

مساله راهبري وظيفه در شبکه‌های اجتماعي

رامين ايزدپناه^۱، محمدامين فضلي^۲، علي معيني^۳

^۱ گروه علوم مهندسي-الگوريتم‌ها و محاسبات، پردیس دانشکده‌های فني، دانشگاه تهران

تهران، ايران

r.izadpanah@ut.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسي کامپيوتر، دانشگاه صنعتي شريف

تهران، ايران

fazli@ce.sharif.edu

^۳ گروه علوم مهندسي-الگوريتم‌ها و محاسبات، پردیس دانشکده‌های فني، دانشگاه تهران

تهران، ايران

moeini@ut.ac.ir

چکیده

در اين مقاله، روش‌هایی برای راهبري یک کار پيش‌بینی و جمع‌آوری اطلاعات در یک شبکه اجتماعي بررسی شده است. در راهبري وظيفه هر عضو شبکه‌ی اجتماعي می‌تواند با دادن اطلاعات مشارکت کند و وظيفه را در مسیر مناسب در شبکه هدایت کند. در اين پژوهش برای تحليل روش‌های مختلف راهبري و بررسی تاثیر تغيير پارامترهای گوناگون در معيارهای ارزیابی، چارچوبي پياده‌سازی شده است. همچنین به منظور ارزیابی جامع‌تر راهبري وظيفه، معيار دارايی معرفي شده است. به منظور ایجاد انگیزه در بازیکنان برای مشارکت از قواعد امتیازدهی راهبري استفاده شده که دارای پارامتری برای تنظیم میزان تاثیر راهبري در امتیاز به شرکت‌کنندگان است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد افزایش پارامتر تنظیم‌کننده‌ی میزان تاثیر راهبري در قواعد امتیازدهی راهبري، منجر به افزایش دارايی و کاهش امتیاز مورد انتظار عامل‌های شرکت‌کننده در فرآیند راهبري وظيفه می‌شود.

کلمات کلیدی:

شبکه‌های اجتماعي، راهبري وظيفه، قواعد امتیازدهی، دارايی، انتشار اطلاعات.

۱- مقدمه

سازمان‌ها به ترکیبی از تخصص‌ها و ابزارهایی برای شناخت و به‌کاربردن این تخصص‌ها برای انجام کارهای مختلف، نیازمندند. قابلیت استفاده‌ی بهینه از تخصص‌ها و علایق افراد، برای موفقیت یک سازمان بسیار ضروری است. انجام یک کار ممکن است نیاز به تخصص چندین کارشناس داشته باشد و برای تحت کنترل درآوردن آن تخصص‌ها، علاوه بر شناسایی افراد خبره، باید انگیزه‌های لازم را نیز برای همکاری آن‌ها فراهم آورد که این انگیزه‌ها می‌توانند مالی یا غیرمالی باشند.

در شبکه‌های اجتماعی و سازمان‌ها، دانش یک فرد علاوه بر تخصص خودش در کارها و موضوع‌ها، شامل اطلاعات درباره‌ی تخصص دیگران هم می‌شود. به عنوان مثال یک مدیر ممکن است در سازمان خود، افرادی را بشناسد که بهتر از عهده‌ی بخش خاصی از یک پروژه برمی‌آید. افراد درون یک گروه تحقیقاتی می‌دانند چه کسی در آن گروه بهترین بازبینی مقاله را دارد یا بهترین مشارکت را در پاسخ به یک پرسش تحقیقاتی انجام دهد. همین‌طور افرادی که از شبکه‌های اجتماعی مثل فیسبوک استفاده می‌کنند، ممکن است بدانند که چه کسی در میان دوستانشان بهتر می‌تواند به یک سوال خاص پاسخ دهد یا نظر ارزشمندی درباره‌ی یک موضوع مورد بحث بدهند. حتی در وضعیتی که فردی نمی‌تواند یک خبره را برای مشارکت در انجام یک کار شناسایی کند، ممکن است افراد دیگری بشناسد که آنها خبرگان انجام آن کار را می‌شناسند (اما لزوماً خودشان خبره نیستند) یا قادر به شناسایی زیرمجموعه‌ای از افراد هستند که احتمال وجود تخصص مورد نیاز در بین آنها هست (مثلاً افرادی که یک علاقه‌مندی خاص را به اشتراک می‌گذارند).

راهبری وظیفه^۱، شرایط مناسبی برای حل مساله فراهم می‌کند که افراد بر اساس ارزیابی دیگران از تخصصشان، مسئول انجام آن وظیفه می‌شوند.

در این پژوهش مفاهیم کلیدی، چالش‌ها و فرصت‌های راهبری وظیفه با تمرکز روی مساله‌ی تحلیل پیش‌بینی^۲، بررسی شده است. در این مساله، یک پرسش بین افراد درون یک شبکه منتشر می‌شود که هر فرد در مسیر می‌تواند احتمال را بر اساس اطلاعاتش به‌روز کند و وظیفه را به فرد مجاور بفرستد. به عنوان مثال این پرسش‌ها می‌تواند مطرح شود: «پیش‌بینی می‌کنید فردا ارزش دلار در برابر ریال چه مقدار باشد؟» و یا «پیش‌بینی می‌کنید قهرمان مسابقات تنیس ویمبلدون امسال چه کسی باشد؟».

در [۱] یک مدل صوری^۳ برای این شرایط ارائه شده و در حالتی که انتشار صادقانه‌ی تخمین احتمال و راهبری بهینه به دیگر افراد، یک تعادل بیزین کامل است، قواعد امتیازدهی راهبری برای ایجاد انگیزه در مشارکت معرفی شده است.

با فرض دانش عمومی درباره‌ی ساختار شبکه و مقدار اطلاعاتی که هر کسی در شبکه دارد، گزارش صادقانه‌ی تخمین احتمال و راهبری بهینه در یک تعادل بیزین کامل می‌تواند به دست آید. حتی با فرض دانش عمومی، راهبری بهینه، NP-hard است و ممکن است افراد در محاسبات تصمیم‌گیری در عمل، دچار مشکل شوند. همچنین فرض دانش عمومی برای شبکه‌های اجتماعی بزرگ، تقریباً غیرممکن است.

برای عمل کردن در چنین مواردی، راهبری وظیفه‌ای مطرح شده [۱] که دانش درباره‌ی توانایی‌های دیگران به یک همسایگی محلی فرد محدود می‌شود. قواعد راهبری محلی معرفی شده در [۱] تصمیم‌های ساده‌ی راهبری را در تعادل، با فرض دانش محلی درباره‌ی تخصص دیگران و استفاده از آنها برای گرفتن تصمیم‌های راهبری موثر، از کل شبکه مجزا می‌کند.

به منظور ایجاد انگیزه در شرکت‌کننده‌ها برای گرفتن تصمیم‌های راهبری براساس مسیرهای کوتاه و به صورت محلی بهینه و فقط با استفاده از دانش محلی، طرح‌های مشوقی طراحی شده که منجر به رفتار تعادلی می‌گردد که در آن استدلال و تحلیل مورد نیاز شرکت‌کننده‌ها ساده‌تر صورت می‌پذیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استراتژی‌های راهبری تعادلی مبتنی بر قواعد راهبری محلی منجر به تجمع سریع اطلاعات می‌شود [۱].

به منظور درک میزان کارایی و کیفیت راهبری وظیفه در شبکه‌های اجتماعی باید از روش‌هایی برای ارزیابی عملکرد بازیکنان در فرآیند راهبری وظیفه و خروجی نهایی که از شبکه دریافت می‌شود، استفاده کرد. روش ارزیابی باید به صورتی باشد که کیفیت عملکرد و میزان هزینه‌ی پرداخت شده برای رسیدن به جواب نهایی را به صورت همزمان بررسی کند. در این پژوهش یک معیار جدید به نام دارایی^۴ برای ارزیابی بهتر راهبری وظیفه معرفی شده و نتایج تحلیلی نیز بر اساس آزمایش‌های انجام‌شده ارائه شده است.

نظریه‌ها و معیارهای معرفی‌شده که با مبحث راهبری وظیفه در شبکه‌های اجتماعی مرتبط هستند، نیاز به محیطی دارند که شرایط نزدیک به دنیای واقعی وجود داشته باشد و چگونگی وقوع آنها بررسی شود. برای رسیدن به این هدف نیاز به یک چارچوب برای انجام آزمایش‌های مختلف و شبیه‌سازی‌های مرتبط با این پدیده احساس می‌شود. در این پژوهش یک چارچوب طراحی شده است که امکان تحلیل راهبری وظیفه در شبکه‌های اجتماعی را طبق مدل ارائه شده در [۱] فراهم می‌کند.

در این مقاله ابتدا کارهای مرتبط انجام‌شده معرفی می‌گردند، در قسمت بعد به توضیح مدل مورد استفاده، پرداخته خواهد شد. در قسمت‌های بعد انواع قواعد امتیازدهی معرفی و مقایسه می‌شوند. در ادامه معیار دارایی تعریف خواهد شد و رابطه‌ی آن با پارامترهای قواعد راهبری محلی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. سپس چارچوب

^۳ formal

^۴ asset

^۱ Task routing

^۲ Prediction analysis

پیاده‌سازی‌شده برای تحلیل راهبری وظیفه معرفی خواهد شد و در پایان به بحث و تحلیل نتایج آزمایش انجام‌گرفته، پرداخته می‌شود.

۱-۱- کارهای مرتبط

روش‌های راهبری دستی و خودکار وظیفه در شبکه‌های آنالین استفاده شده‌اند. به عنوان مثال سرویس‌های سوال-جواب مانند آردوارک^۵ به یک کاربر امکان سوال به زبان طبیعی می‌دهد، سپس سیستم ترجمه می‌کند و به صورت خودکار به شخص مناسب در گراف اجتماعی کاربر بر اساس یک ارزیابی از این که چه کسی بهتر می‌تواند پاسخ دهد، راهبری کند [۱۴]. آردوارک همچنین امکان راهبری به هم‌تا را دارد که در آن کاربر می‌تواند سوالات را به صورت دستی به دیگران راهبری کند که این امکان را می‌دهد که با کاربرانی که خارج از همسایگی محلی خودش و اطلاعات درباره‌ی دانش دوستانش، وجود دارند، در تعامل باشد. آردوارک به خاطر مشارکت افراد به آنها پاداش نمی‌دهد و به جای آن به حسن‌نیت و ارتباطات اجتماعی متکی است. در مطالعه‌ی ساز و کارهای تشویقی مشاهده می‌شود که پاداش مناسب به افراد شرکت‌کننده به خاطر مشارکتشان می‌تواند به ترویج مشارکت برای حل مسائل و راهبری به صورت عمومی‌تر کمک کند.

به کار بردن قابلیت افراد به طور هم‌زمان برای حل کردن و راهبری، مولفه‌ی اصلی استراتژی تیم برنده در مسابقه‌ی بالون قرمز داریا^۶ است [۲]. وظیفه، پیدا کردن ده بالن در آمریکا بود و تیم برنده یک ساز و کار تشویقی ارائه کرد که در افراد انگیزه ایجاد می‌کرد که به دنبال بالن بگردند و دوستانشان را نیز درباره‌ی این وظیفه آگاه کنند. هدف ساز و کار پیشنهاد شده انتشار اطلاعاتی بود که به شکل یک ساز و کار داده‌پراکنی^۷ عمل می‌کرد، اما هیچ ملاحظه‌ای در مورد شناسایی تخصص یا هزینه‌ی ارتباط، در نظر نمی‌گرفت.

قواعد امتیازدهی راهبری را می‌توان به عنوان یک توسعه روی قواعد امتیازدهی بازار که در بازارهای پیش‌بینی استفاده می‌شود، در نظر گرفت که در آن انگیزه‌های مناسب در افراد ایجاد می‌شود که برای بهبود تخمین‌های احتمال در انتشار اطلاعات اضافی مشارکت کنند [۳]. تفاوت اصلی بین راهبری وظیفه و یک بازار پیش‌بینی در مسئولیت شناسایی تخصص‌ها است: در حالی که بازار پیش‌بینی مسئولیت پیدا کردن کار پیش‌بینی که اطلاعات مفید برای آن را دارند، به عهده‌ی افراد می‌گذارد، راهبری وظیفه، افراد را تشویق می‌کند که به دیگران که تخصص مناسب

را دارند، اطلاع دهند، با وجود این‌که خودشان تخصص لازم را نداشته باشند.

مساله‌ی راهبری وظیفه با مساله‌ی جستجوی غیرمتمرکز در شبکه‌ها که هدف، تحویل سریع یک پیغام از یک مبدا به یک مقصد در یک شبکه هست، مرتبط است [۴]. کلینبرگ^۸ نشان داد که برای مدل خاص مبتنی بر توری^۹ یک شبکه‌ی دنیاکوچک^{۱۰}، افرادی که که از قواعد محلی پیروی می‌کنند، می‌توانند به سرعت پیغام را با احتمال بالایی تحویل دهند. در این مدل، هدف می‌تواند به عنوان یک مرکز دانش دیده شود که دانش عامل‌ها درباره‌ی فاصله‌ی همسایگان از مرکز دانش، باعث راهبری موثر می‌شود.

همچنین می‌توان به کار ایمک^{۱۱} و دیگران [۵ و ۶] در مورد تحلیل‌های نظری مرتبط و همچنین به کار روی شبکه‌های حساس به پرس‌وجو^{۱۲} اشاره کرد [۷ و ۸ و ۹] که بازی‌هایی را بررسی کردند که در آن بازیکنان پاداش را به منظور استفاده از دیگران برای پاسخ به یک پرس‌وجو، تقسیم می‌کنند.

در [۱] یک مساله‌ی راهبری وظیفه که هدف آن به‌دست آوردن تخمین دقیق احتمال برای یک پرسش دلخواه از افراد درون یک ساختار اجتماعی، از طریق پاداش مناسب به آنها به خاطر تصحیح پیش‌بینی فعلی و راهبری وظیفه به دیگر افراد که می‌توانند اصلاحات بیشتر را انجام دهند، بررسی شده است.

۲- معرفی مدل

برای صوری کردن^{۱۳} شرایط، یک تک‌وظیفه‌ی پیش‌بینی T را در نظر بگیرید که ما می‌خواهیم تخمین‌های دقیق احتمال وضعیت واقعی $w \in \Omega$ را جمع‌آوری کنیم. وظیفه‌ی تخمین احتمال می‌تواند برای هر وضعیتی از دنیا که بعداً در طول زمان معلوم می‌شود، باشد؛ مانند: "آیا سه‌شنبه‌ی آینده در تهران برف می‌بارد؟" یا "آیا استقلال امسال قهرمان لیگ برتر می‌شود؟" در [۱] فضاهای حالت گسسته در نظر گرفته شده و بدون از دست دادن کلیت مساله یک فضای حالت دودویی به صورت

$$\Omega = \{Y, N\}$$

یک بازی را با n بازیکن در نظر بگیرید که هر بازیکن به وسیله‌ی یک گره در گراف راهبری $G=(V,E)$ نشان داده می‌شود. یال‌ها در گراف می‌توانند جهت‌دار یا بدون جهت باشند و نشان‌دهنده‌ی این هستند که آیا یک بازیکن خاص می‌تواند وظیفه را به یک بازیکن دیگر راهبری کند، یا خیر. وظیفه ابتدا به یک بازیکن منبع (به نام بازیکن ۱ و دیگر بازیکن‌ها

^{۱۲} Query incentive networks

^{۱۳} formalize

^{۱۴} در مورد رویدادهایی با بیشتر از دو حالت، وظیفه به دست آوردن یک بردار احتمال با احتمال‌های تخصیص‌داده‌شده به هر حالت است. با چنین رویدادهایی با استفاده از قاعده‌های امتیازدهی مناسب چند کلاسه می‌توان برخورد کرد و همه‌ی نتیجه‌ها به صورت مستقیم قابل گسترش هستند.

^۵ Aardvark

^۶ DARPA

^۷ broadcast

^۸ Kleinberg

^۹ Grid based

^{۱۰} Small-world

^{۱۱} Emek

به ترتیب نام‌گذاری شده‌اند) که یا از بیرون توسط سیستم تعیین می‌شود یا به صورت داخلی به عنوان کسی که مسئول انجام وظیفه هست، انتخاب شده، تخصیص داده می‌شود. از بازیکن منبع خواسته می‌شود که احتمال وضعیت Y را از احتمال P^0 به احتمالی مثل P^1 به روز کند و علاوه بر آن، وظیفه را به یک همسایه در گراف راهبری، هدایت کند. سپس از همسایه‌ی انتخاب شده خواسته می‌شود که تخمین P^1 را به روز کند و به یکی از همسایگانش هدایت کند و به همین ترتیب، تا زمانی که بازی بعد از تعداد از پیش تعیین شده مرحله R^{15} به پایان برسد (بازیکن R راهبری نمی‌کند). فرض می‌کنیم بازیکنانی که وظیفه را دریافت می‌کنند، لیست شرکت‌کننده‌ها تا آن لحظه و اطلاعات درباره‌ی تعداد مراحل باقی‌مانده را در اختیار دارند و بنابراین می‌توانند این دانش را در تصمیم‌های راهبری خود، استفاده کنند. هدف، طراحی سازوکارهای تشویقی است که در هر بازیکن انگیزه‌ی لازم را ایجاد کند تا تخمین احتمال را صادقانه، به روز کند و وظیفه را به بازیکنان دیگر که بهترین اصلاح را می‌توانند انجام دهند، هدایت کند، به این منظور که بعد از R مرحله به تخمین دقیقی دست پیدا کنند.

دانش بازیکنان درباره‌ی وظیفه به این صورت مدل می‌شود: وضعیت واقعی دنیا با توجه به توزیع احتمال رابطه ۱ که دانش عمومی همه‌ی بازیکنان است، به دست می‌آید.

$$\begin{array}{l} \text{رابطه ۱ - توزیع احتمال وضعیت واقعی دنیا} \\ \Pr(Y)=p^0 \\ \Pr(N)=1-p^0 \end{array}$$

در حالی که هیچ بازیکنی وضعیت واقعی را به صورت مستقیم مشاهده نمی‌کند، هر بازیکن می‌تواند اطلاعات اضافی را درباره‌ی وضعیت واقعی، به دست آورد. برای مدل کردن این شرایط، هر بازیکن به صورت خصوصی، خروجی تعدادی پرتاب سکه را که با توجه به یک توزیع شناخته‌شده‌ی مشترک وابسته به وضعیت واقعی به دست می‌آید، مشاهده می‌کند.

به منظور دست‌یافتن به تفاوت در سطح دانش بین بازیکنان، به بازیکنان اجازه داده می‌شود که تعداد متفاوتی پرتاب سکه مشاهده کنند، به صورتی که بازیکنانی که پرتاب سکه بیشتری مشاهده می‌کنند، به وضوح دانش بیشتری دارند و باتجربه‌تر هستند.

به صورت رسمی سیگنال C_i بازیکن i به صورت یک بردار از بیت‌های تصادفی به طول l_i نمایش داده می‌شود، که بیت C_{ik} یک متغیر تصادفی روی خروجی k -امین پرتاب مشاهده‌شده‌ی سکه به وسیله‌ی بازیکن i است. فرض می‌شود که بیت‌های سیگنال به صورت شرطی مستقل هستند (مستقل مشروط به وضعیت واقعی) و از یک توزیع (شناخته شده برای همه‌ی بازیکنان) به دست می‌آیند:

$$\Pr(C_{ij}=x|w)=\Pr(C_{km}=x|w) \quad \forall i, k, j, m, x$$

رابطه ۲ - استقلال شرطی بیت‌های سیگنال

فرض می‌شود که هر بیت سیگنال حاوی اطلاعات مفید هست، یعنی:

$$\Pr(C_{ij}=x|w=Y) \neq \Pr(C_{ij}=x|w=N) \quad \forall i, j$$

رابطه ۳ - شرط اطلاعات مفید هر بیت سیگنال

همچنین فرض می‌شود بیت‌های سیگنال متمایز هستند، یعنی:

$$\Pr(w=0|C_{ij}=x) \neq \Pr(w=0|C_{ij}=y) \quad \forall i, j, 0, x \neq y$$

رابطه ۴ - شرط تمایز بیت‌های سیگنال

فرض می‌شود مقدار سیگنال هر بازیکن، خصوصی هست اما آن بازیکنان در مورد تعداد پرتاب سکه‌ی مشاهده‌شده‌ی بازیکنان دیگر، اطلاعات دارند.

با سیگنال‌های مستقل شرطی، هر بازیکن تا زمانی که به‌روزرسانی‌های قبلی صادقانه انجام شده باشد، می‌تواند احتمال را به خوبی به روز کند، بدون این که مجبور باشد سیگنال‌های بازیکنان قبلی یا طول آنها را بداند [۱۰]. برای انجام دادن به‌روزرسانی، بازیکنان فقط باید توزیع سیگنال را با توجه به سیگنال خود بشناسند که فرض شده است برای همه‌ی بازیکنان شناخته شده است. این شرایط منجر به این می‌شود که بازیکنان به سادگی احتمال را به روز کنند که به خوبی همه‌ی اطلاعات جمع‌آوری شده تا آن لحظه را خلاصه می‌کند.

۳- ساز و کارهای انگیزشی

با فرض وجود بازیکنان عاقل و با توجه به این که حل کردن و راهبری یک وظیفه‌ی خاص هیچ ارزش ذاتی ندارد، به منظور به وجود آوردن راهبری وظیفه‌ی کارا و موثر، باید سازوکارهایی وجود داشته باشد که بازیکنان را تشویق کنند تا هم صادقانه احتمال‌ها را منتشر کنند و هم وظایف را به افرادی که بهترین بهبود را در پیش‌بینی وظیفه‌ها می‌توانند انجام دهند، هدایت کنند. در این قسمت مکانیزم‌های انگیزشی برای مشارکت بازیکنان معرفی می‌شوند.

۳-۱- قواعد امتیازدهی

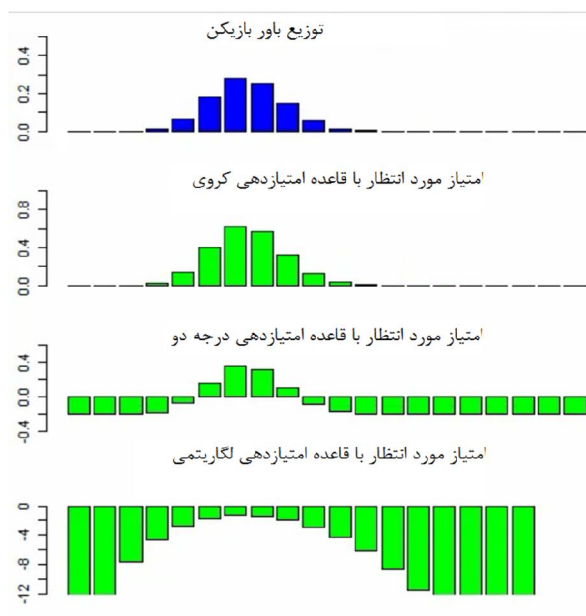
قاعده امتیازدهی^{۱۶}، میزان دقت یک تخمین آماری را ارزیابی می‌کند. این روش ارزیابی در مواردی مانند هواشناسی، بازارهای پیش‌بینی و ... کاربرد دارد.

یک قاعده امتیازدهی شایسته^{۱۷}، قاعده‌ای است که بر اساس آن فرد پیش‌بینی کننده، در صورتی که پیش‌بینی را بر اساس باور خود انجام دهد، به بیشترین امتیاز مورد انتظار دست پیدا کند.

^{۱۷} Proper scoring rules

^{۱۵} Round

^{۱۶} Scoring rule



شکل ۱- مقایسه تغییرات خروجی قواعد امتیازدهی اکیدا شایسته نسبت به باور بازیکن

می‌گیرد و اگر وضعیت واقعی N باشد، متناسب با $1-q^2$ پاداش دریافت می‌کند. هر قاعده‌ی امتیازدهی اکیدا شایسته می‌تواند با تبدیل خطی تغییر مقیاس داده شود یا نرمال شود تا قاعده‌ی امتیازدهی اکیدا شایسته دیگری تشکیل دهد [۱۲].

قواعد امتیازدهی بازار [۳]، قواعد امتیازدهی اکیدا شایسته را به شرایطی بسط می‌دهند که می‌خواهیم اطلاعات را از چند نفر جمع‌آوری کنیم. با داشتن مجموعه‌ای از گزارش‌ها، بازیکن i که p^i را گزارش می‌کند، به اندازه‌ی $S_i - S_{i-1}$ پاداش دریافت می‌کند که S_i امتیاز بازیکن i را نشان می‌دهد که با یک قاعده‌ی امتیازدهی اکیدا شایسته که بر روی گزارش این بازیکن اعمال شده، محاسبه شده است. باید توجه داشت از آنجایی که قواعد امتیازدهی اکیدا شایسته، تشویق به گزارش دقیق می‌کند، پاداش یک بازیکن فقط در صورتی مثبت است که او تخمین را بهبود ببخشد.

بر اساس قواعد امتیازدهی بازار، قواعد امتیازدهی راهبری معرفی شد که مشوق احتمال‌های دقیق و تصمیم‌های راهبری موثر است.

یک قاعده‌ی امتیازدهی راهبری دنباله‌ای از اعداد صحیح مثبت $k_{R-1}, \dots, k_1$ را مشخص می‌کند که مقدار رابطه ۸ را به بازیکنان $i \in \{1, \dots, R-1\}$ روی مسیر راهبری، پاداش می‌دهد:

$$(1-\alpha)S_i + \alpha S_{i+k_i} - S_{i-1} \quad \text{رابطه ۸}$$

که S_i امتیاز با قاعده‌ی امتیازدهی اکیدا شایسته دلخواه است و مقدار

یک قاعده امتیازدهی اکیدا شایسته^{۱۸}، قاعده امتیازدهی شایسته‌ای است که در آن فرد پیش‌بینی‌کننده فقط در صورتی به بیشترین امتیاز مورد انتظار دست پیدا می‌کند که پیش‌بینی را بر اساس باورهای خود اعلام کند [۱۷].

سه قاعده امتیازدهی اکیدا شایسته شناخته‌شده، قواعد زیر هستند:

- قاعده امتیازدهی درجه دو

در این قاعده، امتیازدهی مطابق رابطه ۵ انجام می‌شود:

$$Q(r, d) = 1 - \sum_i (r_i - d_i)^2$$

- رابطه ۵- قاعده امتیازدهی درجه دو

- قاعده امتیازدهی لگاریتمی

در این قاعده، امتیازدهی مطابق رابطه ۶ انجام می‌شود:

$$S(r, d) = \ln\left(\sum_i r_i d_i\right)$$

- رابطه ۶- قاعده امتیازدهی لگاریتمی

- قاعده امتیازدهی کروی

در این قاعده، امتیازدهی مطابق رابطه ۷ انجام می‌شود:

$$S(r, d) = \sum_i \frac{r_i d_i}{(\sum_i r_i^2)^{\frac{1}{2}}}$$

- رابطه ۷ - قاعده امتیازدهی کروی

در کلیه روابط، F_i تخمین بازیکن از رویداد i است و d_i نشان‌دهنده‌ی وقوع یا عدم وقوع رویداد i است [۱۶].

در شکل ۱ سه قاعده امتیازدهی اکیدا شایسته بر اساس باور بازیکنان با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بازیکن فقط در صورتی به امتیاز مورد انتظار بالاتری دست پیدا می‌کند که مطابق باورهای خود عمل کند. با توجه به این عملکرد، قواعد امتیازدهی اکیدا شایسته امکان طراحی ساز و کارهای انگیزشی را برای مسأله‌ی راهبری وظیفه‌ی پیش‌بینی در شبکه‌های اجتماعی فراهم می‌کنند.

۳-۲- قواعد امتیازدهی راهبری

در علم پیش‌بینی، قواعد امتیازدهی اکیدا شایسته ساز و کارهایی هستند که یک پیش‌بینی‌کننده را تشویق می‌کنند تا صادقانه احتمال معقول یک رویداد را مشخص کند [۱۱]. فرض می‌شود خروجی رویداد، در آینده قابل مشاهده است و پرداخت‌ها مشروط به خروجی هستند. یک قاعده‌ی امتیازدهی شایسته شناخته‌شده، قاعده‌ی امتیازدهی درجه دو است که در آن بازیکنی که احتمال q را برای وضعیت Y ارائه داده است، زمانی که وضعیت واقعی Y باشد متناسب با $1-(1-q)^2$ پاداش

^{۱۸} Strictly Proper scoring rules

$\alpha \in (0,1)$ یک ثابت است که تعیین کننده میزان اهمیت راهبری نسبت به انجام وظیفه هست و $i+k_i \leq R$ برای همه ی بازیکنان i برقرار است. بازیکن R گزارش می دهد اما راهبری نمی کند و به اندازه ی $SR-i$ به او پرداخت می شود.

در یک قاعده ی امتیازدهی راهبری، پرداخت به بازیکن i بر اساس مقدار بهبودی است که در تخمین انجام می دهد. تشخیص این بهبود با معیار ترکیب گزارش خودش و گزارش بازیکنی که وظیفه را k_i مرحله بعد از او دریافت می کند در مقایسه با گزارش بازیکنی که بلافاصله قبل از او قرار دارد، انجام می گیرد. برای بازیکن 1 ، s_0 نشان دهنده ی امتیاز محاسبه شده بر اساس p^0 اولیه است. به هر بازیکن i بر اساس $R-i$ مرحله جلوتر امکان پرداخت وجود دارد و بازیکن آخر (در مرحله ی R) راهبری نمی کند و بر اساس قاعده امتیازدهی بازار $SR-SR-1$ به او پرداخت می شود [۱].

قواعد امتیازدهی راهبری به بازیکنانی که خبره هستند و بازیکنانی که خبرگی دیگر بازیکنان اطلاع دارند، پاداش می دهد. در ادامه چندین قاعده ی امتیازدهی راهبری برای استفاده های مختلف معرفی می شود. ابتدا قاعده ی راهبری نزدیک^{۱۹} (MRSR) معرفی می شود که برای همه ی $i < R$ مقدار $k_i=1$ است. هدف این قاعده ی امتیازدهی راهبری این است که به یک بازیکن به خاطر دادن تخمین دقیق احتمال و راهبری به روش حریصانه به بازیکنی که دقیق ترین اصلاح در تخمین احتمال می تواند انجام دهد، پاداش دهد.

انتخاب قاعده ی امتیازدهی راهبری بر تصمیم های راهبری بازیکنان در تعادل تأثیر می گذارد که به نوبه ی خود روی مقدار اطلاعات تجمیعی تأثیر می گذارد. برای مشاهده ی ارتباط بین امتیاز یک بازیکن و مقدار اطلاعات تجمیعی تا هر لحظه، باید توجه کرد که امتیاز مورد انتظار با مجموع تعداد پرتاب سکه ها، اکیدا افزایش پیدا می کند [۱].

به بیان ساده اطلاعات اضافی می تواند دقت پیش بینی را به صورت متوسط بهبود ببخشد. از آن جایی که قاعده ی امتیازدهی اکیدا شایسته به دقت پاداش می دهد، جمع آوری پرتاب سکه ی بیشتر منجر به داشتن امتیاز بالا به صورت متوسط می شود.

۳-۳- قواعد راهبری محلی

با معرفی قواعد امتیازدهی راهبری مورد استفاده، تحلیل تعادل بازی راهبری مرتبط مورد توجه قرار گرفت.

می توان مساله ی الگوریتمی پیدا کردن مسیر بهینه را با مدل سازی جمع آوری پرتاب سکه، بیان کرد:

مساله ۱: گراف راهبری $G=(V,E)$ را در نظر بگیرید که در آن به گره ها، وزن های صحیح نامنفی w_i نسبت داده شده است (پرتاب سکه ها). با داشتن n گره شروع o ، یک مسیر به طول حداکثر k به صورتی پیدا کنید که جمع وزن ها روی مسیر، بیشینه باشد. این مساله برای مسیر با طول متغیر k ، NP-hard است [۱].

با وجود این که ممکن است افراد در سازمان های کوچک تخصص یکدیگر را بشناسند، فرض دانش عمومی برای سازمان ها و شبکه های بزرگتر، غیر عاقلانه به نظر می رسد. هر فردی لزوما همه ی افراد را نمی شناسد و ممکن است فقط اطلاعات خلاصه ای درباره ی تخصص و ارتباط افراد در خارج از یک همسایگی تعریف شده، داشته باشد.

در مقابل فرض دانش عمومی یک فرض دیگر جایگزین می شود که همه ی افراد سطح کمینه ی یکسانی از دانش درباره ی تخصص دیگران در یک همسایگی محلی با شعاع مشخص، داشته باشند. برای مثال، همه ی دوستان یک فرد خاص از تخصص او باخبر هستند (تا شعاع یک نقطه) و دوستان دوستان او هم ممکن است مطلع باشند (تا شعاع دو نقطه)

یک بازی راهبری فرض دانش محلی عمومی در همسایگی m نقطه برقرار می سازد اگر برای همه ی گره ها (افراد) i الف) i برای همه ی افراد متصل به i با مسیری با طول حداکثر m دانش عمومی باشد. و ب) i همه ی مسیرهای با طول حداکثر m که i را به دیگران متصل می کند، می شناسد و این دانش عمومی است [۱].

در قواعد راهبری محلی که در [۱] ارائه داده شده است، استراتژی بازیکنان در تعادل فقط به محاسبات مبتنی بر اطلاعات محلی وابسته است، ضمن این که از دانش عمومی محلی موجود نیز استفاده می شود. اصطلاح استراتژی محلی به این صورت تعریف می شود که استراتژی یک بازیکن i در یک بازی راهبری m -محلی است اگر تصمیم راهبری او فقط به دانش عمومی محلی در همسایگی m نقطه وابسته باشد و نسبت به هر باوری که بازیکن ممکن است درباره ی بازیکنان خارج از همسایگی خود داشته باشد، مستقل است.

یک نمونه از قواعد راهبری محلی که با استفاده از دانش عمومی محلی ۲ نقطه ($m=2$) به دست می آید، قاعده ی راهبری ۱-۲-۲ است که در آن مقدار $K_i=2$ اگر i فرد باشد و $i < R-1$ ، $K_i=1$ در غیر این صورت. با بسط دادن ایده، یک دسته از چنین قواعد امتیازدهی راهبری ایجاد می شود (...، $1-3-2-1$ ، $2-1-3-2-1$ ، $3-2-1-3-2-1$) که بازیکنان را تشویق می کنند مسیرهای بهینه ی محلی را برای دانش محلی مشترک m -hop محاسبه کنند.

۴- معیار دارایی

با اجرای این روش راهبری وظیفه با مدل معرفی شده نیازمند ارزیابی مدل و معیارهایی برای انجام تحلیل و ارزیابی راهبری وظیفه هستیم. معیاری که برای بررسی و تحلیل راهبری وظیفه در شبکه ی اجتماعی قابل استفاده است، میزان پرتاب سکه ی جمع آوری شده در پایان بازی راهبری در شبکه است. با استفاده از این معیار می توان میزان پرتاب سکه ی جمع شده ی بیشتر را در یک بازی راهبری، نشانه ی عملکرد بهتر آن بازی دانست؛ زیرا تعداد پرتاب سکه ی جمع آوری شده ی بیشتر به

^{۱۹} Myopic routing scoring rule

معنی جمع‌آوری دانش بیشتر است و هر چه دانش بیشتری جمع‌آوری گردد، وظیفه‌ای که وارد شبکه شده بود، به شکل بهتری انجام می‌شود. مشکلی که این معیار دارد این است که در آن به هزینه‌هایی که در طول بازی به سیستم وارد می‌شود، توجه نمی‌گردد. یکی از مهم‌ترین هزینه‌های سیستم، پاداشی است که به بازیکنان بابت عملکردشان در حل مساله و راهبری وظیفه داده می‌شود و به آن‌ها انگیزه‌ی کافی برای مشارکت صادقانه در بازی می‌دهد.

به منظور توجه همزمان به اطلاعات جمع‌آوری شده و هزینه‌های انجام‌شده در بازی، در این پژوهش معیار دارایی معرفی شده است که این امکان را می‌دهد ارزیابی دقیق‌تری از راهبری وظیفه با شرایط مختلف انجام شود.

این معیار در رابطه ۹ تعریف می‌شود:

$$\text{رابطه ۹ - معیار دارایی} \quad \text{Asset} = \frac{c_t}{r_e}$$

پارامتر c_t مقدار مجموع پرتاب سکه‌های جمع‌آوری شده در پایان بازی است که از رابطه ۱۰ به دست می‌آید و پارامتر r_e مقدار مورد انتظار پاداشی است که به بازیکنان داده می‌شود و از رابطه ۱۱ به دست می‌آید.

$$\text{رابطه ۱۰ - مجموع پرتاب سکه‌های جمع‌آوری شده} \quad c_t = \sum_{i=1}^R C_i$$

در رابطه ۱۰ مقدار C_i تعداد پرتاب سکه‌های جمع‌آوری شده توسط بازیکن i و R تعداد مراحل بازی است.

$$\text{رابطه ۱۱ - مقدار مورد انتظار پاداش داده شده به بازیکنان} \quad r_e = \sum_{i=1}^R (q_R r_i + (1 - q_R) \bar{r}_i)$$

در رابطه ۱۱، q_R مقدار تخمین نهایی است که در پایان بازی توسط آخرین بازیکن اعلام می‌شود و r_i مقدار پاداش به بازیکن i در صورتی که وضعیت واقعی Y باشد و $\bar{r}_i$ مقدار پاداش به بازیکن i در صورتی که وضعیت واقعی N باشد.

این معیار به گونه‌ای تعریف شده است که جمع‌آوری پرتاب سکه‌ی بیشتر که نشان‌دهنده‌ی داشتن دانش بیشتر است، باعث افزایش مقدار دارایی شود و پرداخت پاداش بیشتر به بازیکنان منجر به کاهش دارایی می‌گردد. در نتیجه مقدار بیشتر این معیار به معنی این است که شرایطی بر بازی حکمفرما بوده است که بیشترین اطلاعات، با کمترین هزینه جمع‌آوری شده است.

۵- بررسی رابطه با پارامتر α

در این قسمت رابطه‌ی بین پاداش بازیکنان و دارایی با پارامتر α بررسی می‌شود. پارامتر α در رابطه ۸، میزان اهمیت راهبری را نسبت به حل مساله تعیین می‌کند. به این صورت که هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، میزان پاداشی که به راهبری داده می‌شود بیشتر خواهد بود. با توجه به رابطه ۸ می‌توان قضیه ۱ را تعریف کرد:

قضیه ۱: با افزایش مقدار پارامتر α ، مقدار پاداش داده‌شده به بازیکنان افزایش پیدا می‌کند.

اثبات: با مشتق‌گیری از رابطه ۸ و با توجه به استقلال s_i از α داریم:

$$\frac{dr_i}{d\alpha} = -s_i + s_{i+k_i}$$

این مقدار، برابر است با اختلاف امتیاز بازیکن k مرحله بعد و بازیکن فعلی و با توجه به این که s_i ها همگی بر اساس یک قاعده‌ی امتیازدهی اکیداً شایسته انتخاب شده‌اند، بازیکنان برای رسیدن به بهترین پاداش به صورتی عمل می‌کنند که امتیاز بازیکن k مرحله بعد بیشتر شده باشد و در نتیجه مقدار مشتق فوق مثبت است. □

قضیه ۲: با افزایش مقدار پارامتر α ، مقدار دارایی کاهش می‌یابد.

اثبات: با توجه به رابطه ۹ مقدار دارایی با مقدار پاداش نسبت عکس دارد از طرفی با توجه به قضیه ۱، مقدار پاداش با افزایش α ، افزایش می‌یابد؛ در نتیجه می‌توان گفت با افزایش مقدار α ، مقدار دارایی کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام‌شده نیز، قضیه ۲ را تایید می‌کنند. □

۶- چارچوب پیاده‌سازی شده

در این پژوهش به منظور انجام آزمایش‌های مختلف و تحلیل بازی راهبری وظیفه در شبکه‌های اجتماعی در شرایط مختلف، چارچوبی پیاده‌سازی شده است که این امکان را به خوبی فراهم می‌کند. در این قسمت جزئیات و شرایط پیاده‌سازی این چارچوب ارائه می‌شود. پیاده‌سازی با استفاده از زبان جاوا انجام شد. برای تولید داده با استفاده از توزیع‌های آماری از کتابخانه‌ی `jdistrib` و برای انجام عملیات مربوط به گراف از کتابخانه‌ی `GraphT` و به منظور مشاهده‌ی ساختار گراف به صورت تصویری هم از نرم‌افزار `gephi` استفاده شده است. ویژگی‌های چارچوب پیاده‌سازی شده:

- اجرا با قواعد امتیازدهی مختلف (قاعده امتیازدهی درجه دو، قاعده امتیازدهی لگاریتمی و قاعده امتیازدهی کروی)
- اجرا با قواعد راهبری مختلف (قواعد راهبری محلی با مقادیر m مختلف، قاعده‌ی راهبری تصادفی)
- ایجاد شبکه‌های مختلف بازی و گراف تصادفی با پارامترهای مختلف
- امکان تغییر در مقادیر پارامتر α و تحلیل پیامدهای آن.
- امکان تولید رشته‌های پرتاب سکه با توزیع‌های مختلف آماری.

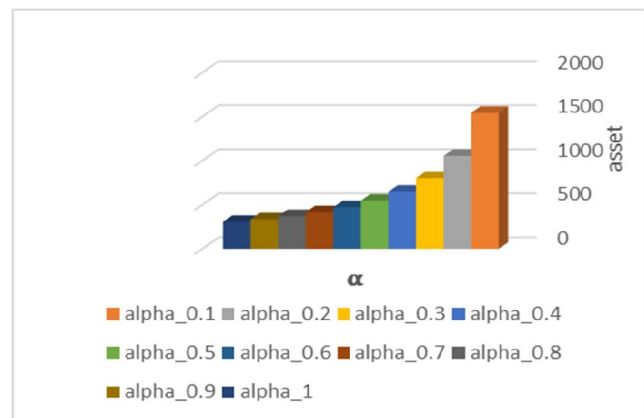
گراف تصادفی مورد استفاده در این پیاده‌سازی بر اساس مدل Watts-Strogatz [۱۵] تولید شده است. در این مدل با تغییر پارامترهای β و درجه، امکان تولید گراف با شرایط مختلف وجود دارد.

اجرای بازی به این صورت است که بعد از مقداردهی اولیه بر اساس پارامترهای ورودی، شبکه‌ای تصادفی ایجاد می‌شود که گره‌های آن بازیکنان هستند و هر گره یک وزن دارد که نشان‌دهنده‌ی اندازه‌ی سیگنال پرتاب سکه‌های بازیکن یا همان میزان دانش اوست. میزان دانش

نیز با توزیع‌های آماری، مقادیر مختلف را در بر می‌گیرد تا میزان دانش بازیکنان مختلف با یکدیگر متفاوت باشد.

هر بازیکن دو مجموعه دانش دارد: ۱- مجموعه دانش درباره‌ی وظایف مختلف که همان تخصص هر فرد است ۲- مجموعه دانش درباره‌ی همسایگانش که می‌تواند شامل اطلاعات مختلف باشد که در حال حاضر میزان دانش همسایگان (با تعریفی از همسایگی که بازی با آن اجرا شده است) هر فرد در این دسته از اطلاعات قرار می‌گیرد.

بعد از ایجاد شبکه‌ی بازی، برای هر بازیکن دانش درباره‌ی سایر بازیکنان ایجاد می‌شود که بر اساس نوع همسایگی و قاعده‌ی راهبری این کار انجام می‌گردد. سپس یک بازیکن برای شروع بازی انتخاب می‌شود و بازی را شروع می‌کند. بازی هر بازیکن شامل دو عمل حل‌کردن^{۲۰} و راهبری^{۲۱} است. برای عمل حل‌کردن بازیکن با توجه به وظیفه‌ای که به او واگذار شده است، با استفاده از یکی از تخصص‌هایش که مربوط به آن وظیفه هست، به آن وظیفه رسیدگی می‌کند. برای عمل راهبری، با توجه به قاعده‌ی راهبری، بازیکن بعدی که باید وظیفه به او راهبری شود انتخاب می‌گردد و بازی به همین صورت ادامه پیدا می‌کند تا پایان بازی فرا برسد.



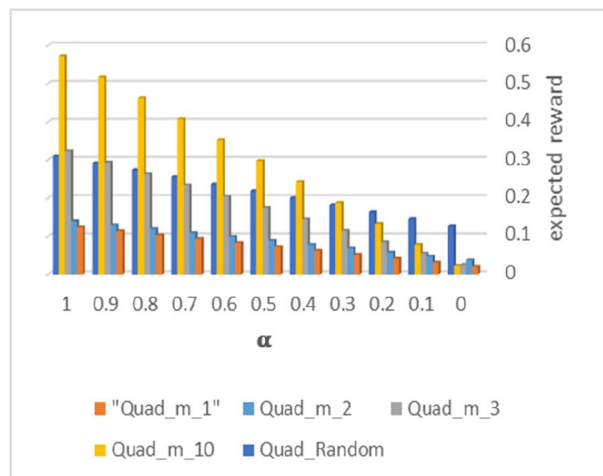
شکل ۲- نمودار تغییرات دارایی نسبت به تغییر α برای قاعده امتیازدهی دو جمله‌ای

این روش استراتژی بازیکنان با استفاده از قاعده‌های مختلف راهبری (محلی با $m=1, m=2, m=3, m=10$ و تصادفی) شبیه‌سازی می‌شود.

آزمایش ۲۰ بار تکرار شد و در نهایت تحلیل‌ها روی میانگین خروجی‌ها صورت گرفت^{۲۲}. در محاسبه‌ی پاداش داده شده به بازیکنان، قواعد امتیازدهی مختلف و مقادیر مختلف پارامتر α اعمال شده و تاثیر آنها در مقدار پاداش و دارایی مورد بررسی قرار گرفت.

در شکل ۲ نمودار تغییرات مقدار دارایی نسبت به تغییرات پارامتر α نمایش داده شده است. این نمودار مطالب گفته شده در مورد ارتباط دارایی و پارامتر α را تایید می‌کند. با توجه نمودار مشاهده می‌شود که با افزایش پارامتر α مقدار دارایی کاهش یافته است. بیشترین دارایی در مقدار $\alpha=0.1$ اتفاق می‌افتد و کمترین دارایی در $\alpha=1$ رخ می‌دهد که به معنی دادن امتیاز فقط به عمل راهبری است. در نتیجه در ارزیابی عملکرد بازیکنان هر چه میزان اهمیت راهبری بیشتر باشد و در قواعد امتیازدهی به راهبری امتیاز بیشتری نسبت به حل مساله داده شود، مقدار دارایی سیستم کاهش می‌یابد.

در شکل ۳ نمودار تغییرات امتیاز مورد انتظار نسبت به تغییرات پارامتر α ، برای قواعد امتیازدهی درجه دو نمایش داده شده است.^{۲۳}



شکل ۳- نمودار تغییرات امتیاز مورد انتظار نسبت به تغییر α و قاعده‌ی راهبری برای قاعده‌ی امتیازدهی درجه دو

در این نمودار، به ازای راهبری تصادفی و قواعد راهبری محلی با مقادیر $m=\{1,2,3,10\}$ ، تغییرات مقدار امتیاز مورد انتظار نسبت به تغییرات α مشاهده می‌شود. در کلیه‌ی قواعد راهبری، از قاعده‌ی امتیازدهی درجه دو استفاده شده است.

^{۲۳} با توجه به این که روند کلی رابطه‌ی امتیاز مورد انتظار و دارایی با α برای کلیه‌ی قواعد امتیازدهی مشابه بود، به منظور صرفه‌جویی در فضا یکی از نمودارها نمایش داده شده است.

۷- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

برای بررسی تاثیر تغییر قواعد امتیازدهی، راهبری و پارامتر α ، آزمایش با شرایط زیر اجرا شد و نتایج آن مورد تحلیل قرار گرفت: گراف‌های تصادفی همبند با ۱۰۰ گره و درجه‌ی میانگین ۴ و مقدار $\beta = 0.1$ Watts-Strogatz تولید شدند. به هر گره یک تعداد پرتاب‌سکه نسبت داده می‌شود. این اعداد به صورت مستقل از هم از یک توزیع یکنواخت [1 10] به دست می‌آید. برای شبکه‌های تولیدشده با

^{۲۰} solve

^{۲۱} route

^{۲۲} با توجه به ناچیز بودن انحراف داده‌ها از مقادیر میانگین، انحراف معیارها گزارش نشده‌اند.

- [5] Y. Emek, R. Karidi, M. Tennenholtz, and A. Zohar. Mechanisms for multi-level marketing. In Proc. EC'11, pages 209-218, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [6] J. Douceur and T. Moscibroda. Lottery trees: Motivational deployment of networked systems. In SIGCOMM '07, 2007.
- [7] E. Arcaute, A. Kirsch, R. Kumar, D. Liben-Nowell, and S. Vassilvitskii. On threshold behavior in query incentive networks. In Proc. EC '07, 2007.
- [8] D. Dikshit and N. Yadati. Truthful and quality conscious query incentive networks. In WINE, 2009.
- [9] J. Kleinberg and P. Raghavan. Query incentive networks. In FOCS '05, 2005.
- [10] Yiling Chen, Daniel M. Reeves, David M. Pennock, Robin D. Hanson, Lance Fortnow, and Rica Gonen. Bluffing and strategic reticence in prediction markets. In Proceedings of the 3rd international conference on Internet and network economics, WINE '07, 2007.
- [11] R. Selten. Axiomatic characterization of the quadratic scoring rule. *Experimental Economics*, 1(1):43-61, June 1998.
- [12] J. E. Bickel. Some comparisons among quadratic, spherical, and logarithmic scoring rules. *Decision Analysis*, 4:49-65, June 2007.
- [13] Nicolas Lambert, David M. Pennock, and Yoav Shoham. Eliciting properties of probability distributions : the highlights . *SIGecom Exch.* , 7(3):9:1-9:5, November 2008.
- [14] D. Horowitz and S. D. Kamvar. The anatomy of a large-scale social search engine. In Proc. WWW '10, pages 431-440, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [15] D. J. Watts and S. H. Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks.," *Nature*, vol. 393, no. 6684, pp. 440-2, Jun. 1998.
- [16] Winkler, R. L. and Murphy, A. H. (1968). "Good probability assessors:." *Journal of Applied Meteorology*, 7, 751-758.
- [17] Wilson LJ, Gneiting T. 2007. Another look at proper scoring rules. *Journal of the American Statistical Association* 5: 1 – 20.

همان‌طور که گفته شد و نتایج شبیه‌سازی در نمودار نیز نشان می‌دهد مقدار پاداش با افزایش مقدار پارامتر α افزایش می‌یابد؛ به صورتی که کمترین مقدار پاداش در $\alpha = 0$ (یعنی زمانی که هیچ امتیازی به راهبری داده نمی‌شود) اتفاق می‌افتد و بیشترین مقدار پاداش در $\alpha = 1$ (یعنی زمانی که همه‌ی امتیاز ممکن به راهبری داده می‌شود) رخ می‌دهد.

در نتیجه در امتیازدهی بازیکنان هر چه میزان اهمیت راهبری بیشتر باشد و در قواعد امتیازدهی به راهبری امتیاز بیشتری نسبت به حل مساله داده شود، مقدار هزینه‌ای که سیستم بابت پرداخت پاداش به بازیکنان متحمل می‌شود، افزایش می‌یابد.

۸- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای تحلیل روش‌های مختلف راهبری و بررسی تاثیر تغییر پارامترهای مختلف در معیارهای ارزیابی، چارچوبی پیاده‌سازی گردید. همچنین به منظور ارزیابی جامع‌تر راهبری وظیفه، معیار دارایی معرفی شد. با شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در کنار تحلیل‌های نظری، مشخص شد در صورتی که در امتیازدهی، به راهبری توجه بیشتری نسبت به حل مساله شود یعنی پارامتر تنظیم‌کننده‌ی میزان راهبری (α) افزایش یابد، مقدار هزینه‌ی سیستم برای پاداش به بازیکنان افزایش پیدا می‌کند و مقدار دارایی سیستم کاهش پیدا می‌کند. بنابراین در مسایل راهبری وظیفه‌ی مبتنی بر این مدل، مقدار پارامتر α باید به گونه‌ای تنظیم شود که مقدار بهینه‌ی دارایی به دست بیاید و ضمن افزایش کیفیت خروجی شبکه‌ی اجتماعی، هزینه‌ی پرداخت‌شده برای اجرای ساز و کارهای تشویقی کاهش یابد.

یکی از جهت‌هایی که می‌توان پژوهش‌های بیشتر در این زمینه انجام داد، بررسی شروع اجرای بازی از چند نقطه‌ی متفاوت در شبکه و روش‌هایی برای پیدا کردن بهترین خروجی از شبکه با استفاده از الگوریتم‌های تقریبی و تصادفی است. زمینه‌ی دیگر می‌تواند در نظر گرفتن مواردی مانند هزینه‌ی ارتباط بین اعضای شبکه، هزینه‌ی فرصت، میزان آمادگی و در دسترس بودن اعضای شبکه و بررسی تأثیر این پارامترها در راهبری وظیفه باشد.

مراجع

- [1] H. Zhang, E. Horvitz, Y. Chen, and D. Parkes. Task routing for prediction tasks. In the 11th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems. ACM, 2012.
- [2] G. Pickard, I. Rahwan, W. Pan, M. Cebrian, R. Crane, A. Madan, and A. Pentland. Time Critical Social Mobilization: The DARPA Network Challenge Winning Strategy. ArXiv e-prints, Aug. 2010.
- [3] R. Hanson. Logarithmic market scoring rules for modular combinatorial information aggregation. *Journal of Prediction Markets*, 1(1):3-15, February 2007.
- [4] J. Kleinberg. Complex networks and decentralized search algorithms. In Proc. International Congress of Mathematicians, 2006.