وجود داشته باشد یا همان تراکم یا اتصال شبکه مرتبط می‌شود. برای شبکه‌های جهت‌دار اتصال به صورت  $p = m/n(n-1)$  تعریف می‌شود. شاخص اتصال بین  $1/n$  برای شبکه‌های درختی و ۱ برای شبکه‌های کامل قرار می‌گیرد.

در نمودار ۲ تعداد گره‌های شبکه یا همان بانک‌های فعال در شبکه بین بانکی نشان داده شده است.

در شبکه بین بانکی ایران طی ۶۶ ماه مورد بررسی، به طور میانگین ۱۹ بانک در شبکه فعال بوده‌اند و بین آنها به طور متوسط ۷۴/۶۹۷ یال وجود داشته است. کمترین تعداد گره‌ها ۴ و بیشترین تعداد گره‌ها ۲۸ بوده است.

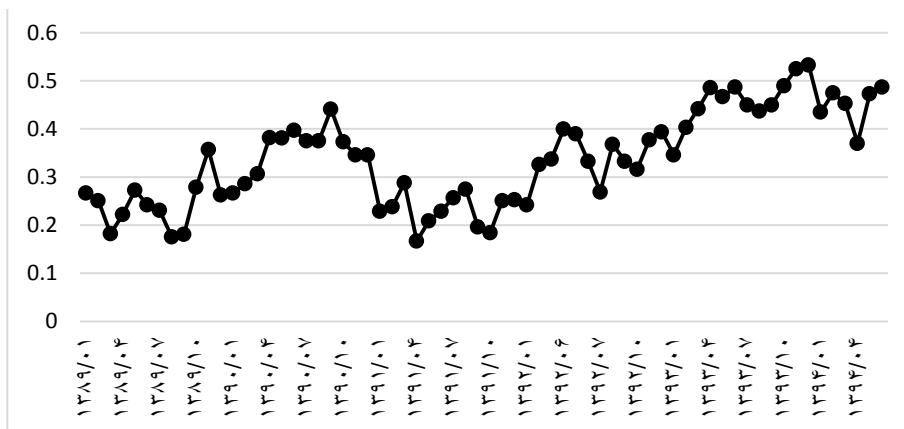
نمودار ۳ تعداد یال‌های فعال به تفکیک ماه‌های مختلف را در کل شبکه نشان می‌دهد. برای محاسبه تعداد یال‌های فعال ماتریس مجاورت بدون جهت را برای هر ماه محاسبه می‌کنیم. همانطور که از نمودار پیداست تعداد معاملات در بازار بین بانکی از سال ۸۹ تا ۹۴ روند صعودی داشته است که این امر نشان‌دهنده تعمیق بازار و تمایل بانک‌ها به فعالیت در این بازار بوده است. حداقل یال فعال در طی دوره بررسی ۳ و حداکثر ۲۰۵ بوده است. همچنان در هر سال تعداد معاملات و روابط فی‌مابین بانک‌ها به تدریج از ماه‌های میانی سال تا ماه‌های پایانی سال افزایش و سپس در فرودین ماه سال بعد کاهش می‌یابد.

این امر نشان دهنده این است که بانک ها در نیم سال دوم و در ماههای پایانی سال نیاز به نقدینگی بیشتر داشته و فعالیت خود را در بازار بین بانکی افزایش می دهند. به علت نیازهای نقدینگی و اینکه نقدینگی کمتری در این ماهها در کل بازار وجود داشته است لذا بانک های قرض گیرنده برای تامین نیازهای نقدینگی خود مجبور بودند که از تعداد بیشتری از بانک های دیگر پول قرض بگیرند تا نیازهای نقدینگی خود را مرتفع کنند.

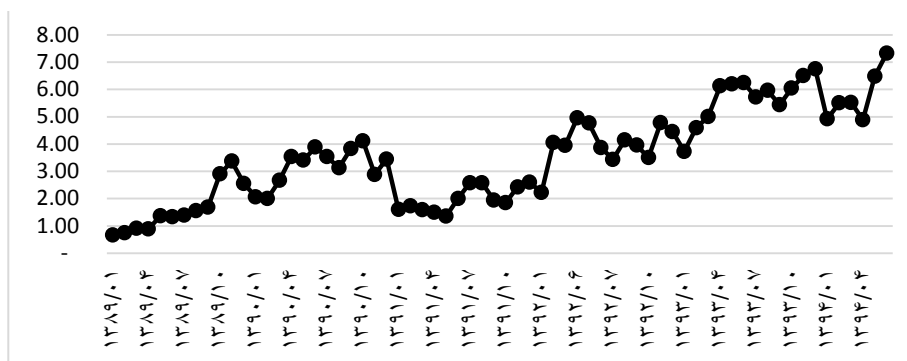


نمودار ۳- تعداد یال های فعال در شبکه بین بانکی

با توجه به تعداد گره ها و یال ها می توان تراکم شبکه را اندازه گیری کرد. در نمودار ۴ تراکم شبکه نشان داده شده است.



نمودار ۴- تراکم شبکه بین بانکی

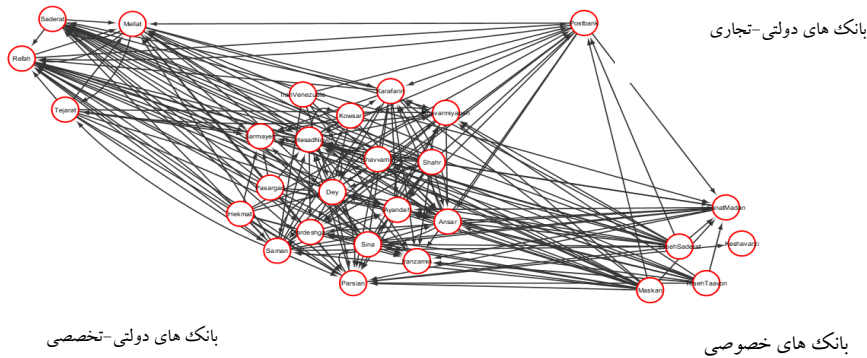


نمودار ۵- متوسط درجه هر گره در شبکه بین بانکی

در نمودارهای ۴ و ۵ مشاهده می‌شود که تراکم شبکه و متوسط درجه هر گره اضافه شده است که نشان دهنده ارتباطات بیشتر و مشارکت بیشتر بانک‌ها در این بازار بوده است. بیشترین تعداد معاملات توسط بانک‌های خصوصی با یکدیگر یا با سایر گروه‌های بانکی انجام شده است و در طی دوره روند کاملاً صعودی داشته است. بانک‌های خصوصی شده که شامل ۴ بانک هستند و بانک‌های تجاری دولتی روند ثابتی در تعداد معاملات با سایر بانکها داشته‌اند. اما روند معاملات بانک‌های تخصصی-دولتی از اوایل سال ۱۳۹۳ شروع به رشد کرده و روند صعودی داشته است.

### نمایش گرافیکی شبکه بازار بین بانکی ایران

یک روش دیگر برای تحلیل ساختار شبکه، تحلیل گراف شماتیکی شبکه است. شکل ۶ تصویر شبکه جهت دار بازار بین بانکی ایران را در ماه شهریور ۹۴ نشان می‌دهد. در گراف زیر که از نرم‌افزار Cytoscape استخراج شده است بانکها به تفکیک چهارگروه ذکر شده تفکیک شده‌اند. همچنین با توجه به جهت یال‌ها (انتقال نقدینگی از اعتبار دهنده به اعتبار گیرنده) مشاهده می‌شود که تراکم روابط در بین بانک‌های خصوصی بیشتر بوده و این بانک‌ها علاوه بر یکدیگر با بانک‌های خصوصی شده و دولتی - تخصصی مرادده اعتباری داشته‌اند. بانک‌های خصوصی شده و تخصصی - دولتی بیشترین روابط را با بانکهای خصوصی داشته و ارتباط کمتری در گروه خودشان با یکدیگر دارند.

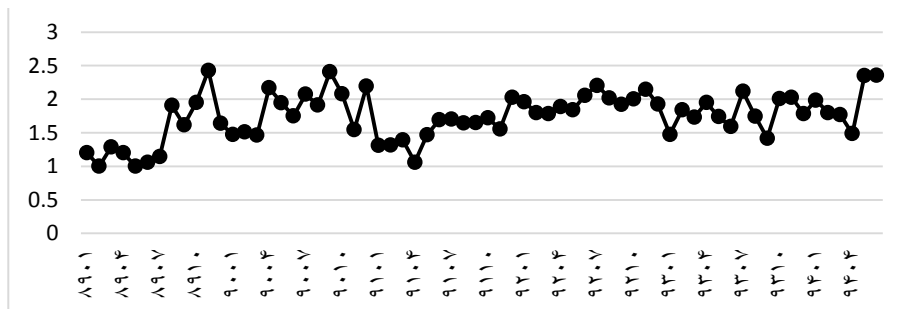


شکل ۶- شبکه بازار بین بانکی به تفکیک گروه های مختلف بانکی-شهریور ماه ۹۴، ۲۸ گره و ۲۰۵ یال

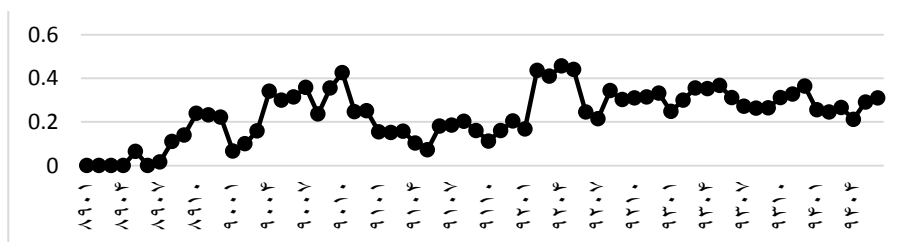
تعداد زیاد گره ها و روابط در شبکه تحلیل نتایج و شناسایی ساختار شبکه را به صورت گرافیکی دشوار می سازد و مقایسه ساختار شبکه در طی زمان تقریباً غیر ممکن خواهد بود. پیچیدگی شبکه و روابط بین بانکی ما را به سمت بررسی سنجه های آماری سوق می دهد.

### ارزیابی ریسک سیستمی و پایداری شبکه در طی زمان

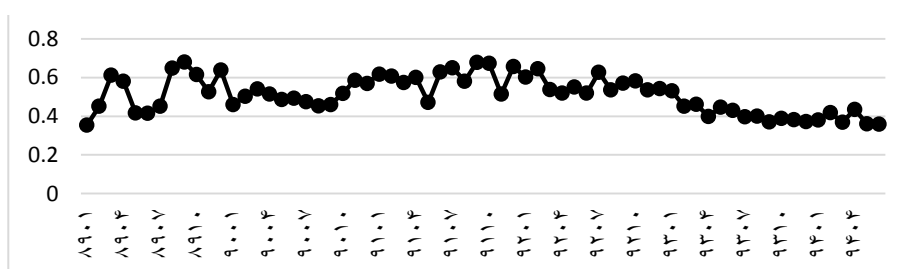
به منظور ارزیابی پایداری و ریسک سیستمی شبکه در طی زمان چهار سنجه پرکاربرد که در تحقیقات مختلف استفاده شده است، محاسبه و تحلیل شد. روند مربوط به چهار سنجه مورد استفاده در شکل ۷ نشان داده شده است.



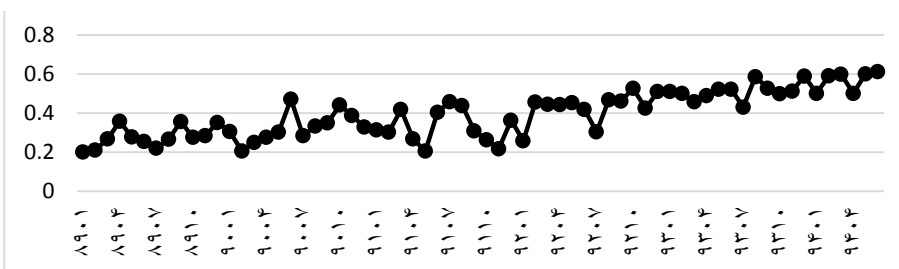
میانگین طول کوتاه ترین مسیر



ضریب خوشه بندی شبکه



همگونی شبکه



تمرکز شبکه

شکل ۷- روند سنجه های ارزیابی ریسک سیستمی شبکه

آماره جاک برا نشان دهنده این است که هر چهار سنجه دارای توزیع نرمال می باشند. نتایج حاصل از مطالعه پایداری شبکه در طی زمان با تمرکز بر تست های آماری بر چهارسنجه پژوهش در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- روند سنجه های شبکه

تأثیر بر ریسک سیستمی در طی زمان	p-value	آماره کندال-تو	p-value	ضریب همبستگی پیرسون	p-value	شیب خط روند	معیار
اثر افزایشی معنادار	۰/۰۰۰۴	۰,۲۸۸	۰/۰۰۰۴	۰,۴۲	۰/۰۰۰۴	۰,۰۰۷	میانگین طول کوتاهترین مسیر
اثر افزایشی معنادار	۰/۰۰۰۰	۰,۴۱	۰/۰۰۰۰	۰,۵۹	۰/۰۰۰۰	۰,۰۰۳	ضریب خوشه بندی
اثر افزایشی معنادار	۰/۰۰۰۹	-۰,۲۸	۰/۰۰۰۹	-۰,۴	۰/۰۰۰۹	-۰,۰۰۱	همگونی
اثر افزایشی معنادار	۰/۰۰۰۰	۰,۶۴	۰/۰۰۰۰	۰,۸۳	۰/۰۰۰۰	۰,۰۰۵	تمرکز

نتایج نشان می دهد در تمامی این سنجه ها روند وجود داشته و در طی زمان پایداری شبکه کاهش یافته است. میانگین طول کوتاهترین مسیر، ضریب خوشه بندی و تمرکز شبکه دارای روند مثبت معنادار و همگونی شبکه به طور معناداری در طی زمان کاهش یافته است که همگی نشان از افزایش ریسک سیستمی شبکه می باشد.

#### نقش گروه های مختلف بانک ها در ریسک سیستمی شبکه

همان طور که در بخش ۳ ذکر شد اگر بانک در کل سپرده گذار (سپرده پذیر) باشد جریان مثبت (منفی) خواهد بود. جدول ۴ میانگین جریان خالص بانک ها در طی دوره مورد بررسی و نقش آنها را نشان می دهد.

جدول ۴- میانگین جریان خالص بانک ها (میلیارد ریال)

نام بانک	خصوصی	خصوصی شده	تجاری دولتی	تخصصی دولتی
میانگین جریان خالص	-۶۴,۰۴۴	۲۳,۵۹۴	-۲۴,۰۲۷	۶۴,۴۷۷
سپرده گذار/سپرده پذیر	سپرده پذیر	سپرده گذار	سپرده پذیر	سپرده گذار

این نتایج به طور کلی نشان می دهد که بانک های خصوصی شده و تخصصی دولتی از نظر نقدینگی در وضعیت مطلوب بوده و بانک های خصوصی در کل با کمبود نقدینگی مواجه بوده اند و برای جبران کمبود نقدینگی به استقراض از بازار بین بانکی رو آورده اند. ضریب همبستگی پیرسون بین جریان خالص بانک ها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- همبستگی بین جریان خالص بانک‌ها

تخصیصی دولتی	تجاری دولتی	خصوصی شده	خصوصی	ضریب همبستگی
-۰,۸۵*	-۰,۰۸	-۰,۸۳*	۱	خصوصی
۰,۴۴*	-۰,۰۸	۱		خصوصی شده
-۰,۰۳	۱			تجاری دولتی
۱				تخصیصی دولتی

\* در سطح ۹۵٪ معنادار می باشد.

نتایج نشان می دهد بانک های خصوصی با بانک های خصوصی شده و تخصیصی دولتی دارای همبستگی منفی بوده است. بنابراین بانک های خصوصی بیشترین جریان خالص منفی را داشته و بیشترین اثر گذاری را در وقوع ریسک سیستمی شبکه دارند و در صورت بروز بحران و نکول بیشترین آسیب متوجه بانک های خصوصی شده و مشمول اصل ۱۴۱ (بانک های ملت، تجارت، صادرات و رفاه) و بانک های تخصیصی دولتی خواهد شد.

### نتیجه گیری

بازار بین بانکی با حجم معاملات بالغ بر ۱۰۷ هزارمیلیارد ریال در سال ۱۳۹۷ بستر قابل توجه مبادلات بین بانکها به شمار می رود و حجم بالایی از تعهدات کوتاه مدت سیستم بانکی در این بازار وجود دارد. بنابراین بررسی توپولوژی و ساختار این بازار می تواند به بررسی آسیب شناسی فرآیند ایفای تسهیلات و ایجاد تعهدات بانکی کمک کند. همچنین بازار بین بانکی علیرغم نقش موثر در مدیریت ریسک نقدینگی بانک ها، به علت اثر سرایت می تواند شبکه بانکی و در نتیجه اقتصاد کشور را با ریسک سیستمی مواجه کند. بنابراین توجه به ابعاد مختلف این بازار بایستی در ایجاد و توسعه فرآیند های مدیریت ریسک در عملیات بانکی در نظر گرفته شود. بررسی و نتایج حاصل از شناخت توپولوژی شبکه بین بانکی ایران مانند شناخت نوع شبکه، میزان تمرکز و همگونی شبکه، بانک های سیستمی، مراکز پول و غیره، می تواند به بانک مرکزی ج.ا.ا ایران به عنوان ناظر و سیاست گذار در وضع قوانین نظارتی و سیاستی عملیات بانکداری بدون ربا کمک کند. با عنایت موارد فوق در این مقاله با هدف شناسایی توپولوژی و تحلیل ساختار شبکه بازار بین بانکی ایران از تئوری شبکه های پیچیده که ترکیبی از تئوری گراف و شاخص های آماری است استفاده شده است. به این منظور از اطلاعات مربوط به تعاملات فی مابین ۳۳ بانک و

موسسه اعتباری فعال در بازار بین بانکی ایران از فروردین ماه ۱۳۸۹ الی شهریور ماه ۱۳۹۴ شامل ۶۶ ماتریس ماهانه استفاده شده است. برای هر ماه از جامعه آماری، شبکه تعاملات بین بانک ها شامل نوع ساختار و پارامترهای مربوطه محاسبه شده است.

در تئوری شبکه های پیچیده سنجه های آماری تعریف شده اند که توپولوژی شبکه را مشخص می کنند. این سنجه ها در طول زمان قابلیت مقایسه دارند و می توان آن ها را مورد بررسی و مقایسه قرار داد و بنابراین تغییر ساختار شبکه را بررسی کرد. ریسک سیستمی شبکه را می توان توسط تحلیل و ارزیابی برخی از سنجه ها اندازه گیری کرد. اندازه گیری و بررسی رفتار و روند ضریب خوشه بندی، میانگین کوتاهترین طول مسیر، همگونی شبکه و تمرکز شبکه که همگی در تحقیقات مختلف برای اندازه گیری ریسک سیستمی پایداری شبکه استفاده می شوند نشان داد که ساختار شبکه به سمت شبکه ستاره نزدیک شده و در نتیجه پایداری شبکه به مرور کمتر شده است. در نتیجه در صورت بروز مشکل برای یک بانک در ایفای تعهدات خود، این نکول با اثر دومینویی به کل شبکه تسری و منجر به بروز بحران در شبکه بانکی خواهد شد.

همچنین با توجه به اینکه بانک های خصوصی نقش سپرده گیری را بازی کرده و بیشترین فعالیت را در بازار داشته اند، در صورت بروز مشکل و نکول در شبکه به خصوص در بانک های خصوصی بیشترین آسیب پذیری از ریسک سیستمی متوجه بانک های تخصصی دولتی و خصوصی شده (که عمدتاً سپرده گذار بوده اند) می باشد. بنابراین مهم ترین بخشی که بایستی توسط مراجع نظارتی و بانک مرکزی مورد مراقب قرار گیرد بخش بانک های خصوصی است زیرا این بخش از بانک ها با توجه به حجم مبادلات بالا و جریان خالص منفی می توانند ریسک سیستمی بالایی را به شبکه بازار بین بانکی و در نتیجه سیستم بانکی کشور منتقل کنند.

در پایان، لازم به ذکر است ساختار شبکه در طی زمان متغیر و با توجه به شرایط اقتصادی و وضعیت نقدینگی، نرخ بازار بین بانکی، شیوه های مدیریت نقدینگی بانک ها و سایر موارد تغییر و لذا ریسک سیستمی شبکه نیز متغیر خواهد بود. لذا به عنوان تحقیقات آتی، بررسی تاثیر شاخص های کلان اقتصادی در ساختار شبکه می تواند مورد بررسی قرار گیرد که مشخص می کند چه عواملی بر پایداری و ریسک سیستمی شبکه بازار بین بانکی ایران موثر هستند.



## منابع

- آذری قره لر، آ.، رستگار، م.ع.، (۱۳۹۴). بررسی ریسک سیستمی شرکت بر شرکت در شرکت های بورس اوراق بهادار تهران، سومین کنفرانس مدیریت، اقتصاد، حسابداری
- باباجانی، ج.، سلیمی، م.، جعفری، ا.، (۱۳۹۶). رتبه بندی بانک های ایرانی بر اساس توان مالی، فصلنامه مطالعات تجربی حسابداری مالی، سال ۱۴، شماره ۵۴، ۱۹-۴۴.
- پیری، پ.، خداکریمی، پ.، (۱۳۹۶). پیش بینی در ماندگی مالی شرکتها بر مبنای الگوی ترکیبی از اطلاعات حسابداری و بازار با رویکرد رگرسیون لجستیک، فصلنامه مطالعات تجربی حسابداری مالی، سال ۱۴، شماره ۵۵، ۴۵-۱۶۸.
- توکلی، م.، عبدالرحیمیان، م.، و رعیتی شوازی، علیرضا. (۱۳۹۵). برآورد اثر نرخ بهره بین بانکی بر عملکرد (سودآوری) بانکهای ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده علوم انسانی، دانشگاه علم و هنر.
- توکلیان، ح. (۱۳۹۰). بازار بین بانکی ریالی و قابلیت معرفی یک ابزار جدید سیاستگذاری پولی. تازه های اقتصاد، شماره صد و سی و سه، ۱۰۷-۱۰۴.
- شاهچرا، م.، طاهری، م.، (۱۳۹۷)، تاثیرات الزامات نقدینگی بر سیاست گذاری بانک مرکزی در بازار بین بانکی ایران، بیشت و هشتمین کنفرانس سیاست های پولی و ارزی.
- دستورالعمل اجرایی عملیات بازار بین بانکی ریالی، مصوب ۱۳۸۳.
- رستگار، م.ع. کریمی.ن. (۱۳۹۵)، ریسک سیستمی در بخش بانکی، مجله مدلسازی ریسک و مهندسی مالی، دوره ۱، شماره ۱، ص. ۱-۱۹.
- حاجیان، م.ر.، (۱۳۸۵). بازار بین بانکی ایران، تهران، انتشارات پژوهشکده پولی و بانکی .
- درودیان، ح.، (۱۳۸۹) گزارشی از وضعیت بازار بی بانکی در ایران، مؤسسه ی مطالعات و تحقیقات مبین.
- شمسی، س.، موسویان، ع.، نیلی، ف.، طالبی، م.، صالح آبادی، ع.، (۱۳۹۵). طراحی بازار بین بانکی در نظام پولی و مالی ایران مبتنی بر فقه امامیه. رساله دکتری.
- Aldasoro, I., Gatti, D. D., & Faia, E. (2017). Bank networks: Contagion, systemic risk and prudential policy. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 142, 164-188.

- Allen, F. and Gale, D. (2000). Financial contagion. *Journal of Political Economy*, 108:1–33.
- Acemoglu, D., Ozdaglar, A., and Tahbaz-Salehi, A. (2015). Systemic risk and stability in financial networks. *American Economic Review*, 105(2):564–608.
- Allen, F., Gale, D., (2000). Financial contagion, *Journal of political economy* 108 (1), 1–33.
- Albert, R., Jeong, H., Barabasi, A.L., (2000). Error and attack tolerance of complex networks. *Nature* 406,378.
- Barthelemy, M., Barrat, A., Pastor-Satorras, R., and Vespignani, A. (2005). Characterization and modeling of weighted networks. *Physica A*, 346:34–43.
- Barucci, E., Impenna, C., Reno, R., (2004). The Italian overnight market: microstructure effects, the martingale hypothesis and the payment system. *Research in Banking and Finance* 4, 321–36
- Boss, M., Elsinger, H., Summer, M., Thurner S.,(2007). Network topology of the interbank market, *Quantitative Finance* 4 (6), 677–684.
- Boss, M., Elsinger, H., Summer, M., Thurner, S., (2008), The Network Topology of the Interbank Market, *Physica A*.
- Costa, F., Rodrigues, L., Travieso, F.A., and Boas, P. R. V. (2005). Characterization of complex networks: A survey of measurements. *Advances in Physics*, 56(1):167–242.
- Castro Miranda, R. C., Stancato de Souza, S. R., Silva, T. C., and Tabak, B. M. (2014). Connectivity and systemic risk in the Brazilian national payments system. *Journal of Complex Networks*, 2(4):585–613.
- Craig, B., Von Peter, G., (2014). Interbank tiering and money center banks, *Journal of Financial Intermediation* 23 (3) 322–347
- Clauset, A., Shalizi, C.R., Newman, M.E., (2009). Power-law distributions in empirical data, *SIAM review* 51 (4). 661–703.
- Cajueiro, D.O, Tabak, B.M, (2008).The role of banks in the brazilian interbank market: Does bank type matter?, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 387 (27), 6825–6836.
- Di Gangi, D., Sardo, D., Macchiati, V., Minh, T. P., Pinotti, F., Ramadiah, A., & Cimini, G. (2018). Network Sensitivity of Systemic Risk. arXiv preprint arXiv:1805.04325.
- Erol, S., & Vohra, R. (2018). Network formation and systemic risk. Available at SSRN 2546310.
- Engel, J., Pagano, A., & Scherer, M. (2019). Reconstructing the topology of financial networks from degree distributions and reciprocity. *Journal of Multivariate Analysis*.

- Freixas, X., Parigi, B., and Rochet, J. (2000). Systemic risk, interbank relations, and liquidity provision by the Central Bank. *Journal of Money, Credit and Banking* 32(3):611-638.
- Georg, C.-P. (2013). The effect of the interbank network structure on contagion and common shocks. *Journal of Banking and Finance*, 37(7):2216–2228.
- González-Avella, J. C., de Quadros, V. H., & Iglesias, J. R. (2016). Network topology and interbank credit risk. *Chaos, Solitons & Fractals*, 88, 235-243.
- Iori, G., Jafarey, S., Padilla, F., (2006). Systemic risk on the interbank market. *Journal of Economic Behaviour and Organization* 61 (4), 525–542.
- Iori, G., Reno, R., De Masi, G. Caldarelli, G., (2007). Trading strategies in the Italian interbank market, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 376 467–479
- Ioria, G., Masib, G., Precup, O.V., Gabbi, G., Caldarelli, G., (2007). A network analysis of the Italian overnight money market, *Journal of Economic Dynamics & Control*.
- Iori, G., De Masi, G., Precup, O.V., Gabbi, G. Caldarelli, G., (2007). A network analysis of the Italian overnight money market, *Journal of Economic Dynamics and Control* 32 (1) , 259–278.
- Iori, G., Reno, R., De Masi, G., Caldarelli, G., (2007). Trading strategies in the Italian interbank market, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 376, 467–479.
- Krause, S. M., Štefančić, H., Zlatić, V., & Caldarelli, G. (2019). Controlling systemic risk-network structures that minimize it and node properties to calculate it. arXiv preprint arXiv:1902.08483.
- Leventides, J., Loukaki, K., & Papavassiliou, V. G. (2019). Simulating financial contagion dynamics in random interbank networks. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 158, 500-525.
- Lee, S. H. (2013). Systemic liquidity shortages and interbank network structures. *Journal of Financial Stability*, 9(1):1–12.
- Li, S. and He, J. (2012). The impact of bank activities on contagion risk in interbank networks. *Advances in Complex Systems*, 15:1250086.
- Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T., and Alentorn, A. (2007). Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 31(6):2033–2060.
- Newman, M. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA.
- Newman, M. E. (2002). Assortative mixing in networks. *Physical Review Letters*, 89(20):208701.

- Newman, M. E. J. (2003a). Mixing patterns in networks. *Physical Review E*, 67(2):026126.
- Newman, M. E. J. (2003b). The structure and function of complex networks. *SIAM Review*, 45:167–256.
- Papadimitriou, T., Gogas, P., and Tabak, B. M. (2013). Complex networks and banking systems supervision. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(19):4429–4434.
- Silva, T. C. and Zhao, L. (2012). Network-based high level data classification. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 23(6):954–970.
- Silva, T. C. and Zhao, L. (2015). High-level pattern-based classification via tourist walks in networks. *Information Sciences*, 294:109–126.
- Silva, T.C., Rubens Stancato de Souza, S., Tabak, B.M., (2015). Network Structure Analysis of the Brazilian Interbank Market, June.
- Shouwei Li , Jianmin He, Yaming Zhuang, (2010). A network model of the interbank market, *Physica A* 389, 5587–5593.
- Souma, W., Fujiwara, Y., Aoyama, H., (2003). Complex networks and economics, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 324 (1), 396–401.
- Soram̄aki, K., Bech, M.L., Arnold, J., Glass,R.J., Beyeler, W.E., (2007). The topology of interbank payment flows, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 379 (1). 317–333
- Tabak, B. M., Takami, M., Rocha, J. M., Cajueiro, D. O., and Souza, S. R. (2014). Directed clustering coefficient as a measure of systemic risk in complex banking networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 394(0):211–216.
- Tabak, B.M., Cajueiro, D.O., Serra, T.R., (2009), Topological properties of bank networks: the case of brazil, *International Journal of Modern Physics C* 20 (08).1121–1143.
- Upper, C. (2011). Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets. *Journal of Financial Stability*, 7(3):111–125.
- Wells, S. (2002). UK interbank exposures: systemic risk implications. *Financial Stability Review*, 13(12), 175-182.
- Xu,T., He,J., Li, S., (2016).A dynamic network model for interbank market, *Physica A*.
- Zhou, D., Stanley, H. E., D’Agostino, G., & Scala, A. (2012). Assortativity decreases the robustness of interdependent networks. *Physical Review E*, 86(6), 066103