Journal of Soft Computing and Information Technology (JSCIT)
Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
Journal Homepage: jscit.nit.ac.ir
Volume 12, Number 3, Autumn 2023, pp. 17-29
Received: 04/18/2023, Revised: 09/12/2023, Accepted: 10/13/2023

An Approach for Modeling Trust and Distrust in Social Networks and Evaluating the Trust Level of each User using Coloured Petri Nets

Ali Naghash Asadi[1*]
1*- Fouman Faculty of Engineering, University of Tehran, Fouman, Iran.
[1*]naghashasadi@ut.ac.ir

Corresponding author's address: Ali Naghash Asadi, Fouman Faculty of Engineering, University of Tehran, Fouman, Iran.

Abstract- The crisis of trust between users is one of the most important challenges of social networks. One solution to this challenge is for users to know about the trust level of other users. This solution can be implemented by quantifying trust and using collective intelligence. Various models have been presented to calculate trust in social networks using mathematical formulas and without considering the permanent changes in users' trust based on various events. However, providing an approach that can model various types of scenarios and assumptions and calculate and evaluate the trust level of each user is a very important issue. In this paper, the Colored Petri net, a graphical formalism, has been used to model trust and distrust between users in social networks and to evaluate the impact of various events on the change of the trust level of each user over time. Furthermore, an algorithm is proposed in this paper to determine the influence of each user on the trust level of another user, so that this influence is heterogeneous between users. The proposed approach can model any number of users, define different scenarios by simply changing the model parameters' values, and evaluate each user's trust level in each scenario. The proposed modeling approach which the results obtained from its models are validated with the OMNeT++ simulator and statistical analysis can be used as a simulator of users' trust level in social networks.

Keywords- Social Networks, Trust and Distrust Modeling, Trust Level Evaluation, Coloured Petri Nets (CPN).

مجله علمی پژوهشی رایانش نرم و فناوری اطلاعات
دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
صفحه مجله: jscit.nit.ac.ir
جلد ۱۲، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۲ ، صفحه ۱۷-۲۹
دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۱

روشی برای مدل‌سازی اعتماد و بی‌اعتمادی در شبکه‌های اجتماعی و ارزیابی سطح اعتماد هر کاربر با استفاده از شبکه‌های پتری رنگی

علی نقاش اسدی*[1]
*۱- دانشکده فنی فومن، دانشکدگان فنی دانشگاه تهران، فومن، ایران.
[1*]naghashasadi@ut.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: علی نقاش اسدی، فومن، کیلومتر ۱ جاده ماسوله، دانشکده فنی فومن.

چکیده- یکی از مهم‌ترین چالش‌های شبکه‌های اجتماعی، بحران اعتماد بین کاربران است. یکی از راهکارها برای حل این چالش، اطلاع کاربران از سطح اعتماد کاربران دیگر است. با کمی‌سازی اعتماد و استفاده از هوش جمعی می‌توان این راهکار را عملی کرد. مدل‌های مختلفی برای محاسبه اعتماد در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از فرمول‌های ریاضی و بدون در نظر گرفتن تغییرات دائمی اعتماد کاربران بر اساس رویدادهای مختلف ارائه شده است. با این حال، ارائه روشی که بتواند انواع مختلفی از سناریوها و مفروضات را مدل‌سازی کرده و سطح اعتماد هر کاربر را در هر کدام از حالت‌ها محاسبه و ارزیابی کند، موضوع بسیار مهمی است. در این مقاله از صورت‌بندی گرافیکی شبکه‌های پتری رنگی برای مدل‌سازی اعتماد و بی‌اعتمادی بین کاربران در شبکه‌های اجتماعی و ارزیابی تأثیر رویدادهای مختلف بر تغییر سطح اعتماد هر کاربر در طول زمان استفاده شده است. همچنین در این مقاله، الگوریتمی برای مشخص کردن میزان تأثیرگذاری هر کاربر بر سطح اعتماد کاربر دیگر ارائه شده است تا این اثرگذاری بین کاربران یکسان نباشد. روش ارائه‌شده این قابلیت را دارد که برای هر تعداد کاربر مدل‌سازی را انجام داده و صرفاً با تغییر مقادیر پارامترهای مدل، سناریوهای مختلفی تعریف کرده و سطح اعتماد هر کاربر را هر سناریو ارزیابی کند. به همین دلیل، روش مدل‌سازی ارائه‌شده، که نتایج مدل‌های آن با شبیه‌ساز OMNeT++ و تحلیل آماری اعتبارسنجی می‌شود، می‌تواند به عنوان شبیه‌ساز سطح اعتماد کاربران در شبکه‌های اجتماعی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های اجتماعی، مدل‌سازی اعتماد و بی‌اعتمادی، ارزیابی سطح اعتماد، شبکه‌های پتری رنگی.

۱- مقدمه

شبکه‌های اجتماعی و چالش‌های مختلف آنها، یکی از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی دنیای امروز است. کاربران در این شبکه‌ها، اطلاعات و تجربه‌های خود را با سایر کاربران به اشتراک می‌گذارند. همچنین دولت‌ها و شرکت‌ها نیز از این شبکه‌ها برای خدمات‌رسانی به مردم استفاده می‌کنند. ولی مزایای استفاده از شبکه‌های اجتماعی زمانی حاصل می‌شود که اعتماد[1] بین کاربران در شبکه‌های اجتماعی وجود داشته باشد [۱]. اعتماد به این معنی است که اعتمادکننده[2] بر اساس باور شخصی، ریسک پذیرش اطلاعات ارائه‌شده توسط متولی[3] را می‌پذیرد، زیرا باور دارد که در شرایط مبهم، متولی اطلاعات مطمئنی ارائه می‌کند [۲]. اعتماد ارتباط نزدیکی با موضوع امنیت دارد. به عبارت دیگر، اعتمادکننده انتظار دارد که متولی (که می‌تواند سیستم، گروه و یا فرد دیگری باشد) وفادارانه رفتار خود را پایدار نگاه دارد [۳].

گزارش‌ها نشان می‌دهند که با وجود افزایش تعداد شبکه‌های اجتماعی و کاربران آنها، فعالیت کاربران در بسیاری از این شبکه‌ها کاهش یافته است. برای مثال در گزارش [۴] اعلام شده است که فعالیت کاربران شبکه‌های اجتماعی در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال

۲۰۱۱، ۳۰ درصد کاهش یافته است. این موضوع می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد ولی یکی از مهم‌ترین آنها، بحران اعتماد[۴] در شبکه‌های اجتماعی است [۲]. انتشار مطالب مخرب و نامطلوب توسط بعضی از کاربران در این شبکه‌ها منجر به کاهش اعتماد کاربران و عدم تمایل آنها به فعالیت در شبکه‌های اجتماعی شده است. بنابراین، چالش اصلی در موفقیت شبکه‌های اجتماعی، موضوع اعتماد است [۵].

به عنوان یک راهکار اگر کاربران بتوانند سطح اعتماد[۵] هر کاربر را مشاهده کنند، می‌توانند با اطمینان بیشتری در شبکه‌های اجتماعی فعالیت کرده و میزان درستی مطالب منتشرشده را از طریق مشاهده سطح اعتماد کاربر منتشرکننده آنها متوجه شوند؛ ولی تاکنون چنین امکانی توسط شبکه‌های اجتماعی فراهم نشده است. بنابراین وجود سطح اعتماد برای هر کاربر در شبکه‌های اجتماعی موضوع بسیار مهمی است؛ ولی کمی‌سازی اعتماد موضوع بسیار پیچیده‌ای بوده و سوال اساسی این است که چطور این سطح اعتماد باید محاسبه شود؟ بهترین راهکار برای محاسبه سطح اعتماد هر کاربر، استفاده از هوش جمعی[۶] (CI) است [۶]. استفاده از این راهکار باعث می‌شود که همه کاربران در محاسبه سطح اعتماد هر کاربر دخیل باشند و در مقیاس بسیار بزرگ کاربران شبکه‌های اجتماعی، این راهکار می‌تواند مؤثر و دقیق باشد. البته میزان تأثیرگذاری همه کاربران بر سطح اعتماد یک کاربر نباید یکسان باشد، بلکه این تأثیر باید متناسب با سطح اعتماد هر کاربر، متغیر باشد. به طور کلی اعتماد یکی از مسائل مهم علوم اجتماعی است و ارزیابی آن از اصول زیر پیروی می‌کند [۷]:

- سطح اعتماد هر کاربر یک مقدار پویا است.
- در محاسبه سطح اعتماد هر کاربر، میزان اهمیت شواهد ارائه‌شده برای آن کاربر با گذر زمان کاهش پیدا می‌کند.
- ارزیابی اعتماد یک فرآیند تجمعی طولانی است.
- واکنش‌های مستقیم و غیرمستقیم می‌توانند بر سطح اعتماد هر کاربر تأثیرگذار باشند.
- سطح اعتماد هر کاربر باید به آرامی افزایش و به سرعت کاهش یابد.

به دلیل کاربران بسیار زیاد شبکه‌های اجتماعی، محاسبه و مشاهده تغییرات سطح اعتماد هر کاربر و همچنین ارزیابی و مقایسه روش‌های مختلف این محاسبه به صورت واقعی از نظر بودجه و زمان مقرون به صرف نیست؛ بنابراین ارائه مدلی که بتواند به صورت خودکار این کار را انجام دهد، بسیار ارزشمند خواهد بود.

صورت‌بندی[۷] شبکه‌های پتری[۸] و بسط[۹]های مختلف آن در مدل‌سازی سیستم‌ها و موضوعات تحقیقاتی مختلفی استفاده شده است [۸] [۹] [۱۰] [۱۱] [۱۲]. این صورت‌بندی، محیط مدل‌سازی قدرتمندی را برای ارزیابی معیارهای مختلف در سیستم‌های رایانشی[۱۰] ارائه می‌کند. از مزایای این صورت‌بندی می‌توان به تعریف ساده، مبنای ریاضیاتی قوی و نمایش گرافیکی آن اشاره کرد که توسط ابزارهای مختلفی پشتیبانی می‌شوند. این ابزارها می‌توانند نتایج تحلیلی یا شبیه‌سازی از مدل‌های ایجادشده توسط شبکه‌های پتری ارائه کنند.

در این مقاله با استفاده از صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی[۱۱] (CPN)، مدلی ارائه می‌شود که به وسیله آن می‌توان تغییرات سطح اعتماد هر کاربر را بر اساس هوش جمعی سایر کاربران محاسبه کرد. به طور خلاصه، نوآوری‌های مقاله را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- روش ارائه‌شده به صورت گرافیکی می‌تواند اعتماد و بی‌اعتمادی بین کاربران شبکه‌های اجتماعی را مدل‌سازی کرده و تغییرات سطح اعتماد هر کاربر را در طول زمان ارزیابی کند.
- در روش مدل‌سازی ارائه‌شده، تأثیر هوش جمعی در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، هر کاربر علاوه بر تأثیر مستقیم بر سطح اعتماد کاربرانی که به آنها باور دارد (اعتماد یا بی‌اعتمادی)، می‌تواند به صورت غیرمستقیم بر سطح اعتماد سایر کاربران (حتی آنهایی که در مورد آنها باوری ندارد) تأثیرگذار باشد.
- روش ارائه‌شده می‌تواند به عنوان شبیه‌ساز سطح اعتماد کاربران در شبکه‌های اجتماعی مورد استفاده قرار گیرد.
- بدون نیاز به تغییر مدل، الگوریتم ارائه‌شده برای مشخص کردن میزان تأثیرگذاری هر کاربر بر سطح اعتماد کاربر دیگر، به راحتی قابل تغییر است. همچنین، امکان بررسی سناریوهای مختلف و ارزیابی تغییرات سطح اعتماد هر کاربر در سناریوها و بازه‌های زمانی مختلف وجود دارد.

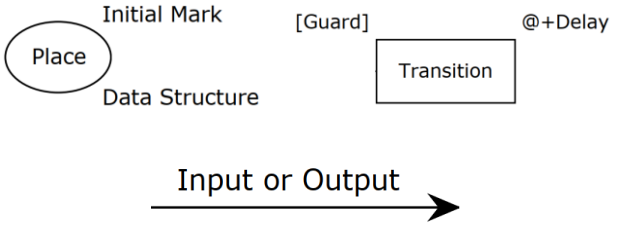
ساختار مقاله در ادامه به این صورت است که در بخش دوم، صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی معرفی شده و در بخش سوم، کارهای انجام‌شده در زمینه مدل‌سازی اعتماد در شبکه‌های اجتماعی ارائه می‌شود. سپس در بخش چهارم، روش ارائه‌شده برای مدل‌سازی اعتماد کاربران در شبکه‌های اجتماعی با استفاده

از صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی معرفی شده و در بخش پنجم، نتایج بدست آمده از مدل در سناریوهای مختلف ارزیابی، و با مقایسه با نتایج شبیه‌ساز OMNeT++ و تحلیل آماری، اعتبارسنجی می‌شود. در پایان نیز نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی

در تعریف پایه صورت‌بندی شبکه‌های پتری و بسط‌های مختلف آن، دو مؤلفه مکان[۱۲] و گذار[۱۳] وجود دارد [۱۳]. مکان‌ها وظیفه نگهداری توکن[۱۴]ها، و گذارها وظیفه انتقال توکن‌ها بین مکان‌ها را بر عهده دارند. مکان‌ها و گذارها از طریق تعدادی یال[۱۵] جهت‌دار به یکدیگر متصل می‌شوند (هر یال بین یک مکان و یک گذار ایجاد می‌شود). هر مدل ایجادشده توسط شبکه‌های پتری و یا بسط‌های مختلف آن، می‌تواند از چندین مکان و گذار تشکیل شود. اساس شبکه‌های پتری در تعریف وضعیت‌های مختلف و نحوه تغییر وضعیت‌ها است. هر مکان و تعداد توکن‌های موجود در آن می‌تواند نشان‌دهنده وضعیت یک بخش از سیستم تحت مطالعه باشد.

شبکه‌های پتری رنگی (CPN) یکی از بسط‌های مهم شبکه‌های پتری است [۱۴] که توسط ابزار CPN Tools [۱۵] پشتیبانی می‌شود. این صورت‌بندی مشابه صورت‌بندی قبلی با همان تعاریف است با این تفاوت که توکن‌ها در آن می‌توانند ساختار داده‌ای متفاوتی داشته باشند. به عبارت دیگر، در شبکه‌های پتری به هر مکان می‌تواند فقط یک عدد صحیح (مشخص‌کننده تعداد توکن در هر مکان) تعلق گیرد؛ این در حالی است که در شبکه‌های پتری رنگی، هر مکان می‌تواند ساختار داده‌ای خاص خود را داشته باشد. شکل ۱ نمایش گرافیکی مؤلفه‌های موجود در شبکه‌های پتری رنگی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: مولفه‌های صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی.

مطابق با شکل ۱، هر مکان می‌تواند یک نام، یک ساختار داده و یک نشانه‌گذاری اولیه[۱۶] داشته باشد. ساختار داده هر مکان می‌تواند شامل انواع داده‌ای اصلی (برای مثال، int، float، string و غیره) یا غیر اصلی (برای مثال، product string*int که نشان‌دهنده مجموعه‌ای به صورت (string, int) است) باشد. برای مثال، در صورتی که ساختار داده یک مکان به صورت product string*int باشد، این مکان می‌تواند توکنی به صورت (“test”,12) را در خود نگهداری کند. برای آنکه توکن‌های اولیه (نشانه‌گذاری اولیه) یک مکان را مشخص کنیم، باید از ساختار N`Value استفاده شود که N تعداد توکن و Value مقدار توکن را نشان می‌دهد. برای مثال، 2`(“test”,12) نشان می‌دهد که در یک مکان، دو توکن با مقدار (“test”,12) وجود دارد.

مطابق با شکل ۱، هر گذار می‌تواند یک نام، یک پیش‌شرط[۱۷] و یک تاخیر[۱۸] داشته باشد. پیش‌شرط هر گذار یک عبارت شرطی است که در صورتی که درست[۱۹] باشد، گذار امکان فعال‌شدن داشته و انتقال توکن را انجام می‌دهد. در صورتی که مکان‌های متصل به یک گذار دارای ساختار داده‌ای زمان‌دار باشند، گذار می‌تواند تاخیر داشته باشد و پس از انتقال توکن، به مقدار تاخیر گذار به زمان فعال‌شدن توکن‌ها اضافه می‌شود.

۳- کارهای مرتبط

یک مقاله مروری[۲۰] در [۱۶] با هدف تشریح مبانی اعتماد در برنامه‌های کاربردی در زمینه‌های مفهوم اعتماد، ارزیابی اعتماد، ویژگی‌های اعتماد، روابط و کاربردهای اعتماد ارائه شده است. همچنین در مورد نحوه نگاشت ویژگی‌های مختلف اعتماد به یک شبکه پیچیده و ترکیبی توضیحاتی ارائه شده است. در [۲]، یک روش بر مبنای شبکه‌های پیچیده برای مدل‌سازی انتشار شکست اعتماد[۲۱] در شبکه‌های اجتماعی ارائه شده است. در این مقاله این موضوع بررسی شده است که شکست اعتماد بین دو کاربر به دلایل مختلف (عمدی یا غیرعمدی) می‌تواند منجر به شکست اعتماد بین سایر کاربران شده و در کل، سطح اعتماد عمومی کاهش یابد. بنابراین برای جلوگیری از آن، الگوریتم‌هایی مبتنی بر الگوریتم جاکارد[۲۲] ارائه کرده‌اند. در [۱۷]، از محاسبات کوانتومی و ساختار تصمیم‌گیری آن به عنوان روشی برای تکامل اعتماد در سیستم‌های تصمیم‌گیری استفاده شده است. در [۱۸]، از عامل زمان برای توصیف پویایی اعتماد استفاده شده است، به طوری که با گذشت زمان و عدم تمدید اعتماد کاربر توسط سایر کاربران، سطح اعتماد به آن کاربر کاهش پیدا می‌کند. در مدل ارائه‌شده در [۱۸]، بر فراوانی تعامل بین کاربران، شباهت کاربران و تعداد دوستان عمومی توجه شده است. در [۱۹] ، از نظریه بازی[۲۳] به عنوان مدل اندازه‌گیری اعتماد در شبکه‌های اجتماعی استفاده شده است. در [۲۰]، با توجه به عواملی مانند تعامل بین دو کاربر و شهرت[۲۴] کاربر در شبکه اجتماعی، مدل اعتمادی بین دو کاربر با استفاده از تخمین گاوسی[۲۵] ارائه می‌کند.

در تحقیقات ابتدایی، مفهوم بی‌اعتمادی، کم بودن میزان اعتماد

تلقی می‌شد که در اثر بهبود اعتماد از بین می‌رفت؛ ولی در تحقیقات جدید، تعاریف جدیدی از بی‌اعتمادی ارائه شده است که متفاوت از کم بودن اعتماد است [۲۱]. مطابق با این تعریف، در [۲۲] و [۲۳] به این موضوع اشاره شده است که اطلاعات بی‌اعتمادی همانند اطلاعات اعتماد دارای هویت مستقل بوده و نقش مهمی در تعاملات اجتماعی و تصمیم‌گیری‌ها ایفا می‌کنند. بنابراین از نظریه منطق ذهنی برای مدل‌سازی همزمان اعتماد و بی‌اعتمادی استفاده شده است. همچنین، علاوه بر معیارهای اعتماد، معیارهای بی‌اعتمادی نیز محاسبه شده و در تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در [۵]، عوامل مؤثر بر اعتماد و ویژگی‌های آنها بر اساس ویژگی‌های رفتار گروهی معرفی شده است. علاوه بر این، روشی برای کنترل پویایی اعتماد کاربران و هماهنگ کردن رفتار آنها در شبکه‌های اجتماعی برای جلوگیری از رفتار گروهی منفی ارائه شده است.

در [۷]، تأثیر فرآیندهای ناقص در ارزیابی اعتماد کاربران که منجر به نتایج نادرست می‌شود، بررسی شده و با در نظر گرفتن اصول اساسی ارزیابی اعتماد و ترکیب آنها با یکدیگر، روشی برای ارزیابی اعتماد با در نظر گرفتن عواملی ذهنی[۲۶] و عینی[۲۷] رفتار کاربران ارائه شده است. در بخشی از این روش، برای کاربران تازه وارد به شبکه، از شبکه‌های پتری فازی[۲۸] برای تعیین سطح اعتماد اولیه کاربر از طریق توصیه‌های سایر کاربران استفاده شده است.

در [۲۴]، از شبکه‌های پتری رنگی برای مدل‌سازی سیستم‌های اعتماد مبتنی بر شهرت استفاده شده است. کار انجام‌شده در [۲۴]، بیشترین ارتباط را با مقاله ما دارد. مدل اعتماد ارائه‌شده در این مقاله صرفاً برای سه کاربر بوده و مفهوم بی‌اعتمادی را در نظر نمی‌گیرد. همچنین میزان تأثیر اعتماد هر کاربر بر کاربر دیگر، یکسان در نظر گرفته شده است. در صورتی که در روش ارائه‌شده در این مقاله، هر تعداد کاربر با سطح اعتماد متفاوت می‌توانند مدل‌سازی شوند و این تفاوت با در نظر گرفتن اعتماد و بی‌اعتمادی بین آنها می‌تواند بر میزان تأثیر اعتماد هر کاربر بر کاربر دیگر مؤثر باشد.

در اکثر کارهای مرتبط معرفی‌شده، مدل‌سازی اعتماد با استفاده از فرمول‌های ریاضی و بدون در نظر گرفتن تغییرات دائمی اعتماد کاربران بر اساس رویدادهای مختلف انجام شده است؛ این در حالی است که در روش ارائه‌شده در این مقاله از صورت‌بندی گرافیکی شبکه‌های پتری رنگی استفاده شده و تأثیر رویدادهای مختلف بر تغییر اعتماد کاربران در طول زمان در نظر گرفته شده است. روش پیشنهادی، بدون وجود هیچ محدودیتی در تعداد کاربران، می‌تواند از هوش جمعی برای مدل‌سازی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم هر کاربر بر سطح اعتماد کاربران دیگر استفاده کند. این در حالی است که در کارهای مرتبط معمولاً تعداد کاربران محدود بوده و صرفاً تأثیر مستقیم کاربران بر یکدیگر در نظر گرفته می‌شود. یکی از مهم‌ترین مزایای روش ارائه شده این است که بدون تغییر مدل می‌توان انواع مختلفی از سناریوها را پیاده‌سازی کرده و نحوه تغییر سطح اعتماد کاربران را ارزیابی کرد. حتی می‌توان الگوریتم نحوه تأثیر هر کاربر بر سطح اعتماد کاربران دیگر را تغییر داد. این موضوع باعث می‌شود که این روش بتواند به عنوان یک شبیه‌ساز اعتماد در شبکه‌های اجتماعی مورد استفاده قرار گیرد؛ این در حالی است که مدل‌سازی‌های انجام‌شده در کارهای مرتبط این قابلیت را ندارند. جدول ۱ کارهای مرتبط را با روش ارائه‌شده در این مقاله مقایسه می‌کند.

جدول ۱: مقایسه کارهای مرتبط با روش پیشنهادی

معیار	[۲]	[۱۷]	[۱۸]	[۱۹]	[۲۰]	[۷]	[۲۴]
شبکه پتری	x	x	x	x	x	✓	✓
کاربران نامحدود	✓	✓	✓	✓	x	x	x
هوش جمعی	✓	✓	✓	✓	x	x	x
سناریوهای مختلف	x	x	x	x	x	x	x
شبیه‌ساز	x	x	x	x	x	x	x

۴- مدل اعتماد ارائه‌شده و پیچیدگی محاسباتی آن

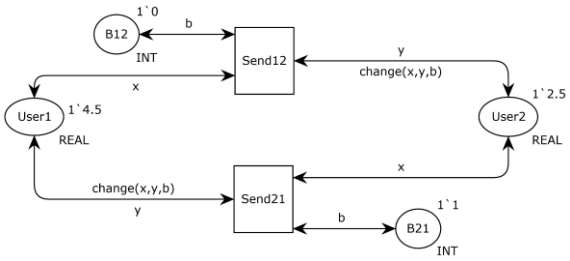
در این بخش، مدل ارائه‌شده با استفاده از صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی و ساخته‌شده با ابزار CPN Tools معرفی می‌شود. همچنین در مورد مفروضات مطرح‌شده در مدل‌سازی، توضیحاتی ارائه می‌شود. در انتها، توضیحاتی در مورد پیچیدگی محاسباتی مدل و مقیاس‌پذیری آن ارائه می‌شود.

۴-۱- مدل اعتماد ارائه‌شده بین دو کاربر

شکل ۲، مدل اعتماد ارائه‌شده بین دو کاربر در شبکه‌های اجتماعی را نشان می‌دهد. مزیت مدل ارائه‌شده این است که صرفاً برای دو کاربر نبوده و با دانستن تعداد کاربران شبکه‌های اجتماعی، بین همه کاربران آن می‌تواند ایجاد شود.

در مدل اعتماد ارائه‌شده در شکل ۲، از چهار مکان و دو گذار استفاده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، مکان‌های User1 و User2 که به ترتیب سطح اعتماد کاربر یک و دو را نشان می‌دهند، می‌توانند یک توکن با مقدار اعشاری[۲۹] بین صفر تا ۱۰ را نگه‌داری کنند. در مدل ارائه‌شده فرض شده است که سطح اعتماد

هر کاربر عدد اعشاری بین صفر تا ۱۰ است که مقدار ۱۰، بالاترین سطح اعتماد را نشان می‌دهد. برای مثال در شکل ۲، سطح اعتماد کاربران یک و دو به ترتیب برابر با ۴.۵ و ۲.۵ است. در مدل ارائه‌شده، سطح اولیه اعتماد هر کاربر باید مشخص شود. سطح اعتماد اولیه در بسیاری از شبکه‌های اجتماعی برای کاربران تازه وارد از طریق پروفایل ثبت‌شده توسط کاربر با در نظر گرفتن مواردی مانند حساب تاییدشده، ایمیل یا شماره تلفن تاییدشده، نوع ایمیل (دانشگاهی یا عمومی)، نوع کشور مرتبط با شماره تلفن، دعوت یا توصیه سایر کاربران معتبر و غیره قابل مقداردهی است [۷] [۲۵]. با این وجود، سطح اعتماد اولیه همواره مقدار پایینی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲: مدل اعتماد ارائه‌شده بین دو کاربر در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از شبکه‌های پتری رنگی.

مکان B12 در شکل ۲ نشان‌دهنده باور یا اعتقاد کاربر یک نسبت به کاربر دو است و می‌تواند یک توکن با مقدار صحیح را نگهداری کند. البته در صورتی که این مکان توکنی نداشته باشد، به این معنی است که کاربر یک، باور یا اعتقادی به کاربر دو ندارد و یا حتی آن را دنبال نمی‌کند. مقادیر صحیحی که این مکان می‌تواند نگهداری کند شامل موارد زیر است:

- مقدار صفر: باور یا اعتقاد کاربر یک این است که کاربر دو غیرقابل اعتماد است.
- مقدار یک: باور یا اعتقاد کاربر یک این است که کاربر دو قابل اعتماد است.

به طور مشابه، مکان B21 نیز نشان‌دهنده باور یا اعتقاد کاربر دو نسبت به کاربر یک است. برای مثال در شکل ۲، کاربر یک نسبت به کاربر دو بی‌اعتماد است، ولی کاربر دو به کاربر یک اعتماد دارد.

کاربرانی که در شبکه‌های اجتماعی نسبت به هم، باور اعتماد یا بی‌اعتماد دارند، در بازه‌های زمانی مختلف واکنش‌های مثبت یا منفی به یکدیگر نشان می‌دهند. این واکنش‌ها می‌تواند بر سطح اعتماد کاربران تأثیرگذار باشد. این موضوع در مدل ارائه‌شده در شکل ۲ با گذارهای Send12 و Send21 مدل‌سازی شده است.

گذار Send12 انجام واکنش کاربر یک به کاربر دو را مدل‌سازی می‌کند. به طور مشابه گذار Send21 نیز، انجام واکنش کاربر دو به کاربر یک را مدل‌سازی می‌کند.

```
Input:
 x is the trust level of the src user.
 y is the trust level of the dst user.
 b is the type of the src user's belief about the dst user.
Output: ny is new y.
Algorithm: change(x, y, b)
    Case b of
      1: If ((x > y) and (y+(x-y)/10) ≤ x) then
            ny = y+(x-y)/10
         Else If ((x ≤ y) and (y+0.001) ≤ 10) then
            ny = y+0.001
         Else
            ny = y
      0: If ((x > y) and (y-(x-y)/5) ≥ 0) then
            ny = y-(x-y)/5
         Else If ((x ≤ y) and (y-0.002) ≥ x) then
            ny = y-0.002
         Else
            ny = y
    End_Case
End_Algorithm
```

شکل ۳: الگوریتم ارائه شده برای تابع change.

در گذار Send12، اگر مکان B12 دارای توکن باشد (یعنی کاربر یک نسبت به کاربر دو دارای باور یا اعتقاد (اعتماد یا بی‌اعتمادی) باشد)، گذار فعال بوده و می‌تواند به صورت تصادفی انجام شود. بنابراین در صورتی که مکان B12 توکنی نداشته باشد، به این معنی است کاربر یک، باور یا اعتقادی به کاربر دو نداشته و در نتیجه به آن واکنش نشان نمی‌دهد و یا اگر واکنشی نشان دهد، تأثیری بر سطح فعالیت کاربر دوم ندارد. مکان‌های User1 و User2 همیشه دارای توکن هستند، بنابراین نمی‌توانند بر غیرفعال‌شدن گذار Send12 تأثیرگذار باشند. مطابق با شکل ۲، در صورتی که گذار Send12 انجام شود، مقدار توکن مکان User1، با استفاده از متغیر x از طریق یال دو جهته، از آن گرفته شده و به آن پس داده می‌شود. همچنین مقدار توکن مکان B12، با استفاده از متغیر b از طریق یال دو جهته، از آن گرفته شده و به آن پس داده می‌شود. مقدار توکن مکان User2 نیز با استفاده از متغیر y از طریق یال دو جهته، از آن گرفته می‌شود ولی خروجی تابع change(x,y,b) به مکان User2 پس داده می‌شود. به عبارت دیگر با واکنش کاربر یک نسبت به کاربر دو، بر اساس باور کاربر یک نسبت به کاربر دو و سطح اعتماد کاربر یک و دو، سطح اعتماد

کاربر دو براساس تابع change(x,y,b) تغییر می‌کند. شکل ۳، الگوریتم ارائه‌شده برای تابع change(x,y,b) را نشان می‌دهد. این الگوریتم دارای سه پارامتر ورودی x، y و b است که به ترتیب برابر با سطح اعتماد کاربر یک و دو، و باور کاربر یک نسبت به کاربر دو است. این الگوریتم یک پارامتر خروجی (ny) نیز دارد که برابر با سطح اعتماد جدید کاربر دو پس از انجام واکنش کاربر یک است.

به طور مشابه در گذار Send21 نیز اگر مکان B21 دارای توکن باشد، گذار فعال بوده و می‌تواند به صورت تصادفی انجام شود. مطابق با شکل ۲، در صورتی که گذار Send21 انجام شود، مقدار توکن مکان User2، با استفاده از متغیر x از طریق یال دو جهته، از آن گرفته شده و به آن پس داده می‌شود. همچنین مقدار توکن مکان B21، با استفاده از متغیر b از طریق یال دو جهته، از آن گرفته شده و به آن پس داده می‌شود. مقدار توکن مکان User1 نیز با استفاده از متغیر y از طریق یال دو جهته، از آن گرفته می‌شود ولی خروجی تابع change(x,y,b) به مکان User1 پس داده می‌شود.

در شکل ۳ و در گذار Send12، در صورتی که باور کاربر یک نسبت به کاربر دو (b) برابر با یک باشد، یعنی کاربر یک به کاربر دو اعتماد داشته و با انجام واکنش مثبت، می‌تواند سطح اعتماد کاربر دو را افزایش دهد. نحوه افزایش سطح اعتماد کاربر دو (ny) به این صورت است که اگر سطح اعتماد کاربر یک (x) بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو (y) باشد، با انجام این واکنش، به مقدار (x-y)/10 به سطح اعتماد کاربر دو افزوده خواهد شد؛ مگر آنکه این افزایش باعث شود که مقدار سطح اعتماد کاربر دو از سطح اعتماد کاربر اول بیشتر شود. در این صورت، این کار انجام نخواهد شد. به عبارت دیگر، کاربر اول که سطح اعتماد بیشتری نسبت به کاربر دوم دارد، با واکنش‌های مثبت فقط می‌تواند سطح اعتماد کاربر دوم را تا سطح اعتماد خودش بالا ببرد. اگر سطح اعتماد کاربر یک (x) کمتر یا مساوی با سطح اعتماد کاربر دو (y) باشد، با انجام واکنش مثبت، به مقدار ۰.۰۰۱ به سطح اعتماد کاربر دو افزوده خواهد شد؛ مگر آنکه این افزایش باعث شود که مقدار سطح اعتماد کاربر دو از مقدار ۱۰ بیشتر شود. در این صورت، این کار انجام نخواهد شد. به عبارت دیگر، کاربر اول که سطح اعتماد کمتری نسبت به کاربر دوم دارد، با واکنش‌های مثبت فقط می‌تواند سطح اعتماد کاربر دوم را به مقدار ناچیزی بالا ببرد. در صورتی که باور کاربر یک نسبت به کاربر دو (b) برابر با صفر باشد، یعنی کاربر یک به کاربر دو اعتماد نداشته و با انجام واکنش منفی، می‌تواند سطح اعتماد کاربر دو را کاهش دهد. نحوه کاهش سطح اعتماد کاربر دو (ny) به این صورت است که اگر سطح اعتماد کاربر یک (x) بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو (y) باشد، با انجام این واکنش، به مقدار (x-y)/5 از سطح اعتماد کاربر دو کاسته خواهد شد؛ مگر آنکه این کاهش باعث شود که مقدار سطح اعتماد کاربر دو از مقدار صفر کمتر شود. در این صورت، این کار انجام نخواهد شد. به عبارت دیگر، کاربر اول که سطح اعتماد بیشتری نسبت به کاربر دوم دارد، با واکنش‌های منفی می‌تواند سطح اعتماد کاربر دوم را تا مقدار صفر کاهش دهد. اگر سطح اعتماد کاربر یک (x) کمتر یا مساوی با سطح اعتماد کاربر دو (y) باشد، با انجام واکنش منفی، به مقدار ۰.۰۰۲ از سطح اعتماد کاربر دو کاسته خواهد شد؛ مگر آنکه این کاهش باعث شود که مقدار سطح اعتماد کاربر دو از سطح اعتماد کاربر اول کمتر شود. در این صورت، این کار انجام نخواهد شد. به عبارت دیگر، کاربر اول که سطح اعتماد کمتری نسبت به کاربر دوم دارد، با واکنش‌های منفی فقط می‌تواند سطح اعتماد کاربر دوم را تا سطح اعتماد خودش پایین بیاورد.

دلیل تفاوت نحوه تغییر سطح اعتماد کاربر دوم در واکنش‌های مثبت و منفی این است که همان طور که گفته شد، همواره در علوم اجتماعی، سطح اعتماد هر کاربر باید به آرامی افزایش و به سرعت کاهش یابد [۷]. بنابراین در صورتی که سطح اعتماد کاربر یک (x) بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو (y) باشد، در واکنش مثبت، به سطح اعتماد کاربر دوم به مقدار (x-y)/10 افزوده می‌شود؛ ولی در واکنش منفی، از سطح اعتماد کاربر دوم به مقدار (x-y)/5 کاسته می‌شود. همچنین در صورتی که سطح اعتماد کاربر یک (x) کمتر یا مساوی با سطح اعتماد کاربر دو (y) باشد، در واکنش مثبت، به سطح اعتماد کاربر دوم به مقدار ۰.۰۰۱ افزوده می‌شود؛ ولی در واکنش منفی، از سطح اعتماد کاربر دوم به مقدار ۰.۰۰۲ کاسته می‌شود.

۴-۲- مدل اعتماد ارائه‌شده برای بین چهار کاربر

همان طور که اشاره شد، مزیت مدل ارائه‌شده در شکل ۲ این است که صرفاً برای دو کاربر نبوده و می‌تواند بین هر دو کاربر در یک شبکه اجتماعی با تعداد کاربران زیاد ایجاد شود. شکل ۴، مدل اعتماد ارائه‌شده بین چهار کاربر را در شبکه‌های اجتماعی نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، این مدل بر مبنای مدل ارائه‌شده در شکل ۲ ایجاد شده است. توضیحات مربوط به مکان‌ها و گذارهای این مدل، مشابه با توضیحات ارائه‌شده برای مدل ارائه‌شده در شکل ۲ است.

زمانی که تعداد کاربران بیش از دو است، مدل ارائه‌شده از هوش جمعی برای ارزیابی سطح اعتماد هر کاربر استفاده می‌کند. به عبارت دیگر، میزان تغییر سطح اعتماد هر کاربر به صورت مستقیم

از تجمیع باور همه کاربرانی که نسبت به آن کاربر باور (اعتماد یا بی‌اعتمادی) دارند، بدست می‌آید. علاوه بر این هر کاربر می‌تواند به صورت غیرمستقیم بر سطح اعتماد سایر کاربران (حتی آنهایی که در مورد آنها باوری ندارد) تاثیرگذار باشد. فرض کنید کاربر A نسبت به کاربر B دارای باور باشد. کاربر B نیز نسبت به کاربر C دارای باور باشد، ولی کاربر A و C نسبت به هم باوری نداشته باشند. از آنجایی که کاربر A می‌تواند متناسب با باور خود، سطح اعتماد کاربر B را تغییر دهد، این تغییر می‌تواند بر اساس باور کاربران B و C به یکدیگر (مطابق با الگوریتم شکل ۳)، بر سطح فعالیت کاربر C نیز تاثیرگذار باشد.

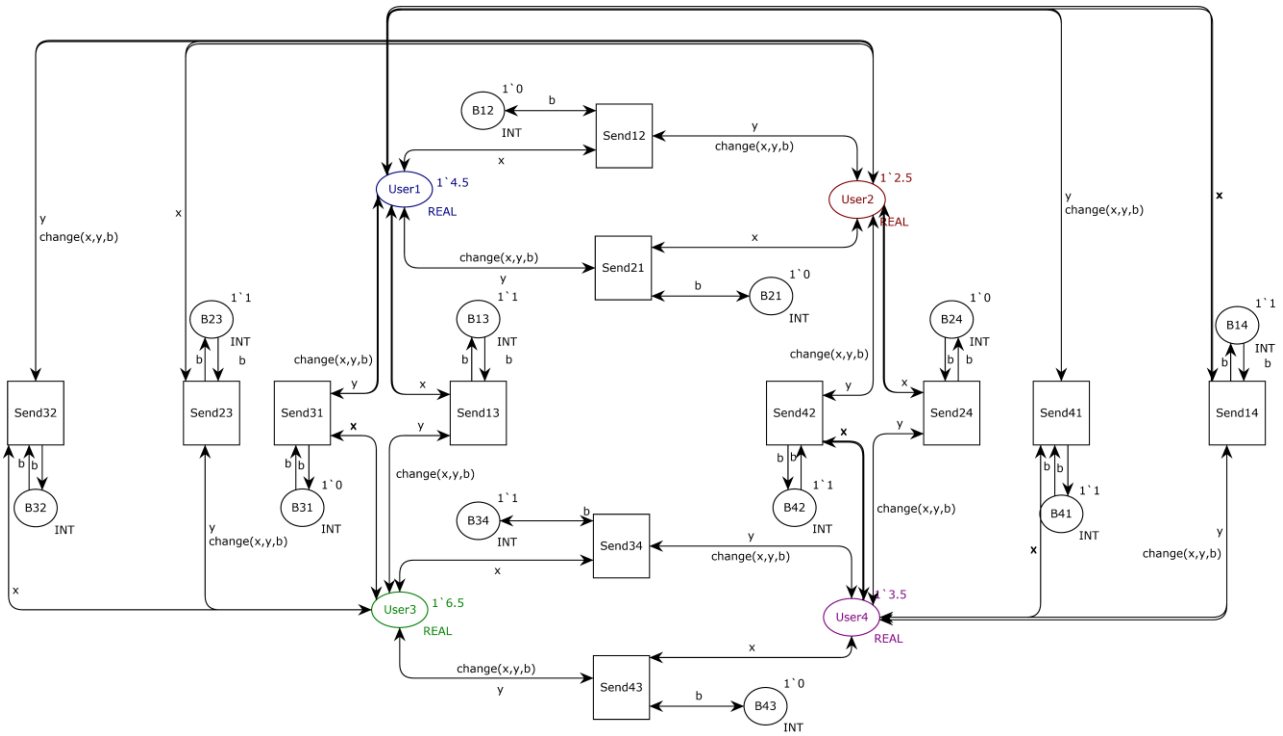
۴-۳- پیچیدگی محاسباتی مدل و مقیاس‌پذیری آن

یکی از مزایای روش ارائه‌شده، مقیاس‌پذیری مدل‌های آن است. همان طور که اشاره شد، مدل ارائه‌شده در شکل ۲، مدل اعتماد بین دو کاربر در شبکه‌های اجتماعی است؛ ولی این مدل می‌تواند برای هر تعداد کاربر مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، مدل ارائه‌شده در شکل ۴ برای چهار کاربر بوده و بین هر دو کاربر، از مدل ارائه‌شده در شکل ۲ استفاده شده است. بنابراین می‌توان برای هر تعداد کاربر دلخواه، مدل مورد نظر را پیاده‌سازی کرد.

از آنجایی که مدل‌های ایجادشده توسط روش پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌کنند، از نظر زمان و حافظه محدودیتی ندارند و تنها کاری که باید انجام شود، رسم مدل در ابزار CPN Tools برای تعداد کاربر مورد نظر است. در صورتی که برای n کاربر، مدل ایجاد شود، مقدار حافظه مورد نیاز برای نگهداری اطلاعات مدل برابر با یک آرایه n عنصری برای نگهداری سطح اعتماد هر کاربر و یک ماتریس n*n برابر نگهداری باور هر کاربر نسبت به کاربر دیگر است. همچنین پیچیدگی زمانی اجرای مدل در صورت وقوع هر رویداد (که به صورت تصادفی اتفاق می‌افتد) مطابق با الگوریتم ارائه‌شده برای تابع change (شکل ۳: الگوریتم تأثیر هر کاربر بر سطح اعتماد کاربر دیگر) است که همان طور که مشاهده می‌شود، بدون پیچیدگی زمانی است.

۵- ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل در سناریوهای مختلف و اعتبارسنجی آنها

در این بخش، نتایج بدست آمده از مدل ارائه‌شده در سناریوهای مختلف ارزیابی می‌شود. در سناریوهای طراحی‌شده سعی شده است که با تغییر تعداد کاربران، تغییر سطح اعتماد اولیه هر کاربر، و تغییر باور اعتماد یا بی‌اعتمادی هر کاربر نسبت به کاربر دیگر، تأثیر تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از انجام چندین واکنش منفی یا مثبت مشاهده و ارزیابی شود. در نمودارهای ارائه‌شده، محورهای عمودی و افقی به ترتیب نشان‌دهنده سطح اعتماد و تعداد واکنش‌ها هستند.



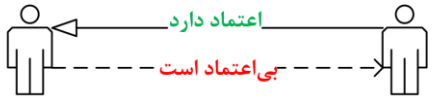
شکل ۴: مدل اعتماد ارائه‌شده بین چهار کاربر در شبکه‌های اجتماعی با استفاده از شبکه‌های پتری رنگی.

۵-۱- سناریوهای مختلف اعتماد بین دو کاربر

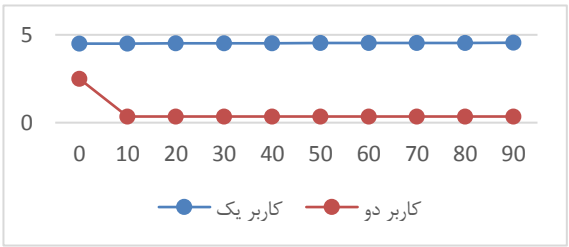
۵-۱-۱- سناریو اول: دو کاربر با باور متفاوت نسبت به هم

مطابق با شکل ۵، فرض می‌کنیم دو کاربر وجود دارند که کاربر یک دارای سطح اعتماد اولیه ۴.۵ و کاربر دوم دارای سطح اعتماد اولیه ۲.۵ باشد. فرض می‌کنیم کاربر یک نسبت به کاربر دو بی‌اعتماد است، ولی کاربر دو به کاربر یک اعتماد دارد. مدل اعتماد ارائه‌شده برای این سناریو، دقیقاً مطابق با شکل ۲ است.

همان طور که در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود، سطح اعتماد کاربر یک تقریباً ثابت است، زیرا کاربر دو به کاربر یک اعتماد دارد ولی سطح اعتماد آن کمتر از سطح اعتماد کاربر یک است. ولی سطح اعتماد کاربر دو به سرعت کاهش یافته است، زیرا کاربر یک به کاربر دو بی‌اعتماد است و سطح اعتماد آن بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو است. ولی پس از ۱۰ واکنش، تقریباً سطح اعتماد هر دو کاربر در حالت پایدار خود باقی می‌ماند.



شکل ۵: مفروضات بین دو کاربر در سناریو اول.

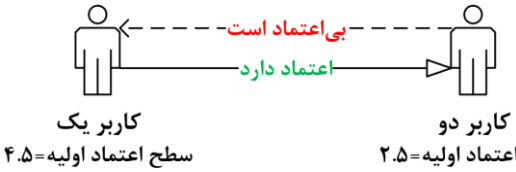


شکل ۶: نمودار تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از واکنش‌های مختلف در سناریو اول.

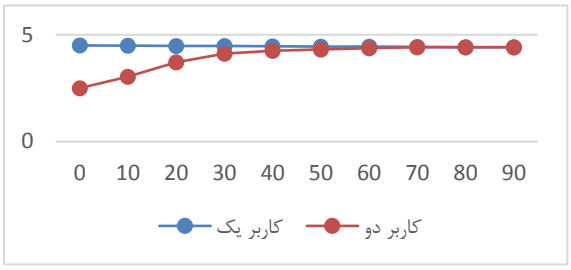
۵-۱-۲- سناریو دوم: دو کاربر با باور متفاوت نسبت به هم

مطابق با شکل ۷، فرض می‌کنیم دو کاربر وجود دارند که کاربر یک دارای سطح اعتماد اولیه ۴.۵ و کاربر دوم دارای سطح اعتماد اولیه ۲.۵ باشد. این بار فرض می‌کنیم کاربر یک نسبت به کاربر دو اعتماد دارد، ولی کاربر دو به کاربر یک بی‌اعتماد دارد. مدل اعتماد ارائه‌شده برای این سناریو، مشابه با شکل ۲ است، با این تفاوت که مکان‌های B12 و B21 به ترتیب باید مقادیر 1 و 0 داشته باشند.

همان طور که در نمودار شکل ۸ مشاهده می‌شود، سطح اعتماد کاربر یک تقریباً ثابت است، زیرا کاربر دو به کاربر یک بی‌اعتماد است ولی سطح اعتماد آن کمتر از سطح اعتماد کاربر یک است. ولی سطح اعتماد کاربر دو به سرعت افزایش یافته است، زیرا کاربر یک به کاربر دو اعتماد دارد و سطح اعتماد آن بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو است. ولی پس از ۴۰ واکنش، تقریباً سطح اعتماد هر دو کاربر در حالت پایدار خود باقی می‌ماند.



شکل ۷: مفروضات بین دو کاربر در سناریو دوم.

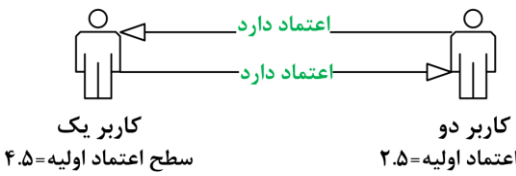


شکل ۸: نمودار تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از واکنش‌های مختلف در سناریو دوم.

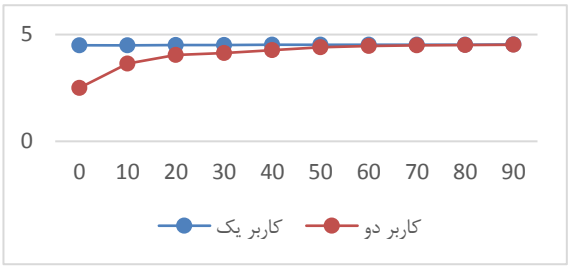
۵-۱-۳- سناریو سوم: دو کاربر با باور مشابه نسبت به هم

مطابق با شکل ۹، فرض می‌کنیم دو کاربر وجود دارند که کاربر یک دارای سطح اعتماد اولیه ۴.۵ و کاربر دوم دارای سطح اعتماد اولیه ۲.۵ باشد. این بار فرض می‌کنیم هر دو کاربر به هم اعتماد دارند. مدل اعتماد ارائه‌شده برای این سناریو، مشابه با شکل ۲ است، با این تفاوت که مکان B12 باید مقدار 1 داشته باشد.

همان طور که در نمودار شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، سطح اعتماد کاربر یک تقریباً ثابت است، زیرا کاربر دو به کاربر یک اعتماد دارد ولی سطح اعتماد آن کمتر از سطح اعتماد کاربر یک است. ولی سطح اعتماد کاربر دو به سرعت افزایش یافته است، زیرا کاربر یک به کاربر دو اعتماد دارد و سطح اعتماد آن بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو است. ولی پس از ۵۰ واکنش، تقریباً سطح اعتماد هر دو کاربر در حالت پایدار خود باقی می‌ماند.



شکل ۹: مفروضات بین دو کاربر در سناریو سوم.

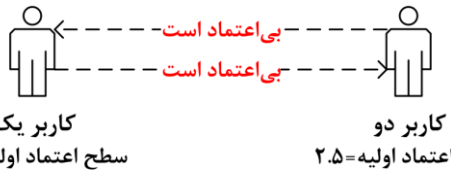


شکل ۱۰: نمودار تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از واکنش‌های مختلف در سناریو سوم.

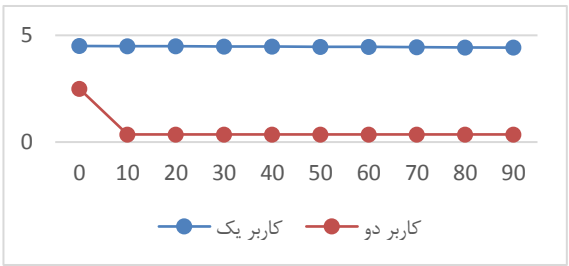
۵-۱-۴- سناریو چهارم: دو کاربر با باور مشابه نسبت به هم

مطابق با شکل ۱۱، فرض می‌کنیم دو کاربر وجود دارند که کاربر یک دارای سطح اعتماد اولیه ۴.۵ و کاربر دوم دارای سطح اعتماد اولیه ۲.۵ باشد. این بار فرض می‌کنیم هر دو کاربر به هم بی‌اعتماد هستند. مدل اعتماد ارائه‌شده برای این سناریو، مشابه با شکل ۲ است، با این تفاوت که مکان B21 باید مقدار 0 داشته باشد.

همان طور که در نمودار شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، سطح اعتماد کاربر یک تقریباً ثابت است، زیرا کاربر دو به کاربر یک بی‌اعتماد است ولی سطح اعتماد آن کمتر از سطح اعتماد کاربر یک است. ولی سطح اعتماد کاربر دو به سرعت کاهش یافته است، زیرا کاربر یک به کاربر دو بی‌اعتماد است و سطح اعتماد آن بیشتر از سطح اعتماد کاربر دو است. ولی پس از ۱۰ واکنش، تقریباً سطح اعتماد هر دو کاربر در حالت پایدار خود باقی می‌ماند.



شکل ۱۱: مفروضات بین دو کاربر در سناریو چهارم.



شکل ۱۲: نمودار تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از واکنش‌های مختلف در سناریو چهارم.

۵-۲- سناریوهای مختلف اعتماد بین چهار کاربر

۵-۲-۱- سناریو پنجم: چهار کاربر با باور متفاوت نسبت به هم

مطابق با شکل ۱۳، فرض می‌کنیم چهار کاربر وجود دارند که کاربران یک الی چهار به ترتیب دارای سطح اعتماد اولیه ۴.۵، ۲.۵، ۶.۵ و ۳.۵ باشند. فرض می‌کنیم:

- کاربر یک نسبت به کاربر دو بی‌اعتماد است، ولی به کاربر سه و چهار اعتماد دارد.
- کاربر دو نسبت به کاربر یک و چهار بی‌اعتماد است، ولی به کاربر سه اعتماد دارد.
- کاربر سه نسبت به کاربر یک بی‌اعتماد است، ولی به کاربر چهار اعتماد دارد. همچنین باوری نسبت به کاربر دو ندارد.
- کاربر چهار نسبت به کاربر سه بی‌اعتماد است، ولی به کاربر یک و دو اعتماد دارد.

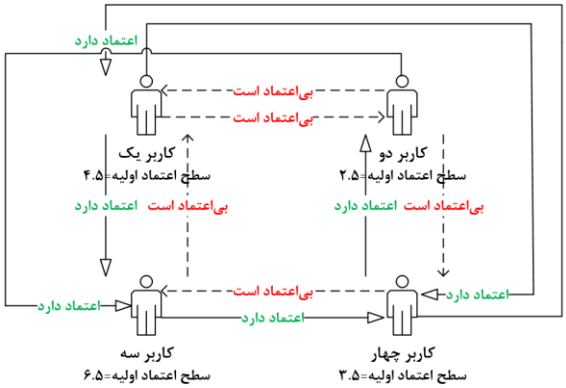
مدل اعتماد ارائه‌شده برای این سناریو، دقیقاً مطابق با شکل ۴ است. همان طور که در نمودار شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، سطح اعتماد کاربر یک بیشترین کاهش را داشته و به سطح اعتماد کاربر دو نزدیک شده است. این موضوع به این دلیل است که یک کاربر با بیشترین سطح اعتماد اولیه (کاربر سه) به کاربر یک بی‌اعتماد است. بی‌اعتمادی کاربر دو و اعتماد کاربر چهار که هر دو سطح اعتماد اولیه کمتری از کاربر یک دارند، تأثیر یکدیگر را خنثی کرده‌اند. هرچند تأثیر آنها ناچیز بود.

مطابق با نمودار شکل ۱۴، سطح اعتماد کاربر دو همواره کمترین مقدار را داشته و تقریباً ثابت است، زیرا دو کاربر با سطح اعتماد اولیه بالاتر از آن (کاربر یک و کاربر چهار) به ترتیب به کاربر دو بی‌اعتماد بوده و اعتماد داشتند و بنابراین تأثیر یکدیگر را خنثی کرده‌اند. از طرف دیگر، کاربر یک با بیشترین سطح اعتماد اولیه نسبت به کاربر دو باور یا اعتقادی ندارد.

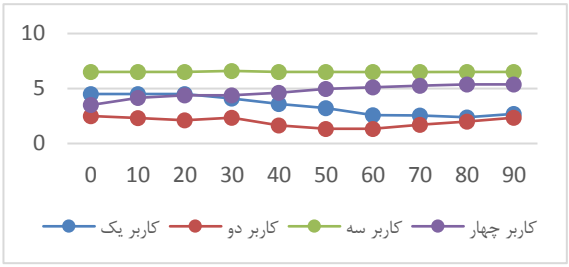
مطابق با نمودار شکل ۱۴، سطح اعتماد کاربر سه همواره بیشترین مقدار را داشته و تقریباً ثابت است، زیرا سطح اعتماد اولیه آن از سایر کاربران بیشتر بوده و مطابق با الگوریتم ارائه‌شده در شکل ۳، اعتماد یا بی‌اعتمادی آنها تأثیر ناچیزی بر سطح اعتماد کاربر سه دارد.

مطابق با نمودار شکل ۱۴، سطح اعتماد کاربر چهار بیشترین افزایش را داشته و به سطح اعتماد کاربر سه نزدیک شده است. این موضوع به این دلیل است که دو کاربر با سطح اعتماد اولیه بالاتر (کاربران یک و سه) به کاربر چهار اعتماد داشتند و بی‌اعتمادی

کاربر دو با سطح اعتماد اولیه کمتر، تأثیر کمی بر سطح فعالیت کاربر چهار داشته است.



شکل ۱۳: مفروضات بین چهار کاربر در سناریو پنجم.



شکل ۱۴: نمودار تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از واکنش‌های مختلف در سناریو پنجم.

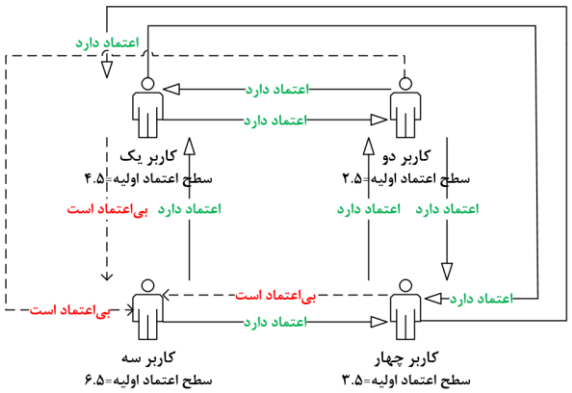
۵-۲-۲- سناریو ششم: چهار کاربر با باور متفاوت نسبت به هم

مطابق با شکل ۱۵، فرض می‌کنیم چهار کاربر وجود دارند که کاربران یک الی چهار به ترتیب دارای سطح اعتماد اولیه ۴.۵، ۲.۵، ۶.۵ و ۳.۵ باشند. فرض می‌کنیم:

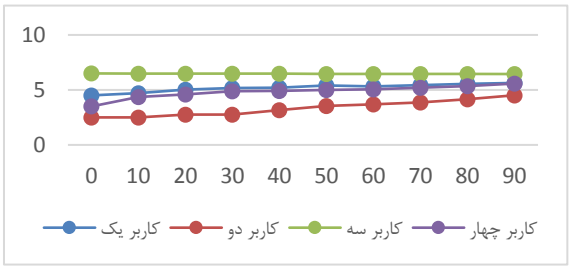
- کاربر یک نسبت به کاربر سه بی‌اعتماد است، ولی به کاربر دو و چهار اعتماد دارد.
- کاربر دو نسبت به کاربر سه بی‌اعتماد است، ولی به کاربر یک و چهار اعتماد دارد.
- کاربر سه نسبت به کاربر یک و چهار اعتماد دارد. همچنین باوری نسبت به کاربر دو ندارد.
- کاربر چهار نسبت به کاربر سه بی‌اعتماد است، ولی به کاربر یک و دو اعتماد دارد.

به عبارت دیگر، همه کاربران به کاربری که بیشترین سطح اعتماد اولیه را دارد (کاربر سه)، بی‌اعتماد بوده ولی به یکدیگر اعتماد دارند. مدل اعتماد ارائه‌شده برای این سناریو، مشابه با شکل ۴ است، با این تفاوت که مکان‌های B12، B21، B24 و B31 باید مقدار 1 داشته باشند. همچنین مکان‌های B13، B23 باید مقدار 0 داشته باشند.

همان طور که در نمودار شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، سطح اعتماد کاربران یک، دو و چهار افزایش یافته و به سطح اعتماد کاربر سه نزدیک شده است. این موضوع به این دلیل است که این کاربران به یکدیگر اعتماد داشته و حتی کاربر سه نیز به آنها اعتماد دارد. بنابراین سطح اعتماد همه آنها به بالاترین سطح اعتماد (کاربر سه) نزدیک می‌شود. ولی سطح اعتماد کاربر سه با وجود عدم اعتماد کاربران یک، دو و چهار به آن، تقریباً ثابت باقی مانده است زیرا سطح اعتماد اولیه کاربر سه از سایر کاربران بیشتر بوده و مطابق با الگوریتم ارائه‌شده در شکل ۳، بی‌اعتمادی آنها تأثیر ناچیزی بر سطح اعتماد کاربر سه دارد.



شکل ۱۵: مفروضات بین چهار کاربر در سناریو ششم.

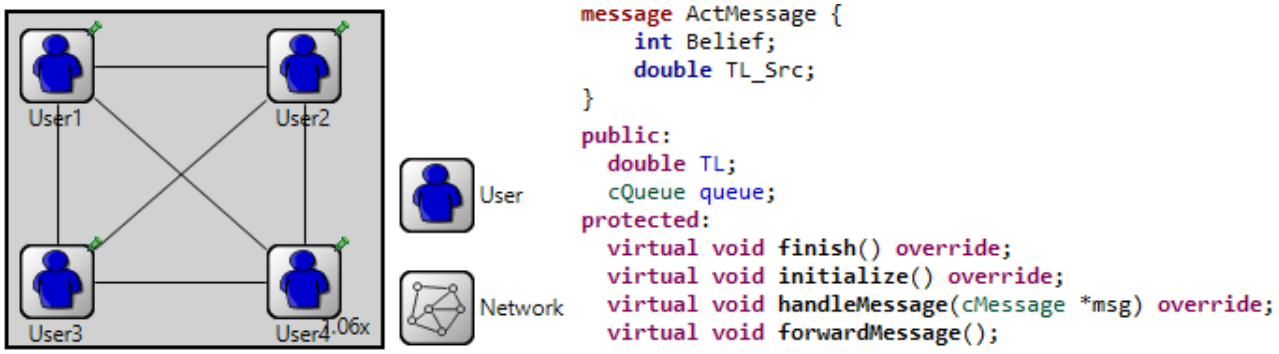


شکل ۱۶: نمودار تغییر سطح اعتماد هر کاربر پس از واکنش‌های مختلف در سناریو ششم.

۵-۳- اعتبارسنجی نتایج

۵-۳-۱- اعتبارسنجی با شبیه‌ساز

در این مقاله به منظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از مدل‌ها، از شبیه‌ساز OMNeT++ استفاده شده است. این شبیه‌ساز یک کتابخانه شبیه‌سازی مؤلفه محور است که از زبان C++ برای شبیه‌سازی شبکه‌های ارتباطی استفاده می‌کند [۲۶]. مطابق با شکل ۱۷، ما در این شبیه‌ساز با نگاشت مولفه‌های شبکه‌های



شکل ۱۷: پیاده‌سازی انجام‌شده در شبیه‌ساز OMNeT++.

ارتباطی به عنوان کاربران شبکه‌های اجتماعی، و نگاشت تعاملات بین مولفه‌ها به عنوان واکنش کاربران به یکدیگر، توانستیم سناریوهای مورد نظر خود را در این شبیه‌ساز پیاده‌سازی کرده و نتایج بدست آمده از مدل و شبیه‌ساز را با یکدیگر مقایسه کنیم. در پیاده‌سازی انجام‌شده، هر مولفه دارای مقدار سطح اعتماد است، و ارسال بسته از یک مولفه به مولفه دیگر به عنوان واکنش یک کاربر به کاربر دیگر در نظر گرفته شده است. در بسته ارسالی، اطلاعات سطح اعتماد کاربر مبدا و نوع باور آن کاربر به کاربر مقصد ارسال می‌شود. در صورت دریافت بسته، متناسب با الگوریتم ارائه‌شده در شکل ۳، سطح اعتماد کاربر مقصد تغییر می‌کند.

به منظور ساده‌سازی، صرفاً نتایج بدست آمده از سناریوهای پنجم و ششم بخش قبل پس از ۵۰ واکنش کاربران به یکدیگر مورد بررسی قرار است. همان طور که از جدول ۲ قابل مشاهده است، اختلاف بین نتایج بدست آمده از مدل‌های CPN و شبیه‌ساز بسیار کم بوده که این موضوع اثبات می‌کند که روش مدل‌سازی ارائه‌شده به درستی عمل کرده و نتایج معتبری ارائه می‌کند.

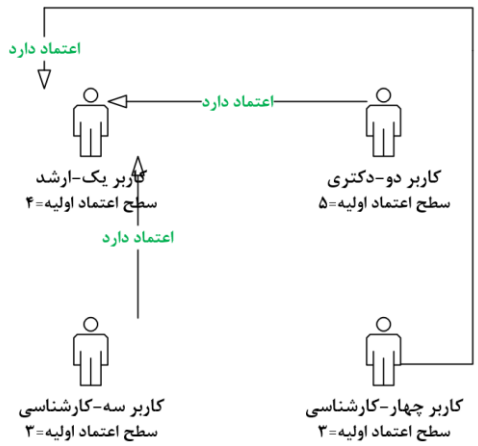
جدول ۲: مقایسه نتایج بدست آمده از مدل‌ها و شبیه‌ساز

		کاربر یک	کاربر دو	کاربر سه	کاربر چهار
سناریو پنجم	مدل CPN	۳.۲۲	۱.۳۴	۶.۵۰۳	۴.۹۵۸
	OMNeT++	۳.۱۷	۱.۳۳	۶.۵۱۱	۴.۹۶۱
سناریو ششم	مدل CPN	۵.۴۱۸	۳.۵۳۹	۶.۴۶۶	۴.۹۹۳
	OMNeT++	۵.۴۲۱	۳.۵۲۲	۶.۴۵۱	۴.۹۸۷

۵-۳-۲- اعتبارسنجی با تحلیل آماری

همان طور که اشاره شد، اگر کاربران بتوانند سطح اعتماد هر کاربر را مشاهده کنند، می‌توانند با اطمینان بیشتری در شبکه‌های اجتماعی فعالیت کرده و میزان درستی مطالب منتشرشده را از طریق مشاهده سطح اعتماد کاربر منتشرکننده آنها متوجه شوند؛ ولی تاکنون چنین امکانی توسط شبکه‌های اجتماعی فراهم نشده است. به عبارت دیگر، در شبکه‌های اجتماعی مولفه‌ای تحت عنوان سطح اعتماد کاربر وجود ندارد و حتی اگر هم وجود داشته باشد، کاربران نمی‌توانند سطح اعتماد کاربران دیگر را مشاهده کنند. بنابراین نمی‌توان برای مثال از APIهای شبکه‌های اجتماعی برای دریافت این اطلاعات و انجام تحلیل‌های آماری استفاده کرد. در واقع مقاله ما وجود چنین مولفه‌ای را پیشنهاد و نحوه تغییر مقدار آن را ارائه می‌کند. با این حال سعی شده است که تحلیل آماری نیز در شبکه اجتماعی Linkedin انجام شود.

با توجه به اینکه در حال حاضر کاربران این شبکه اجتماعی، مولفه سطح اعتماد ندارد، فرض شده است که سطح اعتماد اولیه دانشجویان و فارغ التحصیلان دکتری برابر با ۵، دانشجویان و فارغ التحصیلان کارشناسی ارشد برابر با ۴، دانشجویان و فارغ التحصیلان کارشناسی برابر با ۳، و سایر افراد که مدرک تحصیلی آنها مشخص نیست، سطح اعتماد اولیه آنها برابر با ۲ است. در تحلیل انجام‌شده، تنها سه واکنش اول به یک محتوای علمی که توسط یک دانشجوی کارشناسی ارشد در زمینه تکامل اعتماد در حوزه نظریه بازی گذاشته شده است، مورد بررسی قرار گرفت. پس از قرارگیری این محتوا در شبکه اجتماعی Linkedin، در ابتدا این محتوا توسط یک استاد دانشگاه (فارغ التحصیل دکتری) و سپس توسط دو دانشجوی کارشناسی، واکنش مثبت دریافت کرد. مطابق با الگوریتم شکل ۳، در واکنش اول (فارغ التحصیل دکتری) مطابق با رابطه $ny = y+(x-y)/10$، سطح اعتماد ارسال‌کننده محتوا از مقدار ۴ به ۴.۱ افزایش می‌یابد. سپس در واکنش‌های دوم و سوم (دانشجوی کارشناسی)، مطابق با رابطه $ny = y+0.001$، سطح اعتماد ارسال‌کننده محتوا از مقدار ۴.۱ به ۴.۱۰۱ و سپس به ۴.۱۰۲ افزایش می‌یابد. این تحلیل آماری مطابق با شکل ۱۸ به راحتی با روش پیشنهادی قابل مدل‌سازی است و نتایج بدست آمده در تحلیل آماری از مدل ارائه‌شده در این مقاله نیز قابل استخراج است.



شکل ۱۸: مفروضات بین چهار کاربر در تحلیل آماری.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله از صورت‌بندی شبکه‌های پتری رنگی به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی اعتماد و بی‌اعتمادی بین کاربران در شبکه‌های اجتماعی و ارزیابی سطح اعتماد هر کاربر استفاده شد. با استفاده از روش گرافیکی ارائه‌شده برای مدل‌سازی می‌توان با کمی‌سازی اعتماد و استفاده از هوش جمعی، برای هر تعداد کاربر انواع مختلفی از سناریوها و مفروضات را مدل‌سازی کرده و سطح اعتماد هر کاربر را در هر کدام از حالت‌ها محاسبه و ارزیابی کرد. همچنین به منظور جلوگیری از اثرگذاری یکسان کاربران بر سطح اعتماد یکدیگر، الگوریتمی برای مشخص کردن میزان تأثیرگذاری هر کاربر بر سطح اعتماد کاربر دیگر ارائه شد. در نهایت با تعریف چندین سناریو، نحوه تغییر سطح اعتماد هر کاربر در اثر رویدادها و واکنش‌های مختلف ارزیابی شد. پیاده‌سازی این رویه در شبکه‌های اجتماعی به صورت واقعی باعث می‌شود که کاربران بتوانند با اطمینان بیشتری در شبکه‌های اجتماعی فعالیت کرده و میزان درستی مطالب منتشرشده را از طریق مشاهده سطح اعتماد کاربر منتشرکننده آنها متوجه شوند.

به عنوان کارهای آینده می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با در نظر گرفتن جزئیات بیشتر در مدل‌سازی، می‌توان مدل‌ها و نتایج دقیق‌تری ایجاد کرد. برای مثال می‌توان تعداد سطوح باور یا اعتقاد بین کاربران را از سه حالت اعتماد، بی‌اعتمادی و بدون باور (که در این مقاله استفاده شد) فراتر در نظر گرفت و متناسب با آن الگوریتم تأثیرگذاری هر کاربر بر سطح اعتماد کاربران دیگر را تکمیل‌تر کرد. همچنین بهتر است اعتماد در شبکه‌های اجتماعی به صورت محتوا محور مدل‌سازی شود. به عبارت دیگر، ممکن است کاربری نسبت به کاربر دیگر در یک موضوع اعتماد و در موضوع دیگر، بی‌اعتماد باشد. در نظر گرفتن این جزئیات، قطعاً به مدل‌سازی پیچیده‌تری نیازمند است ولی با انجام آن می‌توان سناریوها پیچیده‌تر و نتایج دقیق‌تری بدست آورد. یکی دیگر از کارهایی که می‌توان به عنوان کار آینده انجام داد، تعیین سطح اعتماد اولیه هر کاربر است. در این مقاله ما فرض کردیم که سطح اعتماد اولیه هر کاربر را می‌دانیم ولی سطح اعتماد اولیه هر کاربر پس از شروع فعالیت با استفاده از پارامترهایی که از پروفایل آن بدست می‌آید، قابل محاسبه است.

مراجع

[1] W. Sherchan, S. Nepal and C. Paris, "A survey of trust in social networks," *ACM Computing Surveys*, vol. 45, no. 4, pp. 1-33, 2013.

[2] M. Hanaforoosh, M. Ashtiani and M. Abdollahi Azgomi, "An approach based on multiplex networks for modeling cascading trust failures in social networks," *Journal of Computational Science*, vol. 54, p. 101430, 2021.

[3] D. Moreland, S. Nepal, H. Hwang and J. Zic, "A snapshot of trusted personal devices applicable to transaction processing," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 14, pp. 347-361, 2010.

[4] "Sina Weibo Activity Down by 30%," CIW Team, [Online]. Available: https://www.chinainternetwatch.com/2612/sina-weibo-activity-down-by-30pct/. [Accessed 27 03 2023].

[5] L. Li, J. He, M. Wang and X. Wu, "Trust Agent-Based Behavior Induction in Social Networks," *IEEE Intelligent Systems*, vol. 31, no. 1, pp. 24-30, 2016.

[6] D. L. Hansen, B. Shneiderman, M. A. Smith and I. Himelboim, "Social media: New technologies of collaboration," in *Analyzing Social Media Networks with NodeXL (Second Edition)*, Morgan Kaufmann, 2020, pp. 11-29.

[7] Z. Wu, L. Tian, Y. Zhang and Z. Wang, "Web User Trust Evaluation: A Novel Approach Using Fuzzy Petri Net and Behavior Analysis," *Symmetry*, vol. 13, no. 8, pp. 1-15, 2021.

[8] A. Naghash Asadi, M. Abdollahi Azgomi and R. Entezari-Maleki, "Evaluation of the impacts of failures and resource heterogeneity on the power consumption and performance of IaaS clouds," *The Journal of Supercomputing*, vol. 75, no. 5, pp. 2837-2861, 2019.

[9] A. Naghash Asadi, M. Abdollahi Azgomi and R. Entezari-Maleki, "Unified power and performance analysis of cloud computing infrastructure using stochastic reward netsUnified power and performance analysis of cloud computing infrastructure using stochastic reward nets," *Computer Communications*, vol. 138, pp. 67-80, 2019.

[10] A. Naghash Asadi, M. Abdollahi Azgomi and R.

Entezari-Maleki, "Analytical evaluation of resource allocation algorithms and process migration methods in virtualized systems," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 25, pp. 1-16, 2020.

[11] A. Naghash Asadi, M. Abdollahi Azgomi and R. Entezari-Maleki, "Model-based evaluation of the power versus performance of network routing algorithms," *Computing*, vol. 103, pp. 1723-1746, 2021.

[12] A. Naghash Asadi, M. Abdollahi Azgomi and R. Entezari-Maleki, "Evaluation of the Functionality of Mobile Wireless Sensor Networks using Stochastic Reward Nets," *Scientia Iranica*, vol. 30, no. 1, pp. 91-103, 2022.

[13] J. B. Dennis, "Petri Nets," in *Encyclopedia of Parallel Computing*, D. Padua, Ed., Boston, MA, Springer US, 2011, pp. 1525-1530.

[14] K. Jensen, Coloured Petri Nets; Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use, vol. 1, Springer, Berlin, Heidelberg, 1996.

[15] A. V. Ratzer, L. Wells, H. M. Lassen, M. Laursen, J. F. Qvortrup, M. S. Stissing, M. Westergaard, S. Christensen and K. Jensen , "CPN tools for editing, simulating, and analysing coloured Petri nets," in *Proceedings of the 24th international conference on Applications and theory of Petri nets*, 2003, pp. 450-462.

[16] J.-H. Cho, K. Chan and S. Adali, "A Survey on Trust Modeling," *ACM Computing Surveys*, vol. 48, no. 2, pp. 1-40, 2015.

[17] M. Ashtiani and M. Abdollahi Azgomi, "A novel trust evolution algorithm based on a quantum-like model of computational trust," *Cognition, Technology & Work*, vol. 21, pp. 201-224, 2019.

[18] J. Jiang, H. Wang and W. Li, "A Trust model based on a time decay factor for use in social networks," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 85, p. 106706, 2020.

[19] Y. Wang, Z. Cai, G. Yin, Y. Gao, X. Tong and Q. Ha, "A game theory-based trust measurement model for social networks," *Computational Social Networks*, vol. 3, no. 2, pp. 1-16, 2016.

[20] W. Du, H. Lin, J. Sun, B. Yu and H. Yang, "A new trust model for online social networks," in *First IEEE International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI)*, Wuhan, China, 13-15 Oct. 2016, pp. 300-304.

[21] J. Tang, "Computing distrust in social media," Arizona State University, Arizona, US, 2015.

[22] N. Hakimi Aghdam, M. Ashtiani and M. Abdollahi Azgomi, "A Context-Aware Multi-Faceted Trust and Distrust Model for Online Social Networks," *Journal of Soft Computing and Information Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 59-74, 2020.

[23] N. Hakimi Aghdam, M. Ashtiani and M. Abdollahi Azgomi, "An uncertainty-aware computational trust model considering the co-existence of trust and distrust in social networks," *Information Sciences*, vol. 513, pp. 465-503, 2020.

[24] A. Jalaly Bidgoly and B. Tork Ladani, "Trust modeling and verification using Colored Petri Nets," in *8th International ISC Conference on Information Security and Cryptology*, Mashhad, Iran, 14-15 Sep. 2011, pp. 1-8.

[25] Z. Chen, L. Tian and C. Lin, "Trust evaluation model of cloud user based on behavior data," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 14, no. 5, pp. 1-10, 2018.

[26] A. Varga and R. Hornig, "An overview of the OMNeT++ simulation environment," in *the first international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops*, Marseille, France, March 2008, pp. 1-10.

پاورقی‌ها:

[1] Trust
[2] Trustor
[3] Trustee
[4] Trust Crisis
[5] Trust Level
[6] Collective Intelligence
[7] Formalism
[8] Petri Nets
[9] Extension
[10] Computing Systems
[11] Coloured Petri Nets
[12] Place
[13] Transition
[14] Token
[15] Arc
[16] Initial Mark
[17] Guard
[18] Delay
[19] True
[20] Survey
[21] Trust Failure
[22] Jaccard
[23] Game Theory
[24] Reputation
[25] Gaussian
[26] Subjective
[27] Objective
[28] Fuzzy Petri Nets
[29] Real