دوره نهم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۵

مجله فناوری اطلاعات در طراحی مهندسی
Information Technology in Engineering Design
http://ited.sinaweb.net

بهبود سیستم‌های پیشنهاد دهنده با استفاده از یک مدل لایه‌ای اعتماد آگاه از اطمینان

سمانه شیبانی*[(۱)] حسن شاکری[(۲)]

(۱) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران*

(۲) گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

چکیده

پالایش همکارانه یک رویکرد متداول در سیستم‌های پیشنهاددهنده است. با وجود این، کارآمدی رویکرد مذکور در شرایط خلوتی داده‌ها و کاربران شروع سرد تنزل می‌یابد. به همین دلیل محققان به ارائه رویکردهای مکمل و ازجمله تلفیق مدل‌های اعتماد با رویکرد مذکور روی آورده‌اند. اخیراً در برخی از مدل‌های اعتماد، پارامتر اطمینان به عنوان معیار دقت تخمین اعتماد مطرح و نشان داده شده است که مدل‌های اعتماد آگاه از اطمینان در بسیاری از کاربردها باعث افزایش دقت و کارآمدی می‌شوند. در این مقاله یک مدل لایه‌ای اعتماد آگاه از اطمینان برای افزایش دقت توصیه‌ها در سیستم پیشنهاددهنده معرفی می‌گردد. این مدل شامل چهار لایه ارزشیابی، اعتماد مستقیم، اعتماد غیرمستقیم و پیشنهاد است. اعتماد ضمنی و صریح براساس مدل منطق ذهنی با یکدیگر ترکیب می‌شوند. اطمینان در لایه اعتماد مستقیم براساس تعداد و تازگی ارزشیابی‌ها و در لایه اعتماد غیرمستقیم براساس طول زنجیره اعتماد و سازگاری نظرات محاسبه می‌گردد. در لایه پیشنهاد، سناریوهای مختلفی برای انتخاب آیتم‌ها بررسی می‌گردد. مدل پیشنهادی بر روی دو مجموعه‌داده مطرح در این حوزه شامل Epinions و FilmTrust مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل بیانگر برتری قابل‌ملاحظه روش پیشنهادی نسبت به روش‌های موجود از نظر دقت و پوشش توصیه‌ها است.

واژه‌های کلیدی: سیستم پیشنهاددهنده، اعتماد، توصیه، اطمینان، منطق ذهنی

[۱] عهده دار مکاتبات

نشانی: گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

پست الکترونیکی: samaneh.sheibany@gmail.com

۱- مقدمه

یک سیستم پیشنهاددهنده سیستمی است که با استفاده از تکنیک‌های هوشمند، ارتباطات بین کاربران و اقلام را شناسایی می‌کند و بر اساس آن بهترین پیشنهادهای ممکن را به کاربران برای انتخاب و خرید اقلام ارائه می‌کند. مزیت اصلی استفاده از این سیستم‌ها پیشنهاد اقلامی به کاربر است که از قبل تجربه مستقیمی در مورد آن‌ها ندارد [۱، ۲].

یکی از مهم‌ترین رویکردها در سیستم‌های پیشنهاددهنده، پالایش همکارانه (CF) است. در این رویکرد برای تولید پیشنهادهای مناسب جهت ارائه به کاربر فعال، ارزشیابی‌های وی در مورد اقلامی که قبلاً انتخاب و خریداری کرده است و نظرات و اقدامات کاربران همسایه وی یعنی کاربران با سلیقه مشابه مورداستفاده قرار می‌گیرد [۳].

با وجود این سیستم‌های پیشنهاددهنده مبتنی بر الگوریتم‌های پالایش همکارانه اغلب با چند مشکل مواجه هستند [۱، ٤]: اول این‌که در روش‌های CF شناسایی همسایه‌های مشابه دشوار است چراکه کاربران معمولاً فقط تعداد کمی از اقلام را ارزشیابی می‌کنند. این مشکل گاهی مشکل «خلوتی داده‌ها» نامیده می‌شود. دومین چالش روش‌های مبتنی بر فیلترینگ مشارکتی در مورد آیتم‌هایی است که به‌تازگی به سیستم اضافه شده‌اند زیرا این نوع آیتم‌ها تا زمانی که به تعداد دفعات کافی توسط کاربران مورد ارزشیابی قرار نگرفته‌اند، قابل توصیه نیستند. مشکل سوم سیستم‌های پیشنهاددهنده مبتنی بر CF، حملات بدخواهانه علیه این سیستم‌ها است. سیستم‌های پیشنهاددهنده به‌راحتی با جعل پروفایل کاربران با هدف وانمودکردن شباهت با کاربران هدف و تأثیرگذاری بر پیشنهادها مورد حمله قرار می‌گیرند.

در سال‌های اخیر برای مقابله با چالش‌های فوق و افزایش دقت و پوشش پیشنهادها در رویکرد پالایش همکارانه مشارکتی، ایده‌هایی به‌صورت مکمل در این رویکرد پیشنهاد شده است. یکی از این ایده‌ها استفاده از مدل‌های اعتماد محاسباتی برای رفع برخی از نقاط ضعف رویکرد CF است. به عنوان نمونه در [۱، ۳، ۵ و ٦] راهکارهایی برای بهبود کارآمدی سیستم‌های پیشنهاددهنده با تلفیق رویکرد مدیریت اعتماد با پالایش همکارانه ارائه شده است.

اما موضوعی که در این کارها کمتر مورد توجه قرار گرفته است، در نظر گرفتن مفهوم اطمینان به عنوان یک پارامتر مهم در تخمین اعتماد است. در یک سیستم مدیریت اعتماد، اطمینان عبارت است از میزان باور به درستی تخمین اعتماد. این کمیت که ارتباط نزدیکی با مفهوم قطعیت دارد، به عوامل مختلفی مانند تعداد مدارک و نظرات پایه محاسبه اعتماد و میزان سازگاری آن‌ها و نیز میزان جدیدبودن این مدارک و نظرات بستگی دارد [۷]. با توجه به ملاحظات فوق، در این مقاله یک مدل اعتماد آگاه از اطمینان برای بهبود دقت و پوشش توصیه‌ها در سیستم‌های پیشنهاددهنده ارائه می‌گردد. مدل پیشنهادی یک مدل لایه‌ای شامل چهار لایه است که در پایین‌ترین لایه که لایه ارزشیابی نام گرفته است، بازخوردهای کاربران مورد تحلیل و پردازش قرار می‌گیرد. لایه دوم موسوم به لایه اعتماد مستقیم وظیفه تخمین اعتماد براساس ارزشیابی‌های دست اول و لایه سوم با نام لایه اعتماد غیرمستقیم وظیفه تخمین اعتماد براساس انتشار و تجمیع اعتماد را برعهده دارند. بالاخره در بالاترین لایه که لایه پیشنهاد نام‌گذاری شده است، مناسب‌ترین سناریو برای گزینش آیتم‌های نهایی جهت ارائه به کاربر فعال انتخاب می‌گردد.

در مدل پیشنهادی، اعتماد بر اساس دو رویکرد تخمین اعتماد ضمنی و اعتماد صریح محاسبه می‌گردد. همچنین محاسبه پارامتر اطمینان در لایه اعتماد مستقیم براساس تعداد و میزان تازگی ارزشیابی‌ها و در لایه اعتماد غیرمستقیم براساس طول زنجیره اعتماد و میزان سازگاری ارزشیابی‌ها صورت می‌گیرد.

ساختار ادامه این مقاله به صورت زیر است: در بخش دوم پیشینه پژوهش‌های مرتبط و مهم‌ترین کارهای تحقیقاتی مرتبط مورد مرور و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش سوم، مدل لایه‌ای اعتماد آگاه از اطمینان معرفی و توصیف می‌گردد. در بخش چهارم نحوه محاسبه اعتماد و اطمینان در مدل پیشنهادی تشریح می‌گردد. بخش پنجم به رویکرد و سناریوهای پیشنهادی برای مرتب‌سازی و انتخاب N آیتم نهایی جهت پیشنهاد به کاربر فعال اختصاص دارد. در بخش ششم نتایج ارزیابی مدل پیشنهادی و مقایسه آن با چند روش موجود ارائه و تحلیل می‌گردد و بالاخره بخش هفتم به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی برای ادامه کار اختصاص دارد.

۲- کارهای مرتبط

تحقیقات متعددی در حوزه سیستم‌های پیشنهاددهنده مبتنی بر اعتماد انجام‌شده است که برخی از مهم‌ترین آن‌ها در بخش ۲-۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین در بخش ۲-۲ مدل‌های اعتماد آگاه از اطمینان مورد مرور و بررسی قرار می‌گیرند و در نهایت در بخش ۲-۳ یک جمع‌بندی تحلیلی از کارهای پژوهشی بررسی‌شده ارائه می‌گردد.

۲-۱ سیستم‌های پیشنهاددهنده مبتنی بر اعتماد

روش‌های آگاه از اعتماد در سیستم‌های پیشنهاددهنده به دو رویکرد اعتماد ضمنی و صریح تقسیم می‌شوند. روش‌های ضمنی بر اساس ارزشیابی‌های مشترک کاربران به اقلام، اعتماد بین آنان را تخمین می‌زنند [۸]. اما روش‌های صریح از مقادیر اعتماد اتصالات از پیش برقرارشده بین کاربران در شبکه اجتماعی استفاده می‌کنند. این روش‌ها روابط اعتماد ارائه‌شده در یک شبکه اعتماد بین کاربران را تحلیل و توصیف می‌کنند [۹ و ۱۰].

در مرجع [۱۱] یک روش توصیه مبتنی بر رتبه‌بندی معرفی شده است که بر این مشاهده ساده مبتنی است که کاربران تمایل دارند که به اقلامی که دوستانشان ترجیح می‌دهند، رتبه‌های بهتری بدهند. به‌عبارت‌دیگر هدف این روش این است که از اتصالات اجتماعی بین کاربران برای ساختن مدل بهتری برای تخمین رتبه‌دهی کاربران به محصولات بهره گرفته شود.

از طرف دیگر مرجع [۱۲] گزارش کرده است که با درنظرگرفتن احکام اعتماد در الگوریتم‌های CF سنتی، الگوریتم‌های پیشگویی دقیق‌تری حاصل می‌شود. مؤلفان این مقاله یک رویکرد خاص پیشنهاد کرده‌اند که مستقیماً از اطلاعات تماس برای جایگزینی معیار شباهت استفاده نمی‌کند بلکه معیار شباهت را با درنظرگرفتن تعداد پیام‌های مبادله شده بین کاربران افزایش می‌دهد.

بیشتر سیستم‌های پیشنهاددهنده بر استفاده از اعتماد صریح و شهرت کاربر در شبکه‌های اجتماعی برای تولید پیشنهادهای دقیق‌تر تمرکز کرده‌اند. اطلاعات اعتماد صریح بین سایر کاربران برای محاسبه مقدار اعتماد بین هر جفت کاربر استفاده می‌شود. علاوه بر این در این سیستم‌ها، بازخورد و نظرات کاربران برای محاسبه شهرت اقلام مورداستفاده قرار گرفته است [۱۳].

۲-۲ مدل‌های اعتماد آگاه از اطمینان

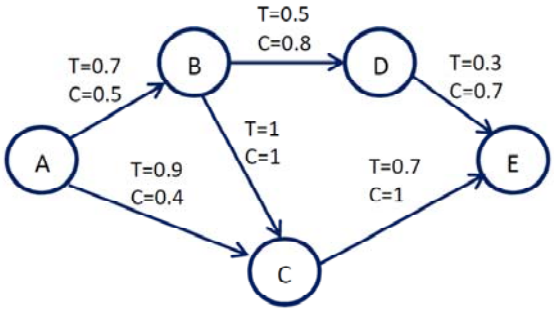
با توجه مفهوم اطمینان به معنی میزان باور به درستی اعتماد محاسبه‌شده که پیش از این مورد اشاره قرار گرفت، محققان حوزه اعتماد به این باور رسیده‌اند که بهتر است در مدل‌های اعتماد محاسباتی، اطمینان به عنوان یک پارامتر مکمل در کنار اعتماد در نظر گرفته شود [۱٤، ۱۵]. آن دسته از مدل‌های اعتماد که پارامتر اطمینان را در نظر می‌گیرند، اصطلاحاً مدل‌های اعتماد آگاه از اطمینان نامیده می‌شوند.

یک شبکه اعتماد[1] عبارت است از یک گراف جهت‌دار که رأس‌های آن افراد جامعه و یال‌های آن روابط اعتماد بین افراد را نشان می‌دهد. برچسب یک یال ij میزان اعتماد فرد i به فرد j را ارائه می‌کند که معمولاً عددی بین صفر و یک است.

شکل ۱ یک شبکه اعتماد آگاه از اطمینان را نشان می‌دهد.

[1] Web of Trust

در این شبکه، مقادیر اعتماد با T و مقادیر اطمینان با C نشان داده شده‌اند.



شکل (۱): یک شبکه اعتماد نمونه با مقادیر اطمینان

پارامترهای مختلفی در میزان اطمینان به یک نظر مؤثرند که می‌توانیم آن‌ها را به‌صورت کلی به‌صورت زیر دسته‌بندی کنیم:

۱- پارامترهای ذاتی: مربوط به محاسبه اطمینان به اعتماد مستقیم و مرتبط با یک نظر واحد شامل مواردی از قبیل تعداد و میزان قطعیت مدارک، تازگی مدارک و قابلیت‌اتکای ارتباطات است.

۲- پارامترهای تعاملی در برآیند و انتشار: در ترکیب نظرات اعتماد به دو صورت انتشار و تجمیع، میزان اطمینان به مواردی از قبیل طول زنجیره اعتماد ومیزان سازگاری در نظرها بستگی دارد.

یکی از معروف‌ترین روش‌های بازنمایی نظرات اعتماد در مدل موسوم به منطق ذهنی[2] توسط جوسانگ و همکارانش ارائه شده است [۱۶]. در این مدل، یک نظر اعتماد به‌صورت یک سه‌گانه (b, d, u) ارائه می‌شود که در آن b، d و u به ترتیب میزان باور[3]، بی‌باوری[4] و عدم‌قطعیت[5] را در مورد اعتماد نشان می‌دهند و b+d+u=1. در مدل منطق ذهنی همچنین روابطی برای تجمیع دو نظر اعتماد آگاه از اطمینان ارائه شده است. این روابط به‌صورت زیر هستند [۱۶]:

$$b_C^{A,B} = \frac{b_C^A.u_C^B + b_C^B.u_C^A}{u_C^A + u_C^B - u_C^A.u_C^B} \qquad (۳-۲) \quad (۱)$$

$$d_C^{A,B} = \frac{d_C^A.u_C^B + d_C^B.u_C^A}{u_C^A + u_C^B - u_C^A.u_C^B} \qquad (۴-۲) \quad (۲)$$

$$u_C^{A,B} = \frac{u_C^A.u_C^B}{u_C^A + u_C^B - u_C^A.u_C^B} \qquad (۳)$$

در روابط (۱) تا (۳) نظرات جداگانه اعتماد دو فرد A و B در مورد فرد C با یکدیگر تجمیع می‌شود و یک نظر برآیند به عنوان نظر فرد مجازی A,B محاسبه می‌گردد. هم نظرات منفرد ورودی و هم نظر محاسبه‌شده نهایی در قالب بازنمایی منطق ذهنی یعنی سه‌گانه (b, d, u) ارائه می‌شوند. در مرجع [۱۷] علاوه بر آن‌که نحوه نگاشت بین زوج مرتب (T, C) و بازنمایی جوسانگ ارائه شده است، بازنمایی جدیدی با عنوان بازه‌های اعتماد برای نشان دادن نظرات اعتماد معرفی شده است. به طور خلاصه یک بازه اعتماد، بازه‌ای به‌صورت [L, U] است که L و U به ترتیب حد پایین و بالای اعتماد را بیان می‌کنند و عرض بازه اعتماد یعنی مقدار U-L با میزان اطمینان مرتبط است.

۲-۳ جمع‌بندی پژوهش‌های بررسی‌شده

به عنوان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مرور کارهای مرتبط می‌توان گفت که در سال‌های اخیر رویکرد مبتنی بر اعتماد برای افزایش دقت توصیه‌ها در سیستم‌های پیشنهاد دهنده مورد توجه قرار گرفته است. در عین حال در کارهای تحقیقاتی موجود جایگاه پارامتر اطمینان در تخمین اعتماد برای بهبود دقت و غنای خروجی سیستم‌های پیشنهاددهنده به‌خوبی مورد توجه قرار نگرفته است و به همین دلیل هدف این مقاله این است که با واردکردن این موضوع، دقت و پوشش پیشنهادها در این سیستم‌ها افزایش داده شود.

دو دلیل عمده در ارتباط با اهمیت درنظرگرفتن مفهوم اطمینان در مدل‌های اعتماد و ازجمله سیستم‌های پیشنهاددهنده مبتنی بر اعتماد وجود دارد: اول این که میزان اطمینان به یک تخمین اعتماد می‌تواند مبنای تعیین وزن این تخمین در ترکیب نظرات اعتماد باشد که به محاسبه

[2] Subjective Logic
[3] belief
[4] disbelief
[5] uncertainty

دقیق‌تر مقدار اعتماد و ارائه پیشنهادهای مناسب‌تر به کاربر هدف می‌انجامد. دوم این که اطمینان اجازه می‌دهد تا کاربر هدف درک غنی‌تری از میزان مناسب بودن هر پیشنهاد و درنهایت امکان تصمیم‌گیری بهتری برای انتخاب آیتم نهایی داشته باشد.

۳- مدل لایه‌ای اعتماد آگاه از اطمینان پیشنهادی

مدل اعتماد محاسباتی پیشنهادی ما یک مدل آگاه از اطمینان و لایه‌ای است که معماری کلی آن در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، مدل ارائه‌شده شامل چهار لایه است که از پایین به بالا عبارتند از:

لایه ارزشیابی[6]

لایه اعتماد مستقیم[7]

لایه اعتماد غیرمستقیم[8]

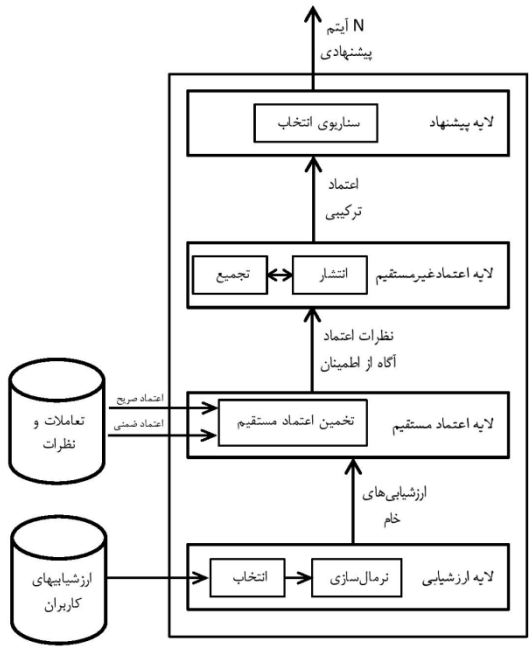
لایه پیشنهاد[9]

در ادامه این بخش، هریک از لایه‌ها و وظیفه آنها را توصیف می‌کنیم.

۳-۱ لایه ارزشیابی

وظیفه اصلی لایه ارزشیابی انتخاب زیرمجموعه‌ای از ارزشیابی‌های مرتبط با کاربر فعال و کاربران همسایه وی از پایگاه داده ارزشیابی‌های سیستم پیشنهاددهنده است. هر ارزشیابی چهارگانه‌ای به صورت <u, i, v, t> است که u شناسه کاربر ارزشیابی‌کننده، i شناسه آیتم ارزشیابی‌شده، v مقدار ارزشیابی و t زمان ارزشیابی را نشان می‌دهد.

همچنین یکی از وظایف لایه ارزشیابی نرمال‌سازی و یکسان‌سازی فرمت ارزشیابی‌ها است که به ویژه در شرایطی که مقادیر v و t مربوط به ارزشیابی‌های مختلف دارای فرمت یکسان نیستند، اهمیت زیادی دارد. این لایه، ارزشیابی‌های انتخابی را پس از این پردازش‌ها به لایه بالاتر از خود یعنی لایه اعتماد مستقیم تحویل می‌دهد.



شکل (۲): معماری مدل لایه‌ای اعتماد آگاه از اطمینان پیشنهادی

۳-۲ لایه اعتماد مستقیم

وظیفه این لایه، محاسبه اعتماد مستقیم بین کاربران سیستم پیشنهاددهنده است. منظور از اعتماد مستقیم، ارزیابی سطح قابلیت اعتماد فرد مقصد بر اساس نتایج تعاملات مستقیم با وی است.

لایه اعتماد مستقیم، ارزشیابی‌های ارسالی از لایه ارزشیابی را به عنوان ورودی دریافت می‌کند. از دیدگاه این لایه، هر ارزشیابی در حکم یک مدرک[10] خام محسوب می‌شود که به عنوان ورودی سیستم تخمین اعتماد دریافت می‌شود تا با نگاشت مناسب به یک نظر اعتماد[11] تبدیل شود. این نظرات اعتماد که از ارزشیابی‌ها استخراج می‌شوند، مقادیر اعتماد ضمنی[12] را تشکیل می‌دهند. از طرف دیگر در صورتی که بیانیه‌های اعتماد صریح[13] نیز در دسترس باشد، اعتماد مستقیم کلی بین کاربران بر اساس برآیند اعتماد ضمنی و اعتماد صریح محاسبه می‌گردد. برای محاسبه

[6] Rating Layer
[7] Direct Trust Layer
[8] Indirect Trust L:ayer
[9] Recommendation Layer

[10] evidence
[11] trust opinion
[12] implicit trust values
[13] explicit trust statements

برآیند از روابط تجمیع مدل منطق ذهنی (روابط (۱) تا (۳)) استفاده می‌شود.

۳-۳ لایه اعتماد غیرمستقیم

این لایه، وظیفه محاسبه اعتماد غیرمستقیم بر اساس نظرات اعتماد مستقیم دریافتی از لایه پایین‌تر از خود را به عهده دارد. در اعتماد غیرمستقیم، فرد مبدأ با مقصد عامل مستقیم نداشته و یا این تعاملات را برای ارزیابی کلی اعتماد به وی کافی نمی‌داند. بنابراین توصیه‌های دریافتی از افراد دیگری از جامعه (موسوم به افراد واسطه یا شخص ثالث) در مورد مقصد را به عنوان مبنای قضاوت در مورد اعتماد به او استفاده می‌کند [۱۸].

ارزیابی اعتماد غیرمستقیم مستلزم این است که ابتدا در شبکه اعتماد کلیه مسیرهای اعتماد از فرد مبدأ به مقصد (موسوم به زنجیره‌های اعتماد[14]) شناسایی شود. سپس در هر زنجیره با استفاده از خاصیت تعدی اعتماد، مقدار اعتماد غیرمستقیم محاسبه می‌شود که به این فرآیند انتشار اعتماد[15] گفته می‌شود. در نهایت لازم است تجمیع اعتماد[16] صورت گیرد که به معنی محاسبه برآیند مقادیر اعتماد کلیه زنجیره‌های اعتماد است. مقدار نهایی نظرات اعتماد آگاه از اطمینان با تعیین میانگین وزنی اعتماد مستقیم و غیرمستقیم محاسبه و برای تصمیم‌گیری به لایه پیشنهاد ارسال می‌شود.

۳-٤ لایه پیشنهاد

وظیفه لایه پیشنهاد، انتخاب آیتم‌های نهایی مناسب و پیشنهاد آنها به کاربر فعال است. برای این منظور لازم است N آیتم مناسب‌تر از بین تعداد بیشتری آیتم‌های کاندید انتخاب شود. این انتخاب مستلزم مرتب‌سازی آیتم‌های کاندید براساس یک ملاک ترتیب مطلوب است. از آنجا که نظرات اعتماد آگاه از اطمینان دربردارنده دو معیار اعتماد و اطمینان هستند، سناریوهای مختلفی برای تعریف ملاک ترتیب بین آیتم‌ها می‌تواند در نظر گرفته شود. در لایه پیشنهاد این امکان وجود دارد که هریک از این سناریوها اعمال شود. بدیهی است که در هر شرایطی براساس اولویت‌ها و ترجیحات کاربر فعال، یکی از این سناریوها بهترین گزینه ممکن خواهد بود.

٤- محاسبه اعتماد و اطمینان در مدل پیشنهادی

دو لایه اعتماد مستقیم و غیرمستقیم هریک با رویکرد مختلف و در شرایط متفاوت، کار محاسبه اعتماد و اطمینان را بر عهده دارند. ازآنجاکه قرار است پارامتر اطمینان نیز در نظرات اعتماد مورد استفاده در نظر گرفته شود و از طرفی مدل منطق ذهنی یک رویکرد کارآمد و شناخته‌شده برای بازنمایی نظرات اعتماد آگاه از اطمینان محسوب می‌شود، در لایه اعتماد مستقیم، مقادیر اعتماد ضمنی بر اساس بازنمایی همین مدل، محاسبه و ارائه می‌گردد. اگر یک نظر اعتماد بین دو کاربر x و y به‌صورت بازنمایی منطق ذهنی را به‌صورت $(b_{x,y}, d_{x,y}, u_{x,y})$ در نظر بگیریم، مقدار $b_{x,y}$ را می‌توانیم برابر با میانگین وزنی اختلاف ارزشیابی‌های x و y در مورد کلیه آیتم‌های مشترک بین آنها در نظر بگیریم که از رابطه (٤) قابل محاسبه خواهد بود.

$$b_{x,y} = \frac{\sum_{(i,j)\in CRI_{x,y}} w_{i,j}(1-|r_{x,i}-r_{y,j}|)}{\|CRI_{x,y}\|+1} \qquad (۴)$$

که در این رابطه مقادیر r حاصل ارزشیابی کاربران روی آیتم‌ها را نشان می‌دهند و $CRI_{x,y}$ مجموعه «آیتم‌های مشترکاً ارزشیابی‌شده» توسط دو کاربر x و y است. در واقع این مجموعه شامل کلیه زوج مرتب‌هایی از آیتم‌ها است به‌طوری‌که یکی از دو آیتم توسط کاربر x و آیتم دیگر توسط کاربر y ارزشیابی شده است و برچسب یال واسط بین دو آیتم مذکور نیز از مقدار آستانه معینی مانند thr کمتر نیست. به بیان دقیق‌تر این مجموعه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CRI_{x,y} = \{(i,j) | i \in RI_x, j \in RI_y, e_{i,j} \geq thr\} \qquad (۵)$$

که در آن RI_x و RI_y به ترتیب مجموعه آیتم‌های ارزشیابی‌شده توسط کاربر x و کاربر y را نشان می‌دهد.

برای محاسبه میزان عدم قطعیت در ارتباط با اعتماد کاربر

[14] trust chains
[15] trust propagation
[16] trust aggregation

x به y یا همان $u_{x,y}$ رابطه پیشنهادی به‌صورت رابطه (٦) در نظر گرفته شده است:

$$u_{x,y} = \frac{1}{\|CRI_{x,y}\|+1}(1 - e^{-\mu\Delta T}) \qquad (٦)$$

در این رابطه μ پارامتری برای تنظیم میزان تأثیر معکوس تازگی بر عدم قطعیت و ΔT مدت زمان گذشته از زمان ارزشیابی است. بدیهی است که مقدار عدم قطعیت با افزایش تعداد آیتم‌های مشترک بین دو کاربر یعنی $\|CRI_{x,y}\|$ کاهش و با افزایش میزان قدیمی‌بودن ارزشیابی یعنی ΔT افزایش می‌یابد.

برای تعیین میزان بی‌باوری یعنی $d_{x,y}$ می‌توان از این خاصیت در بازنمایی ذهنی استفاده کرد که همواره $b+d+u=1$ [١٦]. بنابراین مقدار بی‌باوری با در دست داشتن میزان باور و عدم قطعیت، طبق رابطه (٧) قابل محاسبه است:

$$d_{x,y} = 1 - (b_{x,y} + u_{x,y}) \qquad (٧)$$

از طرف دیگر با فرض این که مقادیر اعتماد صریح نیز که از پایگاه داده بیانیه‌های اعتماد استخراج می‌شوند، به‌صورت بازنمایی منطق ذهنی نمایش داده می‌شوند، یک نظر اعتماد صریح بین دو کاربر x و y را به‌صورت $(b'_{x,y}, d'_{x,y}, u'_{x,y})$ در نظر می‌گیریم. برای محاسبه اعتماد کلی، دو نظر اعتماد ضمنی و اعتماد صریح با یکدیگر تجمیع می‌شوند و یک نظر برآیند به عنوان نظر اعتماد کلی محاسبه می‌گردد. برای تجمیع نظرات اعتماد عیناً از روابط (١) تا (٣) یعنی روابط ترکیب نظرات در مدل منطق ذهنی استفاده می‌شود.

لازم به ذکر است که بازنمایی فوق با استفاده از سه‌گانه مدل منطق ذهنی، در واقع یک نظر اعتماد آگاه از اطمینان را منعکس می‌کند چرا که اطمینان و عدم قطعیت نقطه مقابل هم هستند و به عبارت دیگر رابطه (٨) بین آنها برقرار است:

$$C = 1 - u \qquad (٨)$$

همچنین معمولاً اعتماد براساس رابطه (٩) تعیین می‌گردد:

$$T = b + 0.5\,u \qquad (٩)$$

از طرف دیگر در لایه اعتماد غیرمستقیم، میزان عدم قطعیت متناسب با طول زنجیره اعتماد و نیز میزان پراکندگی نظرات تجمیع‌شونده محاسبه می‌شود. علت این است که هر چه زنجیره اعتماد طولانی‌تر باشد، دقت و اطمینان به آن کمتر و به تعبیر دیگر عدم قطعیت در مورد آن بیشتر خواهد بود و از طرف دیگر هرچه تضاد و پراکندگی در نظرات تجمیع‌شونده بیشتر باشد، باز میزان اطمینان کمتر خواهد بود. برای محاسبه عدم قطعیت در لایه اعتماد غیرمستقیم، رابطه (١٠) مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$u_{x,y} = e^{-\gamma.ACL}\sigma_{x,y} \qquad (١٠)$$

که در رابطه فوق، ACL متوسط طول زنجیره‌های اعتماد غیرمستقیم بین دو کاربر x و y و $\sigma_{x,y}$ میزان انحراف معیار در لیست نظرات تشکیل‌دهنده اعتماد غیرمستقیم x به y و γ یک پارامتر تنظیم‌کننده است.

اگرچه بازنمایی اعتماد ضمنی و صریح و همچنین اعتماد کل براساس مدل منطق ذهنی یعنی سه‌گانه‌های (b, d, u) محاسبه می‌شود، برای تصمیم‌گیری در لایه پیشنهاد، بازنمایی نظرات به صورت بازه اعتماد $[L, U]$ معرفی‌شده در [١٧] مناسب‌تر است به همین دلیل در لایه اعتماد غیرمستقیم با استفاده از روابط (١١) و (١٢) که از مرجع مذکور گرفته شده‌اند، مقادیر L و U محاسبه می‌گردد و خروجی این لایه به لایه پیشنهاد در قالب بازنمایی بازه اعتماد ارائه می‌گردد.

$$L = b \qquad (١١)$$

$$U = 1 - d \qquad (١٢)$$

در بازنمایی بازه اعتماد $0 \le L \le 1$ و $0 \le U \le 1$ به ترتیب کران پایین و کران بالای بازه اعتماد هستند و عرض بازه یعنی $U\text{-}L$ با میزان اطمینان نظر رابطه معکوس دارد به این ترتیب که هرچه عرض بازه اعتماد کمتر باشد، نظر مطمئن‌تر است. علت این که این بازنمایی برای استفاده در لایه پیشنهاد مناسب‌تر است، این است که این لایه، با کاربر انسانی مواجه است و برای انسان بازنمایی نظرات اعتماد به صورت بازه، نسبت به بازنمایی‌های دیگر شهودی‌تر و قابل‌درک‌تر است [١٧].

۵- رویکرد و سناریوهای انتخاب آیتم‌های نهایی

همان‌گونه که اشاره شد لایه پیشنهاد، نظرات اعتماد آگاه از اطمینان بین کاربران مختلف را به صورت بازه اعتماد [L, U] دریافت می‌کند تا براساس آن‌ها مناسب‌ترین آیتم‌های پیشنهادی برای ارائه به کاربر فعال را تعیین و به او پیشنهاد کند. در این بخش الگوریتم انتخاب آیتم‌های نهایی و سناریوهای مختلف مطرح در این لایه را تشریح می‌کنیم.

اولین گام در انتخاب اقلام، تعیین کاربران همسایه کاربر فعال و به‌ویژه مرتب‌سازی آنها به ترتیب نزولی میزان نزدیکیشان به کاربر فعال است.

برای انتخاب کاربران همسایه یک سناریوی مبتنی بر آستانه در نظر گرفته شده است: یک آستانه خاص در نظر گرفته می‌شود و هر کاربری که نظر اعتماد کاربر فعال در مورد او بالاتر از این آستانه باشد، در لیست همسایه‌های وی قرار می‌گیرد. آستانه به‌صورت یک بازه مثل $[L_{thr}, U_{thr}]$ در نظر گرفته می‌شود و لازم است عملگر ترتیب مناسبی نیز برای مقایسه بازه‌ها تعریف شود تا مقایسه بازه اعتماد فرد مقصد با بازه اعتماد آستانه براساس آن صورت گیرد. همچنین پس از انتخاب کاربران همسایه، برای مرتب‌سازی آنها برحسب میزان نزدیکی آنها به کاربر نیاز به یک تعریف یک رابطه ترتیب داریم. ماهیت چنین ترتیبی به راهبرد سیستم پیشنهاددهنده بستگی دارد که راهبرد مذکور به نوبه خود به کاربرد و بازخوردهای کاربران وابسته است. در ادامه چند راهبرد پیشنهادی را ارائه می‌کنیم.

برای مرحله انتخاب کاربران همسایه که یک سناریوی مبتنی بر آستانه مورد نظر است، تصمیم‌گیری در مورد هر کاربر براساس قانون کلی زیر صورت می‌گیرد:

If $[L_{u,v}, U_{u,v}] \succcurlyeq [L_{thr}, U_{thr}]$ then
Add user *v* into the neighbor list of user *u*

عملگر $\succcurlyeq$ یک رابطه ترتیب جزئی[17] است که براساس راهبرد انتخاب همسایه‌ها[18] باید تعریف شود. در اینجا چهار تعریف مختلف برای ترتیب مورد نظر ارائه می‌کنیم:

(۱۳)

NSS_1:
$[L, U] \succcurlyeq [L_{thr}, U_{thr}] \equiv L \geq L_{thr}$
NSS_2:
$[L, U] \succcurlyeq [L_{thr}, U_{thr}] \equiv U \geq U_{thr}$
NSS_3:
$[L, U] \succcurlyeq [L_{thr}, U_{thr}] \equiv (L \geq L_{thr} \text{ and } U \geq U_{thr})$
NSS_4:
$[L, U] \succcurlyeq [L_{thr}, U_{thr}] \equiv (L \geq L_{thr} \text{ or } U \geq U_{thr})$

در مرحله بعد برای مرتب‌سازی همسایگان کاربر فعال براساس میزان نزدیکی آنها به کاربر فعال، لازم است رابطه ترتیب مناسب دیگری تعریف شود. برای این منظور دو راهبرد مرتب‌سازی همسایه‌ها[19] مختلف به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

(۱٤)

NOS_1:
$[L_1, U_1] \succ [L_2, U_2] \equiv (L_1 > L_2 \text{ or } (L_1 = L_2 \text{ and } U_1 > U_2))$
NOS_2:
$[L_1, U_1] \succ [L_2, U_2] \equiv (U_1 > U_2 \text{ or } (U_1 = U_2 \text{ and } L_1 > L_2))$

در نهایت، پس از انتخاب و مرتب‌سازی لیست کاربران همسایه کاربر فعال، این لیست به ترتیب نزولی میزان نزدیکی آنها به کاربر فعال پیمایش و آیتم‌های مورد علاقه هریک از این کاربران به کاربر فعال پیشنهاد می‌گردد. این پیمایش تا آنجا ادامه می‌یابد که به تعداد N آیتم مورد نظر برای پیشنهاد به کاربر فعال انتخاب و ارائه گردد.

٦- ارزیابی مدل پیشنهادی

برای ارزیابی کارایی مدل لایه‌ای پیشنهادی، این راهکار با استفاده از رویکردهای مختلف لایه پیشنهاد بر روی دو مجموعه‌داده واقعی Epinions و FilmTrust اعمال شده است. این دو مجموعه داده جزء شناخته‌شده‌ترین مجموعه‌داده‌ها در حوزه سیستم‌های پیشنهاد دهنده به‌ویژه با رویکرد مبتنی بر اعتماد هستند که به عنوان نمونه در [۱]، [۳] و [۱۹-۲۱] برای ارزیابی راهکارهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

[17] partial order
[18] Neighbor Selection Strategy (NSS)
[19] Neighbor Oredreig Strategy (NOS)

نتایج حاصل با نتایج دو روش «فیلترینگ مشارکتی با خوشه‌بندی گراف چگال» موسوم به DGCCF [۱] و «فیلترینگ مشارکتی مبتنی بر خوشه‌بندی k – میانه» یا KMCF [۳] مقایسه و تحلیل شده است.

۶-۱ رویکرد ارزیابی

رویکرد مورد استفاده برای ارزیابی، تکنیکleave-one-out است: هر مقدار امتیاز در مجموعه آزمایش کنار گذاشته می‌شود و سپس سعی می‌شود تا مقدار آن با الگوریتم تحت ارزیابی با استفاده از اطلاعات در دسترس تخمین زده شود. سپس مقدار تخمینی با مقدار واقعی مقایسه و اختلاف آن‌ها محاسبه می‌شود.

معیارهای ارزیابی مورد استفاده عبارتند از قدرمطلق خطا، دقت، یادآوری، F1 و پوشش ارزیابی (RC). چهار معیار اول ملاک‌های ارزیابی دقت الگوریتم و معیار پنجم یعنی RC ملاکی برای اندازه‌گیری میزان پوشش توصیه‌ها در یک الگوریتم مورد ارزیابی است.

۶-۲ ارائه و تحلیل نتایج ارزیابی

اولین آزمایش‌ها برای یافتن بهترین راهبردهای انتخاب و مرتب‌سازی لیست همسایگان کاربر فعال انجام شده است. برای این منظور هر یک از چهار راهبرد انتخاب همسایه NSS_1 تا SS_4 پیشنهادشده در بخش ۵ در ترکیب با هریک از دو راهبرد مرتب‌سازی NOS_1 و NOS_2 همان بخش امتحان شده و نتایج دقت و پوشش هر رویکرد ترکیبی به ترتیب با استفاده از معیارهای F1 و RC مورد ارزیابی قرار گرفته است. جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب نتایج حاصل بر روی مجموعه‌داده Epinions و FilmTrust را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۱ بهترین مقدار برای معیار F1 به ازای ترکیب زوج راهبردهای (NSS_3, NOS_2) حاصل شده است و از طرف دیگر بالاترین مقدار پوشش ارزیابی (RC) نیز در دو عنصر جدول مشاهده می‌شود که یکی از آن دو باز هم متناظر با رویکرد ترکیبی مذکور است. همچنین در جدول ۲ نیز زوج (NSS_3, NOS_2) بالاترین مقدار پوشش ارزیابی و دومین بالاترین مقدار معیار F1 را به خود اختصاص داده است.

جدول (۱): مقادیر F1 به ازای راهبردهای ترکیبی انتخاب و مرتب‌سازی همسایه‌های کاربر فعال بر روی Epinions

رویکرد انتخاب/مرتب‌سازی	NOS_1	NOS_2
NSS_1	F1 = 0.938	**F1 = 0.968**
	RC = 94.5%	RC = 93.6%
NSS_2	F1 = 0.922	F1 = 0.935
	RC = 91.1%	RC = 93.9%
NSS_3	F1 = 0.956	F1 = 0.964
	RC = 94.8%	**RC = 95.2%**
NSS_4	F1 = 0.941	F1 = 0.953
	RC = 92.6%	RC = 93.2%

جدول (۲): مقادیر F1 به ازای راهبردهای ترکیبی انتخاب و مرتب‌سازی همسایه‌های کاربر فعال بر روی FilmTrust

رویکرد انتخاب/مرتب‌سازی	NOS_1	NOS_2
NSS_1	F1 = 0.926	F1 = 0.937
	RC = 90.9%	RC = 91.4%
NSS_2	F1 = 0.908	F1 = 0.930
	RC = 90.1%	RC = 92.3%
NSS_3	F1 = 0.946	**F1 = 0.954**
	RC = 93.5%	**RC = 93.5%**
NSS_4	F1 = 0.920	F1 = 0.917
	RC = 91.4%	RC = 92.2%

به این ترتیب نتیجه می‌شود که در مجموع براساس دو معیار مرتبط با دقت و پوشش و برمبنای آزمایش بر روی دو مجموعه‌داده، رویکرد (NSS_3, NOS_2) بهترین عملکرد را برای انتخاب آیتم‌های پیشنهادی ارائه می‌کند. به همین دلیل، این رویکرد به عنوان رویکرد منتخب در نظر گرفته شده و توصیه می‌گردد و در ادامه آزمایش‌ها نیز که با هدف مقایسه مدل پیشنهادی با راهکارهای قبلی صورت می‌گیرد، رویکرد NNS_3 برای انتخاب کاربران همسایه و رویکرد NOS_2 برای مرتب‌سازی لیست همسایگان مورد استفاده

قرار گرفته است.

آزمایش‌های بعدی با هدف مقایسه راهکار پیشنهادی با دو راهکار موجود قبلی یعنی DGCCF و KCMF انجام شده است. این آزمایش‌ها برای اندازه‌گیری معیارهای پنجگانه در روش‌های مختلف برای دو مجموعه‌داده Epinions و FilmTrustبه‌صورت جداگانه اجرا شده است که نتایج مربوط به این دو مجموعه‌داده به ترتیب در جدول‌های ۳ و ٤ ارائه گردیده است. نتایج این دو جدول نشان می‌دهد که هم روش پیشنهادی و هم روشDGCCF از نظر معیارهای مختلف، به طور قابل‌ملاحظه‌ای بهتر از روش KCMF عمل کرده‌اند.

جدول (۳): نتایج آزمایش‌ها بر روی مجموعه‌داده Epinions

الگوریتم	MAE	Precision	Recall	F1	RC(%)
DGCCF [۱]	0.8324	0.927	0.903	0.915	0.9683
KCMF [۳]	0.9523	0.921	0.753	0.829	81.39
روش پیشنهادی	0.8187	0.944	0.985	0.964	95.2

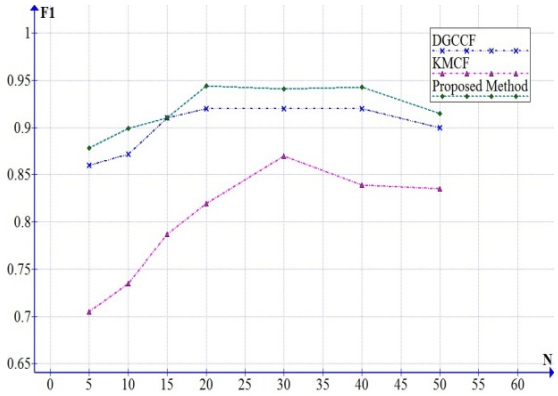
جدول (٤): نتایج آزمایش‌ها بر روی مجموعه‌داده FilmTrust

الگوریتم	MAE	Precision	Recall	F1	RC(%)
DGCCF [۱]	0.6291	0.774	0.983	0.866	96.87
KCMF [۳]	0.6889	0.756	0.826	0.789	84.11
روش پیشنهادی	0.6062	0.928	0.981	0.954	93.5%

از طرف دیگر روش پیشنهادی از نظر چهار معیار میانگین قدر مطلق خطا، دقت، F1 و پوشش ارزشیابی نتایج بهتری نسبت به روش DGCCF ارائه می‌کند و فقط از نظر معیار یادآور کارایی روش مذکور بر روی مجموعه‌داده FilmTrust اندکی بهتر از روش پیشنهادی است.

آخرین آزمایش‌ها برای بررسی نحوه تغییر معیار F1 با افزایش پارامتر N (تعداد پیشنهادهای نهایی ارائه‌شده به کاربر هدف) اجرا شده است. نتایج این بررسی در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳ مجدداً برتری قابل توجه روش پیشنهادی و نیز روش DGCCF نسبت به روش KMCF را تأیید می‌کند. تفاوت بین روش پیشنهادی و روش DGCCF جزئی است و درعین‌حال در بخش عمده نمودار روش پیشنهادی از یک برتری نسبی نسبت به DGCCF برخوردار است.



شکل (۳): تأثیر پارامتر N بر روی معیار F1 در روش‌های مختلف

۷- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

افزایش دقت و پوشش توصیه‌ها در سیستم‌های پیشنهاددهنده یکی از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی در سال‌های اخیر بوده است. محققان این حوزه به این نتیجه رسیده‌اند که رویکرد شناخته‌شده برای انتخاب مناسب‌ترین اقلام جهت پیشنهاد به کاربر که فیلترینگ مشارکتی خوانده می‌شود، اگرچه یک رویکرد توانمند و اصولی است اما به تنهایی دقت و کارآمدی لازم را برای این منظور ندارد. به همین دلیل رویکردهای مکمل در کنار فیلترینگ مشارکتی به طور گسترده مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در این میان اعمال فاکتور اعتماد بین کاربران روشی است که تأثیر مثبت آن بر کارآمدی سیستم‌های پیشنهاددهنده ثابت شده است.

در این مقاله یک مدل لایه‌ای اعتماد آگاه از اطمینان برای بهبود دقت و پوشش توصیه‌ها در سیستم‌های پیشنهادی معرفی شد. در پایین‌ترین لایه این مدل، ارزشیابی‌های کاربران به آیتم‌ها دریافت و پردازش می‌شود و در لایه‌های میانی اعتماد ضمنی و صریح بین کاربران براساس دو

رویکرد تخمین اعتماد مستقیم و غیرمستقیم محاسبه می‌گردد. برای بازنمایی و تجمیع اعتماد آگاه از اطمینان از مدل منطق ذهنی استفاده می‌شود. بالاخره در بالاترین لایه، نظرات اعتماد به صورت بازنمایی بازه اعتماد نمایش داده می‌شود و براساس آن‌ها مناسب‌ترین آیتم‌ها برای پیشنهاد به کاربر فعال انتخاب و مرتب‌سازی می‌شود.

برای ارزیابی راهکار پیشنهادی، آزمایش‌های مختلفی با استفاده از دو مجموعه‌داده شناخته‌شده و متداول این حوزه انجام شده و نتایج حاصل با دو روش موجود مقایسه شده است. این ارزیابی نشان می‌دهد که راهکار پیشنهادی تقریباً از نظر همه معیارهای دقت و پوشش و در شرایط مختلف نسبت به دو روش مذکور نتایج بهتری را ارائه می‌کند.

در راستای تکمیل و بهبود راهکار معرفی شده ایده‌ها و پیشنهادهای مختلفی را می‌توان مورد توجه قرار داد. یکی از این موارد در نظر گرفتن پارامترهای تکمیلی برای محاسبه اطمینان است. پارامتر مورد استفاده در این مقاله برای تخمین میزان اطمینان، تعداد، سازگاری و تازگی مدارک و طول زنجیره اعتماد است اما پارامترهای دیگری مانند میزان مرتبط‌بودن و نیز باورپذیری ارزشیابی‌ها نیز می‌تواند با هدف افزایش دقت در نظر گرفته شود.

استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر یادگیری ماشین و الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت برای تعیین مقدار بهینه پارامترهای مدل پیشنهادی ازقبیل حد آستانه انتخاب همسایه‌های کاربر فعال یکی دیگر از ایده‌هایی است که برای کار آینده پیشنهاد می‌گردد.

همچنین ترکیب مدل لایه‌ای اعتماد پیشنهادی با معیارهای شباهت بین کاربران می‌تواند در افزایش دقت و پوشش در توصیه‌های سیستم پیشنهاددهنده مؤثر باشد.

۸- مراجع

[1] P Moradi, S Ahmadian, F Akhlaghian; **"An effective trust-based recommendation method using a novel graph clustering algorithm".** Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 436, 2015, 462-481.

[2] L Lü, M Medo, CH Yeung, YC Zhang, ZK Zhang, T Zhou; **"Recommender systems".** Physics Reports, 519, 2012, 1–49.

[3] C Birtolo, D Ronca; **"Advances in clustering collaborative filtering by means of fuzzy c-means and trust".** Expert Systems Applications, 40, 2013, 6997–7009.

[4] P Massa, P Avesani; **"Trust-aware recommender systems".** ACM Conference on Recommender Systems, Minneapolis, Minnesota, USA, 2007.

[5] CH Lai, DR Liu, CS Lin; **"Novel personal and group-based trust models in collaborative filtering for document recommendation".** Information Sciences 239, 2013, 31-49.

[6] G Guo, J Zhang, N Yorke-Smith; **"TrustSVD: Collaborative Filtering with Both the Explicit and Implicit Influence of User Trust and of Item Ratings."** AAAI, 2015.

[7] U Kuter, J Golbeck; **"Sunny: A new algorithm for trust inference in social networks using probabilistic confidence models".** AAAI 7, 2007, 1377-1382.

[8] YM Li, CP Kao; **"TREPPS: a trust-based recommender system for peer production services".** Expert System Applications. 36, 2009, 3263–3277.

[9] G Guo, J Zhang, D Thalmann; **"Merging trust in collaborative filtering to alleviate data sparsity and cold start".** Knowledge Based Systems, 57, 2014, 57–68.

[10] J Cho, K Kwon, Y Park; **"Q-rater: a collaborative reputation system based on source credibility theory".** Expert System Applications. 36, 2009, 3751–3760.

[11] T Zhao, J McAuley, I King; **"Leveraging social connections to improve personalized ranking for collaborative filtering"**. Proceedings of the 23rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management, 2014, 261–270.

[12] F Liu, H Lee; **"Use of social network information to enhance collaborative filtering performance".** Expert System Applications. 37, 2010, 4772–4778.

[13] S Kitisin, C Neuman; **"Reputation-based trust-aware recommender system".** Secure communications and Workshops, 2006, 1–7.
[14] Y Wang, L Li; **"Two-dimensional trust rating aggregations in service-oriented applications".** IEEE Transactions on Services Computing, 4(4), 2011, 257-271.
[15] J Zhang; **"A Survey on Trust Management for VANETs".** Proceedings of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications, 2011, 105-112.
[16] A Jøsang, L Gray, M Kinateder; **"Simplification and Analysis of Transitive Trust Networks".** Web Intelligence and Agent Systems Journal, 4(2), 2006, 139-161.
[17] H Shakeri, A Ghaemi Bafghi; **"A Confidence-Aware Interval-based Trust Model".** Journal of ISeCure, 4(2), 2013, 1-15.
[18] Y Kim, HS Song; **"Strategies for predicting local trust based on trust propagation in social networks".** Knowledge-Based Systems, 24(8), 2011, 1360-1371.
[19] G Guo, et al; **"From ratings to trust: an empirical study of implicit trust in recommender systems".** Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing. ACM, 2014.
[20] S Deng, L Huang, G Xu; **"Social network-based service recommendation with trust enhancement".** Expert Systems with Applications 41, 2014,18: 8075-8084.
[21] X Yang, et al; **"A Product Recommendation Approach Based on the Latent Social Trust Network Model for Collaborative Filtering".** Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C), IEEE International Conference on. IEEE, 2016.