Document Type: Full length research Paper
Pages: 43-52

Modeling opinion dynamics using statistical mechanics

Zahra Jahromi zadeh, Mohammad Javad Karimi, Erfan Kadivar*

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Received: 12.06.2025 Final revised: 18.09.2025 Accepted: 30.11.2025 Published On-Line: 31.12.2025

Doi:10.22055/jrmbs.2025.20482

Abstract

In this study, we propose a new mechanism to describe the bipolar phenomenon in opinion dynamics. We assume that individuals in a community review and analyze their opinions based on feedback from their surrounding community. In this numerical study, we consider 100 agents and we generate a random geometric network to define the neighborhood structure. The approach taken in this paper can be seen as a combination of physics-inspired binary opinion dynamics and social influence models. Agents are allowed to express two alternative opinions (binary choice). After exchanging their opinions, both agents have the possibility to change their initial opinions. Finally, the effect of learning rate and time evolution on dispersion, standard deviation, variance, and support strength are investigated.

Keywords: Statistical physics, Social dynamics, Opinion dynamics, Opinion polarization, Social feedback

*Corresponding Author: erfan.kadivar@sutech.ac.ir

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

مدل‌سازی دینامیک عقاید با استفاده از مکانیک آماری

زهرا جهرمی زاده، محمد جواد کریمی، عرفان کدیور*

گروه آموزشی فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

دریافت: ۱٤۰٤/۰۳/۱۲ ویرایش نهائی: ۱٤۰٤/۰٦/۲۷ پذیرش: ۱٤۰٤/۰۹/۰۹ انتشار بر خط: ۱٤۰٤/۱۰/۱۰

Doi:10.22055/jrmbs.2025.20482

چکیده

در این پژوهش یک سازوکار جدید برای توصیف پدیدهٔ دوقطبی عقیده در دینامیک عقاید ارائه می‌شود. فرض می‌کنیم که افراد عقیدهٔ خود را بر اساس بازخوردی که از جامعهٔ اطراف خود می‌گیرند، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهند. در این مطالعهٔ عددی، به تعداد یکصد عضو، موقعیت تصادفی در یک صفحهٔ واحد اختصاص داده می‌شود و بین هر دو عضو ارتباط بازخوردی در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه، ترکیبی از دینامیک عقیدهٔ دوتایی که از فیزیک و مدل تأثیر اجتماعی الهام گرفته شده، در نظر گرفته می‌شود. افراد هر دو عضو این مطالعه پس از تبادل نظرات خود امکان تغییر نظر اولیهٔ خود را دارند. در پایان، تأثیر نرخ یادگیری و تحول زمانی بر پراکندگی، انحراف معیار، واریانس و قدرت حمایت‌گری بررسی می‌شود.

کلیدواژگان: مکانیک آماری، دینامیک اجتماعی، قطبیدگی عقیده، بازخورد اجتماعی

مقدمه

بسیاری از قوانین طبیعت ریشهٔ آماری دارند و مکانیک آماری در اغلب پدیده‌های فیزیک نهادینه شده است. در سال‌های اخیر، توجه محققان به‌سمت کاربردهای مکانیک آماری در حوزه‌های زیست‌شناسی، داروسازی، تکنولوژی اطلاعات، علوم کامپیوتر و دانش اجتماعی جلب شده است. فیزیک‌دانان علاقهٔ زیادی به‌مدل‌سازی مکانیک آماری نشان داده‌اند که به‌وضوح، بسیار دور از حوزهٔ سنتی رایج می‌باشد. در سال‌های اخیر، مدل‌سازی رفتار جامعه در چارچوب مکانیک آماری توسط تعداد زیادی از فیزیک‌دانان انجام شده است. مارجووانا در مقالهٔ معروف خود کاربرد قوانین آماری در دانش اجتماعی را مورد مطالعه قرار داده است [۱].

در پدیده‌های اجتماعی، بر خلاف مکانیک آماری که سیستم متشکل از ذرات است، جامعه از افراد تعاملی تشکیل شده است و هر شخص با تعداد محدودی از افراد جامعه تعامل دارد [۲]. با وجود تفاوت‌های زیاد، ولی وقتی به‌جوامع انسانی نگاه کنیم، می‌بینیم همهٔ آنها الگوها و شباهت‌های کلی در سطح جهانی دارند. در فرایندهای اجتماعی و فرهنگی، تحولات اجتماعی از وضعیت بی‌نظمی به‌حالت منظم رخ می‌دهد. به‌عنوان مثال پدیده شامل شکل‌گیری خود به‌خودی یک زبان مشترک، فرهنگ مشترک و یا ایجاد توافق دربارهٔ یک موضوع می‌توان ذکر کرد. این پدیده‌های ماکروسکوپی به‌طور طبیعی نیاز به رویکرد آماری در رفتار اجتماعی دارند، به‌این معنا که نظم‌ها و الگوهای کلی را نتیجهٔ تعامل افراد به‌عنوان اعضای جامعه در نظر می‌گیریم.

*نویسندهٔ مسئول: erfan.kadivar@sutech.ac.ir

باز نشر این مقاله با ذکر منبع آزاد است.

این مقاله تحت مجوز کریتیو کامنز تخصیص ٤.۰ بین‌المللی می‌باشد

درک کمّی شکل‌گیری خصوصیات اجتماعی افراد یک جامعه، به‌عنوان مثال، آمار تولد، مرگ و میر و غیره، یکی از عوامل مؤثر برای گسترش علم آمار بوده است. این موضوع بسیاری از دانشمندان و فیلسوفان را وادار کرد تا به درک کمی در مورد چگونگی به‌وجود آمدن چنین نظم‌های دقیقی که از نظر رفتار ظاهری نامنظم به‌نظر می‌رسند، بپردازند. دانشمندانی چون هابس، لاپلاس، استوارت در این مورد پیش قدم بودند [۳]. آنها تلاش کردند که با استفاده از داده‌های اطلاعاتی بزرگ و پیدایش پدیده‌های اجتماعی کاملاً جدید، مدل‌سازی و فرمول‌بندی برای این پدیده‌ها داشته باشند.

دینامیک اجتماعی به‌مطالعهٔ چگونگی تأثیر تعاملات اجتماعی بر روابط اجتماعی و ساختار جامعه در طول زمان می‌پردازد. در این راستا، با استفاده از مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازهای کامپیوتری، نحوهٔ رفتار افراد در موقعیت‌های اجتماعی مختلف، بررسی و مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مطالعه به‌این سؤال مهم پاسخ خواهیم داد که چگونه برهم‌کنش و ارتباط بین افراد جامعه صرف‌نظر از حالت بی‌نظمی اولیه، باعث به‌وجود آمدن نظم در جامعه می‌شود. نظم در علم فیزیک معادل با توافق و هم‌گرایی و برعکس بی‌نظمی در فیزیک معادل با مخالفت و تعارض در علوم اجتماعی است. افراد جامعه با هم برهم‌کنش و تعامل می‌کنند که باعث به‌وجود آمدن شباهت فکری بین آنها می‌شود، تکرار برهم‌کنش‌ها در طول زمان باعث به‌وجود آمدن نظم بین آنها می‌شود که می‌تواند جزئی یا کلی باشد [٤]. اغلب اوقات عقاید افراد در نتیجهٔ برهم‌کنش با دیگران شکل می‌گیرد و تصمیم‌هایی که گرفته می‌شود حول این عقاید است. این عقیده‌ها به‌وسیلهٔ آموزش‌های اجتماعی شکل می‌گیرند. همچنین به‌وسیلهٔ ارتباطات با افراد دیگر جامعه و اخبارها و نظراتی که در شبکه‌های اجتماعی وجود دارد، عقاید افراد تغییر می‌کند.

در مدل‌سازی دینامیک متغیر بیان عقیده یک متغیر کمی دو مقداری ۱+ و۱- فرض می‌شود. در این مدل افراد در جایگاه‌های متفاوت شبکه (اجتماع) قرار دارند و با یکدیگر برهم‌کنش و تعامل دارند. عقیدهٔ افراد به‌وسیلهٔ تعاملات اجتماعی (برهم‌کنش) که با دیگر افراد جامعه دارند، تغییر می‌کند. برهم‌کنش‌های تعاملی بین هر دو عضو جامعه که در جایگاه‌های مختلف شبکه قرار دارند، باعث می‌شود که عقیده هر فرد روی یک موضوع تحت تأثیر همسایگان خود تغییر کند. قطبی شدن جامعه یک فرآیند توزیع نظرات است که طی آن افراد جامعه دارای دو دیدگاه کاملاً متفاوت نسبت به یک موضوع، می‌شوند. به‌عبارت دیگر، قطبی شدن هم یک حالت و هم یک فرآیند است. قطبی شدن به‌عنوان یک حالت به‌میزان اختلاف نظرات در مورد یک موضوع اشاره دارد، در حالی که قطبیدگی به‌عنوان یک فرآیند به افزایش مخالفت‌ها در طول زمان اشاره می‌کند [٥،٦]. هدف از این مطالعه، تعیین ساز و کار مناسب برای پیدایش قطبیدگی در علوم اجتماعی است. پدیدهٔ قطبی شدن، توزیع موضعی نظرات افراد جامعه با حداکثر اختلاف نظرات است که در آن اختلاف شدید عقیده‌ای در جامعه ایجاد می‌شود که وابستگی به نظر بیان شده را تقویت می‌کند. برعکس، عدم توافق متناظر با یک احساس منفی است که وابستگی به نظرات موجود را کاهش می‌دهد.

مدل‌سازی دوقطبی عقاید در سال‌های اخیر توجه زیادی را در حوزهٔ دینامیک عقاید به‌خود اختصاص داده است. دال و کریستن و همکاران [۷] یک دیدگاه ماکروسکوپی و میکروسکوپی برای تجزیه و تحلیل مدل روی نمودارهای هندسی تصادفی ارائه دادند.

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی بر روی مدل‌سازی چگونگی توزیع عقاید دوقطبی در یک جامعه انجام شده است [۱۰-۸]. تحقیقات بسیار زیادی توسط

کاستلانو [٤]، فراچبورگ و کراپیوسکی [۱۱]، بانیش [٦]، گلیسون [۱۲] و دیگران انجام شده است که به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری سیستم‌هایی که در آن اعضای متصل در یک شبکه نظرات دوتایی خود را مبادله می‌کنند، پرداخته است.

در این مطالعه با استفاده از مدل آیزینگ (برای سیستم‌های اسپینی) پدیدهٔ دوقطبی شدن جامعه را مورد بررسی و مطالعه قرار خواهیم داد. در این مدل افراد عقاید دوگانه‌ای دارند و در اثر برهم‌کنش با یکدیگر به توافق می‌رسند.

مبانی نظری مدل

فرض کنید که دو عقیده وجود دارد که اعضا می‌توانند بیان و اتخاذ کنند. این عقاید را با $o_i \in \{-1,1\}$ نشان می‌دهیم و i شاخص هر عضو است. در این مدل عضو i که به‌طور تصادفی انتخاب شده عقیده خود را که o_i است به‌همسایهٔ تصادفی خود که j است، بیان می‌کند. اولین عضو i از بین تمام اعضا انتخاب می‌شود و دومین عضو j نیز از بین تمام همسایه‌های i انتخاب می‌شود. عضو i عقیده خود را که o_i است به عضو j نشان می‌دهد و عضو j به بیان عضو i به‌صورت تصدیق یا عدم تصدیق (توافق یا عدم توافق) که بستگی به عقیده o_j دارد، پاسخ می‌دهد. به‌علاوه فرض بر این است که اعضا به یک عقیده متقاعدتر می‌شوند، اگر آن عقیده به‌وسیلهٔ اعضایی که با آنها تعامل می‌کنند، تأیید شود و همین‌طور اگر دیگران با آن عقیده مخالف باشند، عقیده بیان شده به چالش کشیده می‌شود. دو عبارت با ارزش حقیقی وجود دارد که برای هر عضو با $Q(1)$ و $Q(-1)$ محاسبه می‌شود و نشان می‌دهد چگونه عقاید $o = ۱$ و $o = -۱$ به‌وسیلهٔ بقیه اعضا محیط اجتماعی درک می‌شود.

$Q_i(o)$ یک ارزیابی درونی از انتخاب‌های مختلف را نشان می‌دهد که بر پایهٔ پاسخ اجتماعی که عضو هنگام ابراز عقیده دریافت می‌کند، استوار است. $Q_i(o)$ پس از هر بازخورد به‌صورت زیر متحول و بروز رسانی می‌شود:

$$Q_i(o) \to (1-\alpha)Q_i(o) + \alpha r_i \qquad ۱$$

که $r_i = o_i o_j$ و برای بازخورد مثبت $o_i = o_j$ و برای بازخورد منفی $o_i \neq o_j$ است.

پارامتر α مؤلفه یادگیری است و اندازهٔ تغییر را تعیین می‌کند. این پارامتر در دینامیک عقاید و در زمینه تأثیر اجتماعی به‌این معناست که چقدر افراد به بازنگری عقاید خود براساس بازخورد اجتماعی که از بیان نظرات خود به‌دست می‌آورند، حساس هستند.

وقتی اعضا عقاید خود را بیان می‌کنند، پاسخ‌های تأیید کننده یا غیر تأیید کننده براساس نظرات همسایگان خود دریافت می‌کنند. توافق تأیید را نشان می‌دهد و منجر به یک تجربهٔ مثبت می‌شود، $r_i = 1$ که به‌وسیلهٔ آن ارزیابی $Q_i(O)$ از عقیده بیان شده مربوطه افزایش می‌یابد. متقابلاً یک پاسخ غیر تأیید کننده، باعث بازخورد منفی $r_i = -1$ می‌شود و مقدار مربوطه به‌نظر $Q_i(o)$ را کاهش می‌دهد. بنابراین مقادیر $Q_i(o)$ را مرتبط با دو عقیده به‌عنوان نقطهٔ قوتی تفسیر می‌کنیم که دیدگاه مربوطه توسط i پشتیبانی می‌شود، مخصوصاً در موردی که دو عقیدهٔ رقیب ممکن است بیان شود. $\Delta Q = Q(1) - Q(-1)$

را می‌توان به‌عنوان اعتقاد به‌اینکه یک نظر مطلوب‌تر است، تفسیر کرد. در نتیجه وقتی که از آنها خواسته شده تا نظر فعلی خود را بیان کنند یا به‌چنین بیانی پاسخ دهند، اعضا تصمیم می‌گیرند گزینه‌ای را بیان کنند که در زمان فعلی به‌طور قوی‌تری از آن حمایت می‌کنند، به بیان دیگر

اگر $Q_i(-1) > Q_i(1)$ آنگاه $o_i = -1$

و اگر $Q_i(-1) < Q_i(1)$ آنگاه $o_i = 1$

یا به‌طور عمومی‌تر $o_i = \arg(\max Q_i(o))$

هدف اصلی این مقاله، معرفی یک مدل ساده فیزیکی در زمینهٔ دینامیک عقاید و خصوصاً دینامیک قطبیدگی است و اینکه نشان دهیم قطبیدگی عقاید می‌تواند از چند فرض نسبتاً کوچک ناشی شود:

۱-توافق یک تجربه مثبت و عدم توافق یک تجربه منفی است.

۲-این تجارب باعث اعتقاد به نظر (ΔQ_i) و بیان عقیده o_i می‌شوند.

۳-احتمال برهم‌کنش، ساختار بندی شده است.

برای اینکه توانایی مدل را برای تولید دوقطبی‌های پایدار در شبکه‌های متصل با مسیر مستقیم و غیر مستقیم بین تمام جفت اعضا شرح دهیم، یک شبکهٔ هندسی تصادفی ایجاد می‌کنیم، به‌منظور اینکه ساختار همسایگان را تعریف کنیم. مطابق با این مدل شبکه، تعداد N عضو با یک موقعیت تصادفی در یک صفحهٔ واحد $(x_i, y_i) \in [0,1] \times [0,1]$ اختصاص داده می‌شود و یک اتصال هر زمان که فاصلهٔ بین دو عضو زیر حد آستانه است، تشکیل می‌شود. به‌این نکته توجه داریم که میانگین تعداد ارتباطات در شبکه بستگی به هم تعداد اعضا و حد آستانه دارد.

در ادامه برای تحلیل نتایج از کمیت‌های کورتسیس و ضریب دو مدی را استفاده می‌کنیم. کورتسیس[1] یا کشیدگی، توصیف‌کنندهٔ میزان قله‌ای بودن و کشیدگی یک توزیع احتمالی است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

$$k = \frac{1}{N}\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^4}{\sigma^4} \qquad ۲$$

همچنین، ضریب دو مدی برابر $b = \frac{k-1}{2}$ است.

نتایج شبیه‌سازی

برای انجام شبیه‌سازی یک گراف هندسی تصادفی از توزیع عقاید جامعه را در نظر می‌گیریم. افرادی که فاصله‌شان از یک مقدار بحرانی r_c کوچکتر باشند، یک شبکهٔ اجتماعی محلی را تشکیل می‌دهند که این افراد در تقابل و گفتگو می‌توانند عقیده یکدیگر را عوض یا بر عقیده خود مصمم شوند.

در شکل ۱ نمایش یک گراف هندسی از یک جامعه ۱۰۰ عضوی (N=100) در صفحه واحد $(x_i, y_i) \in [0,1] \times [0,1]$ در زمان‌های مختلف t=0 و t=2000 و t=4000 و t=6000 و t=8000 و t=10000 حالت سیستم نشان داده شده است. در واقع این زمان‌ها تعداد تکرارها را نشان می‌دهند. در ابتدا مقادیر اولیه $Q_i(1)$ و $Q_i(-1)$ در بازهٔ $[-0.5, 0.5]$ به‌صورت تصادفی به هر عضو این جامعه نسبت داده می‌شود. برای هر عضو دو مقدار $Q_i(1)$ و $Q_i(-1)$ وجود دارد و هر کدام که بزرگتر باشند رأی غالب آن عضو است. پس از هر تکرار، افراد به‌واسطهٔ تبادل نظر و یادگیری از یکدیگر مقادیر $Q_i(1)$ و $Q_i(-1)$ خود را تغییر می‌دهند.

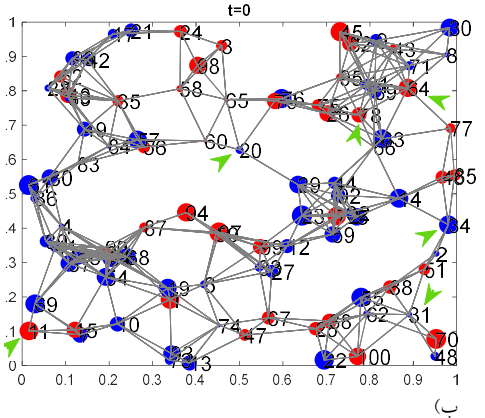
در این شکل رأی غالب هر عضو رنگ آبی برای نظر ۱ و رنگ قرمز برای نظر ۱- نشان داده شده است که شعاع دایره‌ها بزرگی رأی غالب است. همچنین خطوط، لینک بین افراد و تبادل نظر بین آنها را نشان می‌دهد. افرادی که فاصلهٔ بین آنها از $r_c = 0.175$ بزرگتر باشد، تبادل نظری با یکدیگر ندارند. برای مثال عضو شمارهٔ۲۰ با اعضای شمارهٔ۶۰ و ۶۵ لینک دارد ولی با اعضای ۹۴ و۵۶ لینک ندارد، یعنی با آنها تعاملی ندارد.

با نگاه اجمالی به گراف‌های شک مشاهده می‌شود که در نهایت پس از زمان t=10000 جامعه به خوشه‌های جداگانه از اعضا با عقاید مثبت و منفی

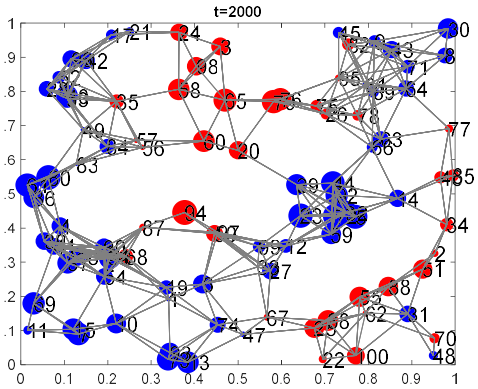
[1] Kurtosis

تقسیم می‌شود. جدایی خوشه‌ها به‌این معنی است که اگر افراد در تعامل با یکدیگر در عقیده هم‌سو باشند همدیگر را تقویت می‌کنند و اگر ناهم‌سو باشند عقیده یکدیگر را تضعیف می‌کنند. این مشابه با مدل آیزینگ در دمای صفر است که باعث جداسازی دو فاز بالا و پایین سیستم می‌شود. در اینجا نیز پس از مدتی بخشی از سیستم در حالت موافق (خوشه‌های آبی) و بخش دیگر در حالت مخالف (خوشه‌های قرمز) قرار می‌گیرد. در ادامه، ما برای نمونه اعضای ۱۱ ، ۲۰، ۳۱، ۳٤ ، ٦٤ و ۷۸ را انتخاب کرده و آنها را در اولین شکل با فلش سبزرنگ مشخص کرده‌ایم و تغییر عقیده آنها را بررسی می‌کنیم. به‌طور مثال عضو۱۱ در شکل۱الف در $t=0$ عقیده ۱- را دارد که با رنگ قرمز نشان داده شده است. در شکل۱ب در $t = 2000$ این عضو عقیده خود را به ۱ تغییر می‌دهد که با رنگ آبی نمایش داده شده است. در زمان‌های بعدی شعاع دایره زیاد می‌شود که نشان دهنده این است که این عضو روی عقیده خود مصمم است. عضو ۷۸ نیز در شکل۱الف ابتدا عقیده منفی و پس از گذشت $t=6000$ در شکل۱ت تغییر عقیده داده است.

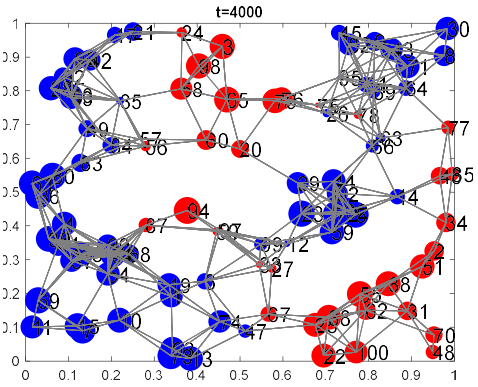
الف)



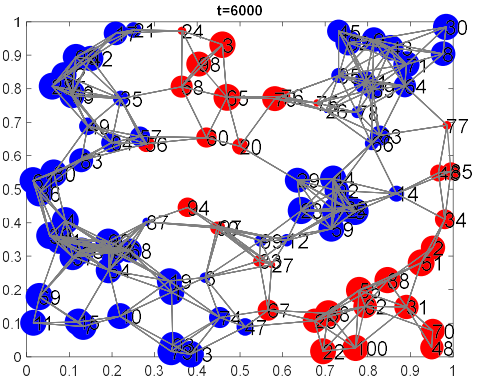
ب)



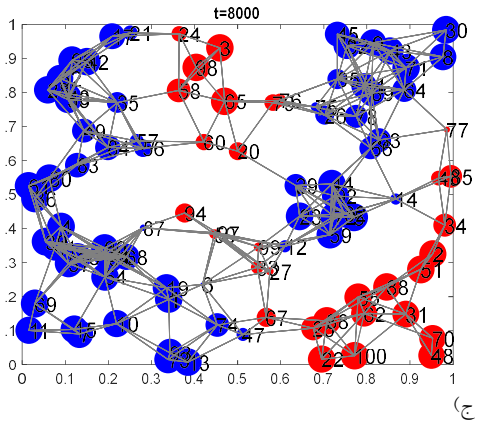
پ)



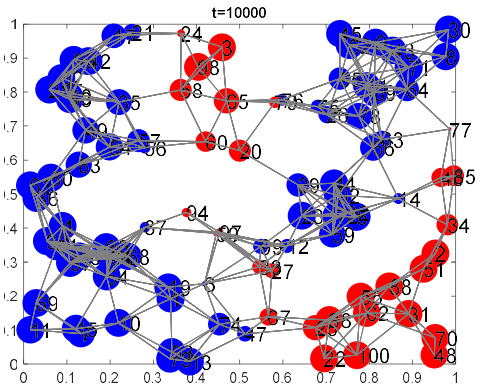
ت)



ث)



ج)

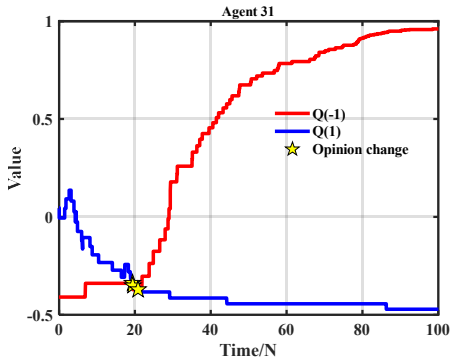


شکل۱. تحول زمانی سیستم در زمان‌های مختلف پارامتر یادگیری $\alpha =$ 0.05, است

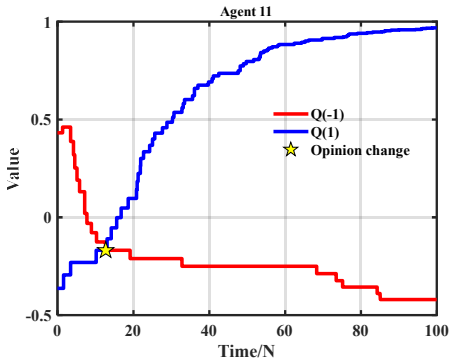
برای درک بهتر، در شکل۲ میزان حمایت برخی از این اعضای انتخاب شده از عقیده‌های ۱ و ۱- برحسب زمان نشان داده شده است. در این شکل، میزان حمایت افراد از رأی منفی با Q(-1) و از رأی مثبت با Q(1) و تغییر عقیده با ستاره مشخص شده است. برای مثال در شکل۲- الف عضو ۳۱، تا قبل از زمانی که با علامت ستاره در شکل نشان داده شده است، Q(1) از Q(-1) بزرگتر است و نمودار آبی رنگ بالاتر از نمودار قرمز رنگ قرار دارد. این یعنی عضو ۳۱ تا این زمان از رأی مثبت حمایت می‌کند. اما پس از این زمان نظر عضو ۳۱ تغییر می‌کند و نظرش منفی می‌شود. همان‌طور که می‌بینیم Q(-1) افزایش یافته و به مقدار بیشینه خود می‌رسد و فرد قویاً از رأی ۱- حمایت می‌کند. شکل۲ نشان می‌دهد که عضوهای ۱۱، ٦٤ ابتدا نظر منفی ولی بعد از یک یا چند بار تغییر نظر در پایان نظر مثبت داشته‌اند. اما اعضای ۳۱، ۳٤ با اینکه ابتدا نظر مثبت داشته‌اند ولی در پایان تغییر عقیده داده و نظر منفی به‌خود گرفته‌اند.

شکل۲ همچنین نشان می‌دهد که بیشتر تغییر عقیده افراد تا قبل $t = 4000$ صورت گرفته است و بعد از $t = 6000$ تغییر عقیده‌ای صورت نگرفته است و فقط افراد در رأی خود مصمم‌تر شده‌اند. این مطلب در شکل۱ نیز دیده می‌شود و همان‌طور که می‌بینیم شعاع دایره‌ها افزایش یافته است. برخی از افراد مانند عضو ۹٤ هم ممکن است تغییر عقیده نداده‌اند و فقط میزان حمایت آنها از یک عقیده با گذشت زمان تغییرکرده است.

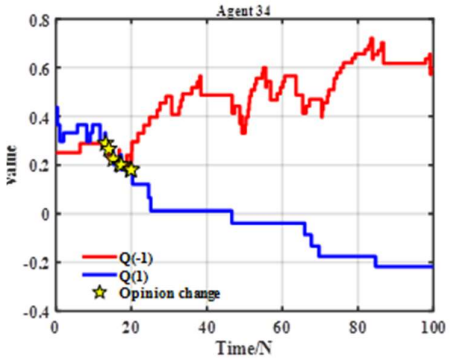
الف)



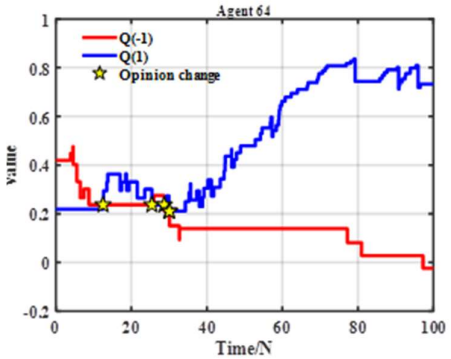
ب)



پ)

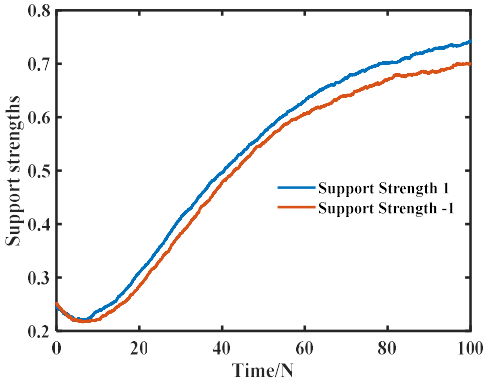


ت)

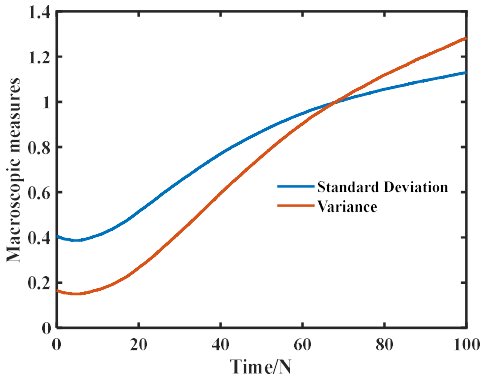


شکل۲. تحول زمانی میزان حمایت از عقیده‌های مثبت و منفی اعضای انتخابی.

در شکل۳ قدرت حمایت از دو عقیده مثبت و منفی برای یک جامعه صد عضوی با پارامترهای $\alpha = 0.05$ و $r = 0.175$ رسم شده است. قدرت حمایت، متوسط قدرمطلق حمایت هر یک از افراد جامعه آماری از عقاید مثبت و منفی است. قدرت حمایت‌گری در بازهٔ زمانی ابتدایی به‌خاطر قرار گرفتن اعضا با دو عقیده مختلف در مکان‌های تصادفی کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه ΔQ_i به‌سمت صفر میل می‌کند. با گذشت زمان قدرت حمایت‌گری افزایش پیدا می‌کند و جامعه قطبیده می‌شود. بعضی از خوشه‌ها به‌دلیل حمایت قوی‌تر از دو عقیده بعد از گذشت زمان t=4000 بوجود می‌آیند.



شکل۳. قدرت حمایت‌گری از دو عقیده

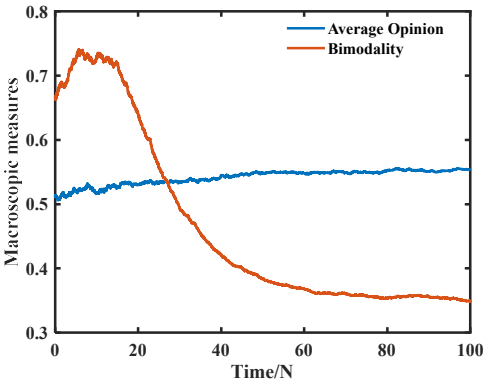


شکل٤. انحراف معیار و واریانس.

شکل٤ نمودارهای انحراف معیار و واریانس کل جامعه آماری نشان می‌دهد. در ابتدا انحراف معیار و واریانس بسیار شبیه هم رفتار می‌کنند و کاهش ابتدایی در قطبیدگی که بوسیله افزایش پیوسته یک خوشه عقیده که شکل گرفته است را نشان می‌دهد. با گذشت زمان چون جامعه دوقطبی می‌شود، انحراف معیار و واریانس افزایش پیدا می‌کند.

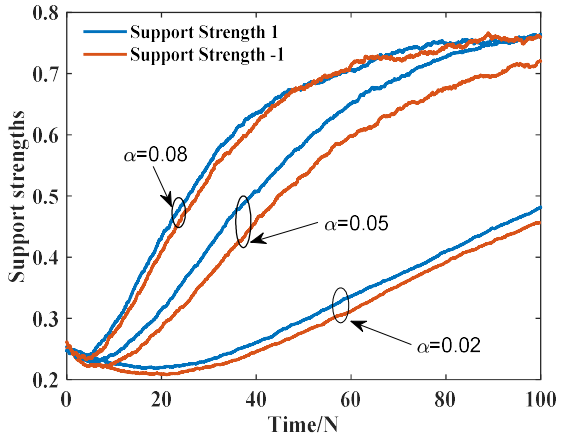
در شکل۵ میانگین نظر (نسبت تعداد افراد با رأی غالب ۱ به تعداد کل افراد) و ضریب دو مدی $b = \frac{k-1}{2}$ برحسب زمان ترسیم شده است. شکل نشان می‌دهد که در ابتدا نزدیک به نیمی از افراد رأی۱ و بقیه رأی۱- را دارند. در نهایت هم نیز نزدیک به نیمی از افراد (حدود ۵۵ درصد) رأی۱ و بقیه رأی۱- را دارند. این یعنی

میانگین نظر تغییر زیادی ندارد و فقط افراد با رأی ۱- و ۱ از یکدیگر جدا شده‌اند. افراد نزدیک به یکدیگر در اثر تعامل هم رأی شده‌اند و خوشه‌های هم نظر را بوجود می‌آورند، یعنی جامعه قطبیده می‌شود. شکل۵ همچنین نشان می‌دهد که ضریب دو مدی ابتدا افزایش یافته و به مقدار بیشینه خود می‌رسد، اما پس از مدت زمانی به سرعت کاهش می‌یابد و به کمترین مقدار خود می‌رسد که نشان از دوقطبی شدن جامعه آماری است.



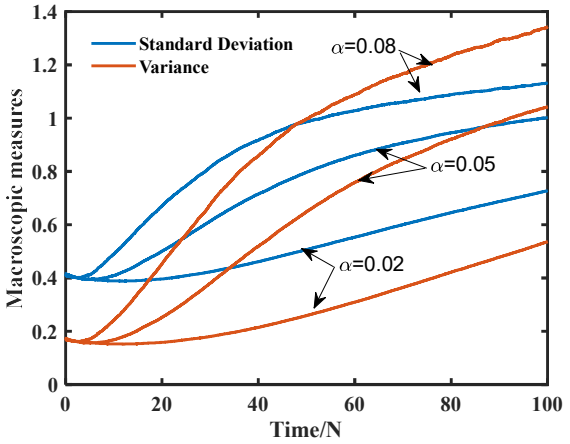
شکل. عقیده متوسط و توزیع دو مدی.

در شکل۶ قدرت حمایت‌گری جامعهٔ آماری برای مقادیر مختلف پارامتر یادگیری $\alpha = 0.02$ ، $\alpha = 0.05$ و $\alpha = 0.08$ رسم شده است. برای $\alpha = 0.02$ قدرت حمایت‌گری از همه کمتر است، با بزرگتر شدن پارامتر یادگیری وقتی اعضا با هم تبادل نظر می‌کنند و یکدیگر را هم رأی می‌کنند، قدرت حمایت‌گری افزایش پیدا می‌کند و همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در $\alpha = 0.05$ قدرت حمایت‌گری به ۰٫۷ می‌رسد. در $\alpha = 0.08$ این پارامتر سریع‌تر افزایش پیدا می‌کند و به ۰٫۷۵ می‌رسد.



شکل۶. قدرت حمایتگری برای مقادیر مختلف پارامترهای یادگیری $\alpha = 0.08, \alpha = 0.05, \alpha = 0.02$

شکل۷ انحراف معیار و واریانس برای مقادیر مختلف پارامتر یادگیری $\alpha = 0.02$ ، $\alpha = 0.05$ و $\alpha = 0.08$ رسم شده است. در $\alpha = 0.02$ انحراف معیار و واریانس کم است با افزایش α این دو پارامتر افزایش پیدا می‌کند. در $\alpha = 0.08$ انحراف معیار و واریانس به‌دلیل دوقطبی شدن جامعه افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد.



شکل۷. انحراف معیار و واریانس برای مختلف پارامتر α.

نتیجه‌گیری

در این مقاله ساز و کار جدید برای توصیف دوقطبی عقیده در پدیده‌های اجتماعی ارائه گردید. وقتی اعضای یک جامعه با هم برهم‌کنش و تبادل نظر می‌کنند، باعث تغییر عقاید افراد می‌شود. همچنین یک مدل فیزیکی برای یک گراف هندسی تصادفی از توزیع افراد جامعه در نظر گرفته شد. هنگامی که فاصله افراد از مقدار بحرانی کمتر باشد، یک شبکهٔ اجتماعی محلی را تشکیل می‌دهند که این افراد در تقابل و گفتگو با یکدیگر می‌توانند عقیده یکدیگر را عوض یا بر عقیده خود مصمم شوند.

مرجع‌ها

[1] E. Majorana, R.N. Mantegna, The Value of Statistical Laws in Physic and Social Sciences, Springer, 2006.

[2] B. K Chakrabarti, A. Chakrabarti, A Chatterjee, Tectonophysics and Sociophysics:Trends and Perspective, Wiley VCH, 2006.

[3] P. Ball, Critical Mass: How One Things Leads to Another, 2004.

[4] C. Castellano, S. Fortunato and V. Loreto, Statistical Physics of social dynamics, Rev. Mod. Phys. 8 (2009) 591-646. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.81.591.

[5] P. DiMaggio, J. Evans, B. Bryson, Have Americans social attitudes become more polarized, Am. J. Community Psychol. 102 (1996) 690-755. https://doi.org/10.1086/230995

[6] S. Banish, E. Olbrich, Opinion polarization by learning from social feed back, J.Math. Sociol. 43 (2019) 76-103. https://doi.org/10.1080/0022250X.2018.1517761

[7] J. Dall, M. Christensem, Random geometric graghs, Physical Review E. 66 (2002):016121. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.66.016121.

[8] A. Flache, M. W. Macy, Small worlds and cultural polarization, J. Math. Sociol. 35 (2011) 146-176. https://doi.org/10.1080/002250x.2010.532261.

[9] P. Dandekar, A. Goel, D.T. Lee, Biased assimilation, homophily and the dynamics of polarization, proceedings of the National Academy of Sciences. 110 (2013) 5791-5796. https://doi.org/10.1073/pnas.1217220110.

[10] N. E. Friedkin , The problem of social control and coordination of complex systems in sociology: A look at the community cleavage problem, IEEE Control Systems. 35 (2015) 40-51. https://doi.org/10.1109/MCS.2015.2406655.

[11] L. Frachebourg, P. L. Krapivsky, Exact results for kinetics of catalytic reactions, Physical Review E. 53 (1996) R3009-R3012. https://doi.org/10.1103/PhysRevE.53.R3009.

[12] J. P. Gleeso, Binary-State Dynamics on complex Networks: Pair Approximation and Beyond, Physical. Review X. 3 (2013) 021004. https://doi.org/10.1103/PhysRevX.3.021004.