

## مدل دسته‌بندی در تعامل انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی: از دیدگاه نظریه بازی تکاملی

حمیدرضا نویدی\*، مهدی قاسمی

گروه ریاضیات کاربردی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران، ایران.

### چکیده

در دنیای واقعی، مسئله انتشار چندین واگیر (به هر چیز قابل انتشار در شبکه اجتماعی گفته می‌شود، ویروس‌های کامپیوتری، اطلاعات، فیلم، ویروس سرماخوردگی و ... می‌توانند به عنوان واگیر در نظر گرفته شوند.) همزمان در یک شبکه اجتماعی دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. به دلیل تعداد زیاد واگیرهای منتشر شده همزمان در یک شبکه اجتماعی و به منظور کاهش پارامترهای مدل و هم‌چنین مقیاس پذیر شدن مسئله، در برخی از پژوهش‌های انجام شده به دسته‌بندی واگیرها پرداخته شده است و واگیرهای مختلف در دسته‌های مختلف قرار داده شده‌است. هم‌چنین تمام دسته‌ها همگن در نظر گرفته شده است که این فرض از دنیای واقعی دور است. برای رفع این مشکل، این مقاله به وزندهی گروه‌های مختلف واگیرها می‌پردازد، مسئله مذکور را به صورت یک بازی تکاملی مدل کرده و مورد بررسی قرار می‌دهد و استراتژی پویا تکاملی و استراتژی ایستا تکاملی آن را محاسبه می‌نماید. پویایی تکاملی و ایستایی تکاملی واگیرها نشان می‌دهد که آیا تاثیر یک واگیر در روند انتشار از دیدگاه کاربر در دو فاصله زمانی متوالی ترویج می‌یابد و یا سرکوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های اجتماعی، انتشار اطلاعات، نظریه بازی تکاملی، پویایی تکاملی، ایستایی تکاملی.

پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۵

اصلاح: ۱۳۹۷/۶/۲۰

دریافت: ۱۳۹۷/۳/۴

### ۱- مقدمه

مطالعات قبلی در زمینه‌ی انتشار اطلاعات، عمدتاً به دو دسته اصلی دسته‌بندی شده‌است: مدل سازی چگونگی گسترش اطلاعات و شناسایی گسترش نفوذ. با این حال، بیشتر مطالعات روی تنها یک قطعه از اطلاعات صرف‌نظر از اثرات متقابل میان گسترش همزمان چندین واگیر، تمرکز می‌کنند. پیش‌بینی اثرات متقابل میان گسترش همزمان چندین واگیر در شبکه اجتماعی و تاثیرات آن در نتایج حاصل از مشاهدات، کمک می‌کنند که آمادگی لازم برای اتفاقات پیش‌رو داشته و اقدامات لازم را انجام دهند. به عنوان مثال در گسترش بیماری همه‌گیر با مشاهده نتایج حاصل از الگوریتم می‌توان اقدامات لازم برای سرکوب این بیماری و هم‌چنین افزایش آگاهی جامعه را انجام داد و یا در موضوعی مانند انتخابات، با اطلاع نامزدها از نتایج حاصل می‌توان اقدامات لازم برای سرکوب تبلیغات نامزد حزب دیگر و ترویج تبلیغات خود باعث پیروزی در این انتخابات شد.

## ۱-۲ بیان مسأله و اهمیت آن

این مقاله اثرات متقابل میان گسترش همزمان چندین واگیر را نیز در نظر گرفته است. از آنجا که کاربران شخصی، توجه محدود دارند و بیش از حد در معرض اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی آنلاین هستند، اخبار و حوادث به طور همزمان ممکن است مجبور به رقابت برای گسترش شوند؛ علاوه بر رقابت اطلاعات برخی از آن اطلاعات با همکاری تکثیر می‌شوند. رقابت و همکاری واگیرها ممکن است تاثیر قابل توجهی در انتشار اطلاعات و در مشاهدات داشته باشد. در این مقاله، تعامل بین واگیرها از طریق نظریه بازی تکاملی مطالعه شده است.



یک واگیر توسط بعضی از گره‌ها در شبکه پست شده و سپس همسایگانش واگیردار می‌شوند. اگر یکی از همسایگان، آن واگیر را بفرستد، آلودگی رخ می‌دهد. این فرآیند شبیه یک بیماری همه گیر ادامه می‌یابد. یک چارچوب نظریه بازی تکاملی برای مدل کمی سناریوی انتشار اطلاعات در جایی که چندین واگیر در تعامل با یکدیگرند ظهور می‌یابد. با استفاده از مدل آماری، پیامد بین واگیرها را به دست می‌آورد و ماتریس پیامد را می‌سازد، سپس فرآیند انتشار اطلاعات را پیش‌بینی می‌کند. از آنجا که مقدار زیادی از اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی آنلاین است، پیامد اتصال برای هر جفت از واگیرها غیر ممکن است. برای پرداختن به این چالش، یک روش دسته‌بندی ارائه شده است. در نتیجه، تعامل‌های دسته به دسته به جای همه تعامل‌های واگیر به واگیر مدل شده است که به طور قابل توجهی تعداد پارامترها را کاهش می‌دهد.

انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی در مقاله‌های (بخشی و همکاران، ۲۰۱۱؛ گومز و همکاران، ۲۰۱۰؛ سادیکف و همکاران، ۲۰۱۱) بیان شده است. کاسلی و همکاران (۲۰۱۰)، گالوبا و همکاران (۲۰۱۰) و کلمن و همکاران (۲۰۱۱) چندین مدل ارائه کردند که فرآیند انتشار را از زوایای مختلف بررسی می‌کند. مسئله انتشار چندین واگیر در یک شبکه اجتماعی در چندین مقاله (کررو و نیومن، ۲۰۱۱؛ پاتک و همکاران، ۲۰۱۰؛ پراکاش و همکاران، ۲۰۱۲) بررسی شده است. سناریوی مورد بررسی در این پژوهش‌ها به این صورت است که واگیرها مقابل یکدیگرند، یعنی کاربر تنها می‌تواند یکی از آن‌ها را انتخاب کند. در این مقاله یک کاربر می‌تواند چندین واگیر را همزمان انتخاب کند؛ رقابت و همکاری واگیرها نیز در این مدل پوشیده شده است. مدل (ونگ و همکاران، ۲۰۱۲) مبتنی بر این است که آیا این رقابت از اطلاعات برای توجه کاربران ممکن است بر روی محبوبیت واگیرهای مختلف تاثیر بگذارد، اما این مدل، کمیتی را برای تعاملات بین آن‌ها تعیین نمی‌کند. اخیراً نظریه بازی، راهبردهایی را برای تجزیه و تحلیل انتشار واگیرها در شبکه‌های اجتماعی بکار گرفته است. (باراتی و همکاران، ۲۰۰۷) از ایده بهترین پاسخ در نظریه بازی‌ها برای به حداکثر رساندن گسترش یک قسمت از اطلاعات بر دیگری استفاده کرده‌اند. بوداک و همکاران (۲۰۱۱) یک مانع برای گسترش یک قسمت از اطلاعات (یعنی عملی برای سرکوب گسترش) در نظر گرفتند. نارایانام و ناراهاری (۲۰۱۱) با استفاده از بازی‌های مشارکتی به کشف گره با نفوذ بالا، با به حداکثر رساندن بودجه احتیاطی پرداختند. جعفری و نویدی (۲۰۱۸) یک مدل نظریه بازی جدید برای مسئله حداکثرسازی تاثیر رقابتی را در نظر گرفته‌اند؛ آن‌ها این مسئله را به عنوان یک بازی به طور همزمان بدون همکاری با اطلاعات کامل و بازیکنان منطقی مدل می‌کنند، جایی که حداقل دو بازیکن وجود دارند که قرار است خارج از شبکه باشند و سعی می‌کنند گزینه‌های خود را در شبکه اجتماعی نهادینه کنند. به این ترتیب، هدف بازیکنان این است که گسترش یک دیدگاه مورد نظر را به حداکثر برسانند نه تعداد گره‌های آلوده را حداکثر کنند. انگیزه این پژوهش، ایده موجود در (سو و همکاران، ۲۰۱۶) است که در آن به بررسی انتشار واگیرهای مختلف همزمان از دیدگاه نظریه بازی تکاملی می‌پردازند و برای کاهش پارامترهای مدل و نزدیک کردن آن به دنیای واقعی به دسته‌بندی واگیرها پرداخته‌اند. سو و همکاران (۲۰۱۶) تمام دسته‌ها را با وجود اعضای مختلف، همگن و یکسان در نظر گرفته‌اند؛ در حالی که در این مقاله به گروه‌های مختلف، وزن‌های مختلف داده شده و مسئله را به دنیای واقعی نزدیکتر کرده است، به بررسی انتشار گروه‌ها پرداخته، مسئله را به صورت یک بازی مدل‌سازی کرده و استراتژی پویا تکاملی و استراتژی ایستا تکاملی را محاسبه کرده است.

واگیرها می‌توانند به عنوان عوامل در یک جمعیت در نظر گرفته شوند. تعامل واگیرها در شبکه اجتماعی مانند عوامل در یک جمعیت در حال رقابت برای زنده ماندن هستند. اگر واگیرها در طول زمان تعامل شان را حفظ کنند، آنگاه به پویایی جمعیت خاص در زمان مداوم منجر خواهد شد. جدول ۱ مکاتبات بین یک بازی و انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی را خلاصه می‌کند.



جدول ۱- اجزا بازی تکاملی انتشار اطلاعات.

انتشار اطلاعات	نظریه بازی تکاملی
تعامل واگیرها در شبکه‌های اجتماعی	بازیکنان
دسته‌بندی تعلق واگیرها	استراتژی‌ها
تاثیر یک واگیر	سازگاری

خطوط اصلی این مدل، دو مدل انتشار را مقایسه می‌کند. یک مدل، تعامل بین واگیرها را در نظر می‌گیرد و دیگری تعامل بین واگیرها را در نظر نمی‌گیرد. شاخص مورد نظر برای تحلیل در این مقاله، شاخص کای اسکور بهنجار شده است؛ مقدار شاخص کای اسکور بهنجار شده برای برازش قابل قبول مقداری بین ۱ و ۳ است.

شبکه اجتماعی  $G = (V, E)$  جایی که  $V$  مجموعه‌ای از  $|V| = N$  گره به عنوان کاربر و  $E \subset V \times V$  یال به عنوان مجموعه‌ای از روابط بین کاربران می‌باشد. سه تایی  $(u_i, v_j, t_m)$  نشان‌دهنده کاربر  $v_j$  در حال ارسال واگیر  $u_i$  در طول فاصله زمانی  $t_m$  می‌باشد؛ همسایه‌های  $v_j$  تمایل دارند در معرض واگیر  $u_i$  در طول فاصله زمانی بعدی  $t_{m+1}$  قرار بگیرند.

اگر هر واگیر دارای استراتژی منحصر بفرد باشد تعداد استراتژی‌ها با تعداد واگیرها برابر است. سپس برای محاسبه  $P(I_n)$  نیاز است تعامل پیامدها بین هر دو واگیر در همان فاصله زمانی را برآورد کرد. اگر  $K$  تا واگیر موجود باشند آنگاه با توجه به تعاملشان با یکدیگر، پیامد  $K \times K$  خواهد شد؛ با توجه به مقدار زیاد واگیرها در شبکه‌های اجتماعی آنلاین، تعیین کمیت پیامد برای همه تعامل‌ها تقریباً غیر ممکن است. برای پرداختن به این چالش، استراتژی، یک واگیر را به عنوان دسته‌بندی تعلق واگیر تعریف می‌کند که باعث می‌شود واگیرها در  $T$  دسته، دسته‌بندی شوند و به صورت  $\{C_1, C_2, \dots, C_T\}$  علامت‌گذاری می‌گردند. هریک از  $K$  واگیر متعلق به یکی از دسته‌ها است در نتیجه تعداد پیامدها در حال حاضر به  $T \times T$  کاهش یافته است.

طراحی الگوریتم دسته‌بندی، اولین قدم تعریف شباهت واگیرها است. واگیرهای کاربران مشابه، به آلودگی ذاتی مشابه متمایل می‌باشند. با آگاهی از این شباهت، انتشار واگیرها را دسته‌بندی خواهد کرد که برای رسیدگی به مجموعه داده‌ها در مقیاس بزرگ شبکه‌های اجتماعی آنلاین، مؤثر و سریع است. در شبکه‌های اجتماعی آنلاین تعداد واگیرها بسیار بیشتر از تمام آیتم‌های تعامل برای هر جفت از آن‌ها است. از آنجا که واگیرها می‌توانند با روش دسته‌بندی پیشنهاد شده دسته‌بندی شوند، تنها تعامل‌های بین دسته‌ها و علاقه کاربر به هریک از دسته‌ها برای مدل ضروری هستند.

احتمال آلودگی به وسیله واگیر در حال بررسی از فرم دسته  $C_i$  به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$P(I_c) = \sum_{j=1}^T P(C_j) \cdot P(I_c | E_{C_j}) \cdot q_j. \quad (1)$$

جایی که  $P(C_1) + P(C_2) + \dots + P(C_T)$  و  $P(C_j)$  نشان‌دهنده نسبت تعداد واگیرهایی که متعلق به دسته  $C_j$  هستند در مقایسه با تعداد واگیرهایی که متعلق به دیگر دسته‌ها می‌باشند، هست.  $q_j$  به عنوان علاقه دسته  $j$  از دیدگاه کاربر است.  $T$  تعداد دسته‌هاست.  $P(I_{C_i} | E_{C_i})$  یعنی احتمال آلودگی برای یک واگیر از  $C_i$  زمانی که در تعامل با یک واگیر از  $C_j$  می‌باشد.

پیامدها یک ماتریس پیامد  $A$  را تشکیل می‌دهند،  $A \in R^{T \times T}$  جایی که  $T$ ، تعداد دسته‌هاست. درایه  $a_{i,j} \in A$  به عنوان  $P(I_{C_i} | E_{C_j})$  بیان می‌شود.

فرض کنید  $u_i$  متعلق به دسته  $C_i$  است، احتمال آلودگی به وسیله  $u_i$  را می‌توان به وسیله معادله (۱) بیان کرد. برای هر اتفاق در حال نمایش  $P(C_1) + P(C_2) + \dots + P(C_T)$  داریم:

$$P(I_{C_i}) = P(C_1) \cdot a_{i,1} \cdot q_1 + P(C_2) \cdot a_{i,2} \cdot q_2 + \dots + P(C_T) \cdot a_{i,T} \cdot q_T, \quad (2)$$

که از طریق مجموعه واگیرهای در حال نمایش به دست آمده است. رویکرد برای انتخاب  $\{q_1, q_2, \dots, q_T\}$  علاقه کاربر نسبت به هر دسته و برای  $\{a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,T}\}$  ساختن ارزش تابع  $P(I_{C_i})$  برای نزدیک شدن به مورد واقعی است. از برآورد کمترین مربعات برای دریافت پارامترهای بهینه‌سازی شده با محدودیتی که تمام پارامترهای آن در داخل  $(0,1)$  هستند استفاده می‌شود.

### ۳-۲ پویایی تکاملی واگیرها

در پویایی تکاملی، به جای رفتار پویای افراد، رفتار پویای جمعیت نمایش داده می‌شود. هر واگیر استراتژی  $C_i$  ( $1 \leq i \leq T$ ) دارد.  $W_i$  را به عنوان برازش یک واگیر در حال قبول کردن استراتژی  $C_i$  تعریف می‌شود.

$$W_i = 1 + P(I_{C_i}) \quad (3)$$

1 برازش خطوط اصلی و تاثیر ذاتی واگیرهای در حال نمایش و  $P(I_{C_i})$  از طریق معادله (۲) به دست می‌آید.

$\bar{W}$  به عنوان میانگین برازش همه واگیرها در نمایش رویداد به صورت زیر است:

$$\bar{W} = \sum_{i=1}^T p_i \cdot W_i. \quad (4)$$

نسبت استراتژی قبول واگیر از دسته  $C_i$  در مقایسه با تمام واگیرها در فاصله زمانی متوالی بعد از نمایش رویداد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$p'_i = \frac{p_i \cdot W_i}{\bar{W}}. \quad (5)$$

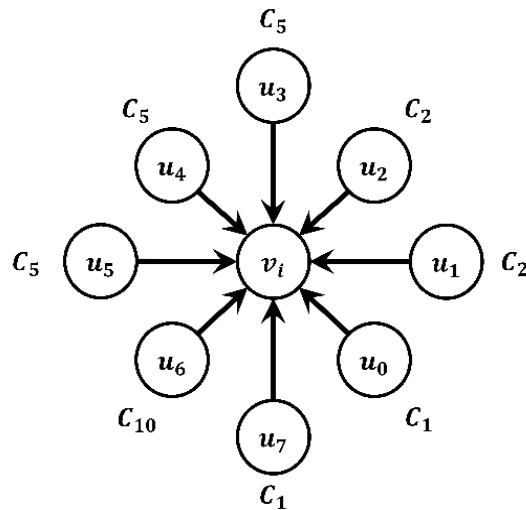
با توجه به معادلات (۳) - (۵) تاثیر واگیرهای متعلق به دسته  $C_i$  در دو فاصله زمانی متوالی به صورت زیر است:

$$\frac{dp_i}{dt} = p'_i - p_i = \frac{p_i \cdot (W_i - \bar{W})}{\bar{W}}. \quad (6)$$

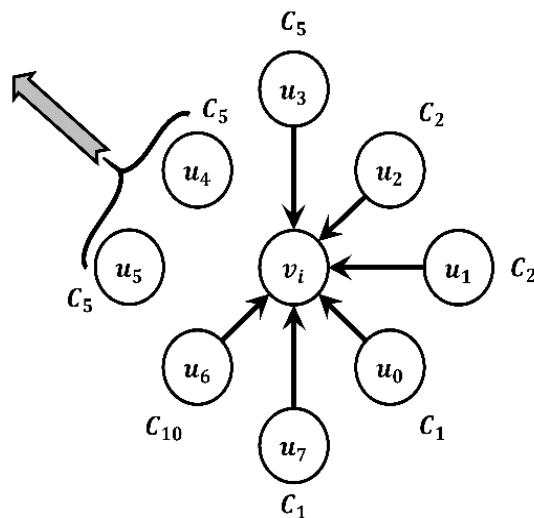
حاصل معادله (۶):

- اگر بزرگتر از 0 باشد، آنگاه نسبت تاثیر واگیرهای متعلق به دسته  $C_i$  ترویج می شود.
- اگر کوچکتر از 0 باشد، آنگاه نسبت تاثیر واگیرهای متعلق به دسته  $C_i$  سرکوب می شود.
- اگر مساوی 0 باشد، آنگاه نسبت تاثیر واگیرهای متعلق به دسته  $C_i$  بدون تغییر می باشد.

سه مثال نمایش رویداد را بیان می کند.

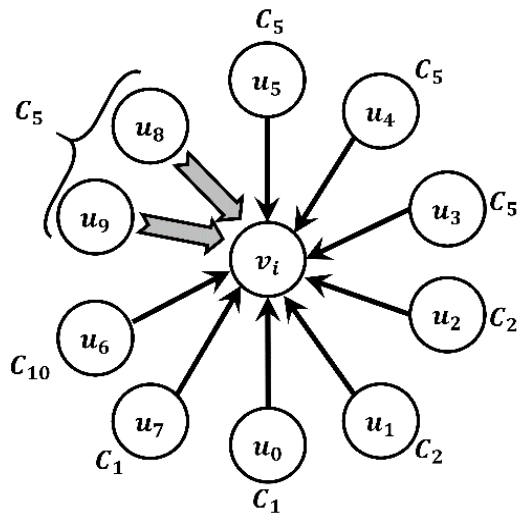


شکل ۱- کاربر  $v_i$  در معرض واگیرهای  $u_0, \dots, u_7$  قرار گرفته است.



شکل ۲- واگیرهای  $u_4, u_5$  حذف شده اند و هر دو متعلق به دسته  $C_5$  هستند.





شکل ۳- واگیرهای  $u_8, u_9$  اضافه شده اند و هر دو متعلق به دسته  $C_5$  هستند.

در شکل (۱)،  $P(I_c)$  از طریق معادله (۲) محاسبه می شود و سپس از طریق معادله (۳) برازش به دست می آید:

$$W_1 = 1.06, W_2 = 1.08, W_5 = 1.06, W_{10} = 1.03.$$

از طریق محاسبه با معادلات (۴ تا ۶) داریم:

$$\frac{dp_1}{dt} = 0.0003, \frac{dp_2}{dt} = 0.0038, \frac{dp_5}{dt} = -0.0009, \frac{dp_{10}}{dt} = -0.0033,$$

که تاثیر واگیرهای متعلق به دسته  $C_i$  را در دو فاصله زمانی متوالی شرح می دهد. نتایج نشان می دهد که واگیرهای متعلق به  $C_1, C_2$  ترویج می شوند؛ در حالی که واگیرهای متعلق به  $C_5, C_{10}$  سرکوب می شوند.

در شکل ۲، از طریق محاسبه با معادلات (۲ تا ۶) داریم:

$$\frac{dp_1}{dt} = 0.0029, \frac{dp_2}{dt} = 0.0061, \frac{dp_5}{dt} = 0.0002, \frac{dp_{10}}{dt} = -0.0092.$$

زمانی که برخی از واگیرها متعلق به یک دسته کاهش داده می شوند، تاثیر واگیرها در دو فاصله زمانی متوالی تغییر کرده است. واگیرهای متعلق به  $C_5$  با کاهش تعدادشان ترویج داده شدند.

در شکل ۳، از طریق محاسبه با معادلات (۲ تا ۶) به دست می آوریم:

$$\frac{dp_1}{dt} = 0.0029, \frac{dp_2}{dt} = 0.0061, \frac{dp_5}{dt} = 0.0002, \frac{dp_{10}}{dt} = -0.0092.$$

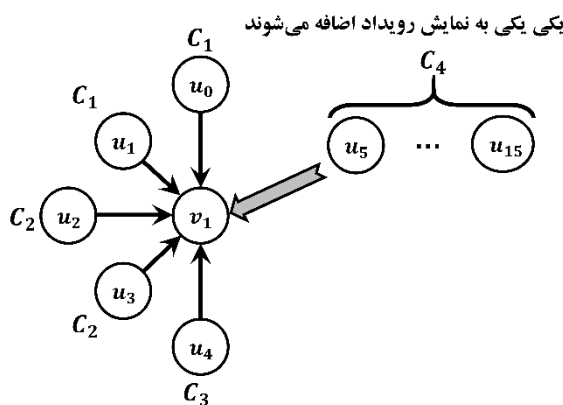
واگیرهای متعلق به  $C_5$  با افزایش تعدادشان سرکوب شدند.

در اینجا دو مثال نمایش رویداد برای نشان دادن تاثیر تعداد واگیر در بویایی تکاملی دسته ها بیان می شود.

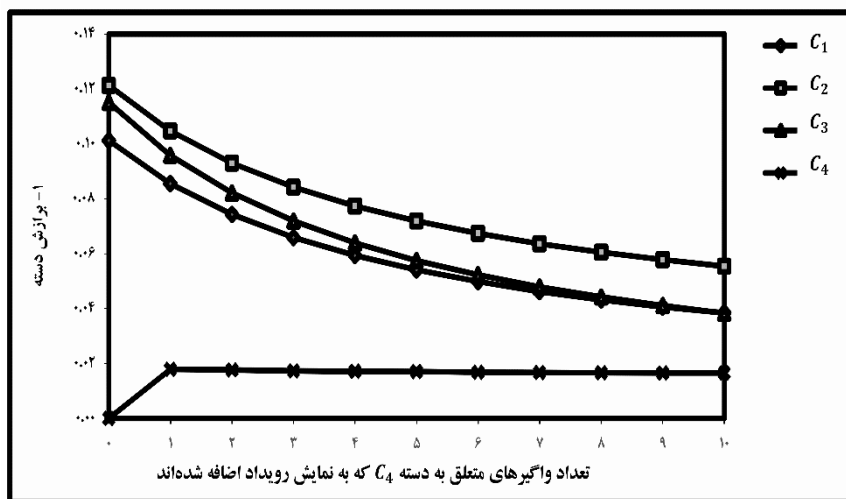
در شکل ۴، واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  یک به یک اضافه شده‌اند، چگونگی تغییر برازش و پویایی تکاملی دسته‌های متفاوت در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. برازش واگیرهای متعلق به دسته‌های  $C_1, C_2, C_3$  کاهش می‌یابد در حالی که برازش واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  افزایش می‌یابد.

طبق پویایی واگیرها، واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  ابتدا سرکوب و سپس ترویج شدند و واگیرهای متعلق به دسته‌های  $C_1, C_2, C_3$  ابتدا ترویج و سپس سرکوب شدند.

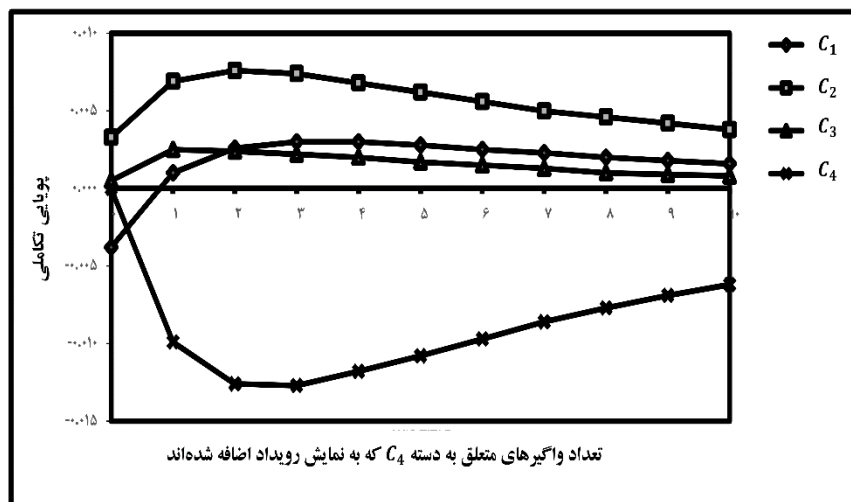
تعداد واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$



شکل ۴- کاربر  $v_1$  در معرض واگیرهای  $u_0, \dots, u_4$  قرار گرفته است.



شکل ۵- تغییرات برازش دسته‌ها زمانی که واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  به تدریج اضافه می‌شوند.

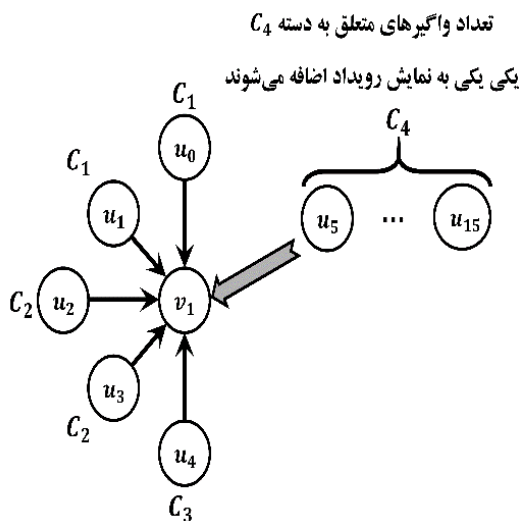


شکل ۶- تغییرات پویایی تکاملی دسته‌ها زمانی که واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  به تدریج اضافه می‌شوند.

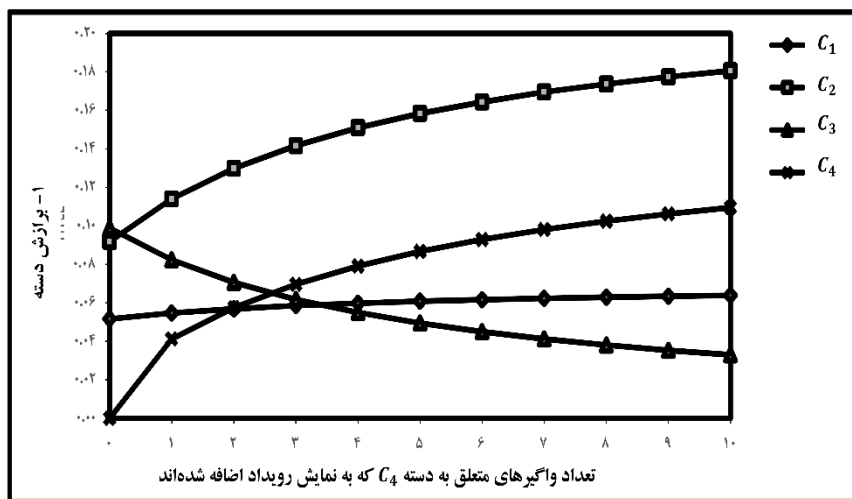


در شکل ۷، واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  یک به یک اضافه شده‌اند، چگونگی تغییر برازش و پویایی تکاملی دسته‌های متفاوت در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. برازش واگیرهای متعلق به دسته  $C_3$  کاهش می‌یابد در حالی که برازش واگیرهای متعلق به دسته‌های  $C_1, C_2, C_4$  افزایش می‌یابد.

طبق پویایی واگیرها، واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  ابتدا سرکوب و سپس ترویج شدند و واگیرهای متعلق به دسته‌های  $C_1, C_2$  ابتدا ترویج و سپس سرکوب شدند؛ واگیرهای متعلق به دسته  $C_3$  از ابتدا سرکوب می‌شوند.



شکل ۷- کاربر  $v_1$  در معرض واگیرهای  $u_0, \dots, u_4$  قرار گرفته است.



شکل ۸- تغییرات برازش دسته‌ها زمانی که واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  به تدریج اضافه می‌شوند.





شکل ۹- تغییرات پویایی تکاملی دسته‌ها زمانی که واگیرهای متعلق به دسته  $C_4$  به تدریج اضافه می‌شوند.

مدل دسته‌بندی در تعامل انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی: از دیدگاه نظریه بازی تکاملی

$$a_{i,i} < a_{j,i} \tag{۷}$$

$$a_{i,j} = a_{j,i}, a_{i,j} > a_{j,j} \tag{۸}$$

این پدیده نشان می‌دهد که نه تنها استراتژی، بلکه تعداد واگیرهای یک دسته می‌تواند پویایی تکاملی دیگر دسته‌ها را تحت تاثیر خود قرار دهند؛ به علاوه اینکه آیا یک دسته ترویج یا سرکوب شده می‌تواند با توجه به مدل نظریه بازی تکاملی ارایه شده پیش‌بینی شود؟ همیشه، اضافه کردن برخی از واگیرهای متعلق به بعضی دسته‌ها تبلیغات خود را ترویج نمی‌دهد، این امر می‌تواند در استراتژی تبلیغات دنیای واقعی الهام بخش باشد.

#### ۲-۴ استراتژی ایستا واگیرها

برای برخی از اعداد مثبت خیلی کوچک  $x$ ، اگر  $x$  بخشی از واگیرهای متعلق به دسته  $j$  و  $(1-x)$  بخشی از واگیرهای متعلق به دسته  $i$  باشد (نویدی و همکاران، ۱۳۹۰)، دسته  $C_i$  ایستا تکاملی در ماتریس پیامد می‌باشد.

اگر  $x \ll 1$  باشد، برای هر  $j \neq i$  می‌توان بیان کرد:

هر ماتریس پیامد نشان می‌دهد که برای هر دسته  $C_i$ ،  $a_{i,i} < a_{j,i} (j \neq i)$  همیشه می‌تواند یافت شود؛ به عنوان مثال همیشه برخی از واگیرها وجود دارند که می‌تواند انتشار هر واگیر در حال بررسی را سرکوب کند. این نتیجه‌گیری یک پیش در انتشار واگیرها درست می‌کند، سپس روی تاثیر هر جفت از دسته‌ها متمرکز خواهد شد و آن را به عنوان یک بازی دونفره در نظر خواهد گرفت. زیرماتریس پیامد برای یک بازی دونفره معمولی، بخشی از ماتریس پیامد کلی می‌باشد؛ برای مثال یک زیرماتریس از واگیرهای  $C_1$  در تعامل با واگیرهای  $C_2$  به صورت زیر است:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 \\ C_1 & (0.38 & 0.30) \\ C_2 & (0.07 & 0.11) \end{matrix}$$

در این صورت به دلیل اینکه  $a_{1,1} > a_{1,2}$ ، واگیرها از  $C_1$  راحت‌تر توجه را به خود جلب می‌کنند و در نتیجه انتشار واگیرها از  $C_2$  را سرکوب می‌کنند؛ در حالی که برای واگیرهای متعلق به  $C_2$ ، سرکوب انتشار واگیرهای  $C_1$  مشکل است به دلیل اینکه

$$a_{2,2} < a_{1,2}$$



در این قسمت، شرح مختصری از کارهای انجام شده در مدل فرابورس ایران بیان می‌شود.

هدف: تعیین میزان تاثیر صنایع مختلف (برای سرمایه‌گذاری) روی سرمایه‌گذار در دو فاصله زمانی متوالی.

شبکه اجتماعی: بازارهای فرابورس ایران.

مجموعه بازیکنان: شرکت‌های فعال در بازارهای فرابورس ایران.

استراتژی: هرکدام از شرکت‌ها در کدام صنایع قرار گرفته‌اند. (فقط ۹ صنعت اساسی در نظر گرفته می‌شود).

واگیرها: شرکت‌های فعال در صنایع فرابورس ایران.

دسته‌ها: صنایع فعال در فرابورس ایران.

$C_1$ : محصولات شیمیایی.

$C_2$ : اوراق تامین مالی.

$C_3$ : فلزات اساسی.

$C_4$ : بانک‌ها و موسسات اعتباری.

$C_5$ : فرآورده‌های نفتی، کک و سوخت هسته‌ای.

$C_6$ : عرضه برق، گاز، بخار و آب گرم.

$C_7$ : سرمایه‌گذاری‌ها.

$C_8$ : بیمه و صندوق بازنشستگی به جز تامین اجتماعی.

$C_9$ : سایر صنایع.

کاربر: سرمایه‌گذار  $v$ .

معرفی و تفسیر معادلات: ماتریس پیامد با استفاده از بازارهای موجود در فرابورس طبق <https://www.ifb.ir/Default.aspx> به دست آمده است.

احتمال نفوذ شرکت متعلق به صنعت  $C_i$  در سرمایه‌گذاری توسط سرمایه‌گذار  $v$ :

$$P(I_c) = \sum_{j=1}^T P(C_j) \cdot P(I_c | E_{C_j}) \cdot q_j.$$

$P(C_j)$  نشان‌دهنده نسبت تعداد شرکت‌هایی که به صنعت  $C_j$  متعلق هستند در مقایسه با تمام شرکت‌هایی که در فرابورس فعال می‌باشند، هست.  $T$  تعداد صنایع و  $P(C_1) + P(C_2) + \dots + P(C_T) = 1$  می‌باشد. یعنی احتمال نفوذ



شرکت متعلق به صنعت  $C_i$  روی سرمایه‌گذاری به وسیله سرمایه‌گذار  $v$  زمانی که در تعامل با شرکت متعلق به صنعت  $C_j$  تعامل به عنوان بازارهای فرابورس در نظر گرفته می‌شود، می‌باشد.  $q_i$  میزان علاقه سرمایه‌گذار به صنعت  $C_j$  می‌باشد.

برازندگی یک شرکت در حال قبول کردن صنعت  $C_i$ :

$$W_i = 1 + P(I_{C_i}).$$

میانگین برازندگی همه شرکت‌ها:

$$\bar{W} = \sum_{i=1}^F p_i \cdot W_i.$$

تاثیر شرکت‌های متعلق به صنعت  $C_i$  روی علاقه شرکت در دو فاصله زمانی متوالی:

$$\frac{dp_i}{dt} = p_i' - p_i = \frac{p_i \cdot (W_i - \bar{W})}{\bar{W}}.$$

اگر معادله بالا بزرگتر از 0 باشد، ترویج و اگر کوچکتر از 0 باشد، سرکوب می‌شود.

نکته: هنگامی که تاثیر سرمایه‌گذاری در یک صنعت سودآور باشد تاثیر آن صنعت برای سرمایه‌گذاری در نظر سرمایه‌گذار ترویج داده می‌شود؛ بنابراین در این مدل به جای واژه‌های ترویج و سرکوب از واژه‌های سود و زیان استفاده می‌کنیم.

در این بخش، فعالیت ۶ شرکت بر اساس ۵ دوره ماهانه (بهمن و اسفند سال ۱۳۹۵، فروردین و اردیبهشت و خرداد سال ۱۳۹۶) به صورت مجزا و با استفاده از داده‌های ارایه شده ماهانه این شرکت‌ها پیش‌بینی و با داده‌های دنیای واقعی مقایسه می‌شود.

میانگین میزان پیش‌بینی صحیح الگوریتم ۴۲/۹۳ درصد می‌باشد. برخی از این شرکت‌ها را به عنوان نمونه آورده‌ایم.

#### شرکت سرمایه‌گذاری تکادو

میزان علاقه‌مندی شرکت به سرمایه‌گذاری در صنعت  $C_9$ ، ۱۰۰ درصد است.

$$q_i = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1).$$

احتمال علاقه شرکت به سرمایه‌گذاری در صنعت  $C_i$ :

$$P(I_{C_i}) = (0.62, 2.552, 0.727, 2.286, 0.819, 2.286, 0.727, 0.727, 0.565).$$

برازندگی یک شرکت در حال قبول کردن صنعت  $C_i$ :

$$W_i = (1.62, 3.552, 1.727, 3.286, 1.819, 3.286, 1.727, 1.727, 1.565).$$

میانگین برازندگی همه شرکت‌ها:

$$\bar{W} = 1.952.$$

تاثیر شرکت‌های متعلق به صنعت  $C_i$  روی علاقه شرکت در دو فاصله زمانی متوالی:



$$\frac{dp_i}{dt} = (-0.005, 0.131, -0.005, 0.03, -0.001, 0.008, -0.006, -0.005, -0.112).$$

سرمایه‌گذاری در شرکت‌های متعلق به دسته‌های  $C_1, C_3, C_5, C_7, C_8, C_9$  منجر به زیان و سرمایه‌گذاری در شرکت‌های متعلق به دسته‌های  $C_2, C_4, C_6$  منجر به سود می‌شود.

مقایسه با نتایج واقعی: شرکت سرمایه‌گذاری تکادو در هیچ‌کدام از دسته‌ها سرمایه‌گذاری نکرده است. اما مطابق شاخص بازار در این دوره از گزارش سرمایه‌گذاری در شرکت‌های متعلق به دسته‌های  $C_1, C_2, C_4, C_6, C_7, C_8$  منجر به زیان و شرکت‌های متعلق به دسته‌های  $C_3, C_5, C_9$  منجر به سود می‌شوند. میزان پیش‌بینی صحیح الگوریتم ۳۳ درصد می‌باشد.

#### شرکت سرمایه‌گذاری تکادو

میزان علاقه‌مندی به صنعت  $C_9$ ، ۱۰۰ درصد است.

$$\frac{dp_i}{dt} = (-0.005, 0.131, -0.005, 0.03, -0.001, 0.008, -0.006, -0.005, -0.112).$$

سرمایه‌گذاری در  $C_1, C_3, C_5, C_7, C_8, C_9$  منجر به زیان و  $C_2, C_4, C_6$  منجر به سود می‌شود.

مقایسه با نتایج واقعی: شرکت با سرمایه‌گذاری در دسته  $C_9$ ، مبلغ ۱۰۰ میلیون ریال سود کرده است. اما مطابق شاخص بازار سرمایه‌گذاری در شرکت‌های متعلق به دسته‌های  $C_2, C_4, C_6$  منجر به سود می‌شود. میزان پیش‌بینی صحیح الگوریتم ۷۵ درصد می‌باشد.

#### شرکت سرمایه‌گذاری تدبیرگران فارس و خوزستان

میزان علاقه‌مندی به صنعت  $C_1$ ، ۲۱٪، صنعت  $C_3$ ، ۱٪، صنعت  $C_7$ ، ۵٪ و صنعت  $C_9$ ، ۷۳٪ است.

$$\frac{dp_i}{dt} = (-0.005, 0.121, -0.004, 0.025, -0.001, 0.006, -0.005, -0.005, -0.097).$$

سرمایه‌گذاری در  $C_1, C_3, C_5, C_7, C_8, C_9$  منجر به زیان و  $C_2, C_4, C_6$  منجر به سود می‌شود.

مقایسه با نتایج واقعی: شرکت با سرمایه‌گذاری در دسته  $C_1$ ، زیان،  $C_3$ ، زیان،  $C_7$ ، سود و  $C_9$  زیان کرده است. مطابق شاخص بازار، دسته‌های  $C_2, C_4, C_6$  منجر به سود می‌شوند. میزان پیش‌بینی صحیح الگوریتم ۸۶ درصد می‌باشد.

#### شرکت سرمایه‌گذاری توسعه گوهران امید:

میزان علاقه‌مندی به صنعت  $C_1$ ، ۳۰٪، صنعت  $C_2$ ، ۶٪، صنعت  $C_3$ ، ۳٪، صنعت  $C_5$ ، ۱٪، صنعت  $C_6$ ، ۶٪ و صنعت  $C_9$ ، ۵۴٪ است.

$$\frac{dp_i}{dt} = (-0.004, 0.11, -0.004, 0.021, -0.001, 0.005, -0.005, -0.004, -0.083).$$

سرمایه‌گذاری در  $C_1, C_3, C_5, C_7, C_8, C_9$  منجر به زیان و  $C_2, C_4, C_6$  منجر به سود می‌شود.

مقایسه با نتایج واقعی: شرکت با سرمایه‌گذاری در دسته  $C_1$ ، زیان،  $C_2$ ، سود،  $C_3$ ، زیان،  $C_4$ ، سود،  $C_5$ ، زیان،  $C_6$ ، سود،  $C_7$ ، زیان،  $C_8$ ، زیان،  $C_9$ ، زیان کرده است. مطابق شاخص بازار، دسته‌های  $C_4$  منجر به زیان و  $C_6$  منجر به سود می‌شوند. میزان پیش‌بینی صحیح الگوریتم ۷۵ درصد می‌باشد.

### ۳- نتیجه‌گیری

در اکثر پژوهش‌های قبلی، فرض گردید انتشار اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی، واگیرها به طور مستقل و بدون در نظر گرفتن تعامل بین واگیرها به طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند؛ واگیرها در دنیای واقعی ممکن است همکاری یا رقابت برای انتشار داشته باشند. رویکرد این مقاله تعیین کمیت برای چگونگی تعامل آبخارهای مختلف واگیرها با یکدیگر و سپس احتمال نفوذ براساس چنین تعاملاتی را به دست آورد. در مقایسه با فنون قبلی، پیشنهاد ارائه شده توانست به درک فرآیند انتشار اطلاعات در زمینه تعامل چندین واگیر کمک کند. آزمایش بر روی مجموعه داده‌های دنیای واقعی انجام شد و نتایج اثر بخشی چارچوب ارائه شده را نشان داد. نتایج هزینه و زمان اجرا نشان داد که رویکردی کارآمد و در نتیجه علمی است. تجزیه و تحلیل بیشتر در مورد درایه‌های ماتریس پیامد، تعامل بین واگیرها را معتبر می‌کند و بحث روی پویایی تکاملی واگیرها (تأثیر نفوذ واگیرها در دو فاصله زمانی متوالی) و ایستایی تکاملی مشخص می‌کند که آیا یک واگیر می‌تواند توسط دیگر واگیرها در فرآیند انتشار ترویج یا سرکوب شده باشد، مشروط بر اینکه اقدام‌هایی برای تحت فشار قرار دادن آبخاریک واگیر خاص انجام گیرد. توجه داشته باشید که روش‌های دیگر دسته‌بندی، می‌تواند در این چارچوب اعمال شود. کار پیشنهادی که می‌تواند در ادامه این روش باشد این است که یک تیم تحقیقاتی شامل تحلیلگر سیاسی، تحلیلگر اقتصادی و ... برای پیش‌بینی عوامل موثر در قیمت سهام و اعمال آن در الگوریتم ارائه شده در نظر گرفته شود که باعث می‌شود مدل به واقعیت نزدیکتر شود.

### منابع

- نویدی، ح؛ کتابچی، س؛ مسی بیدگلی، م. (۱۳۹۰). *مدخلی بر نظریه بازی‌ها*. چاپ اول، دانشگاه شاهد، تهران.  
فرابورس ایران. (۱۳۹۷). دریافت از <http://www.ifb.ir/Default.aspx>
- Bakshy, E., Hofman, J. M., Mason, W. A., & Watts, D. J. (2011, February). Everyone's an influencer: quantifying influence on twitter. *Proceedings of the fourth ACM international conference on web search and data mining* (pp. 65-74). ACM.
- Bharathi, S., Kempe, D., & Salek, M. (2007, December). Competitive influence maximization in social networks. *International workshop on web and internet economics* (pp. 306-311). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Budak, C., Agrawal, D., & El Abbadi, A. (2011, March). Limiting the spread of misinformation in social networks. *Proceedings of the 20th international conference on world wide web* (pp. 665-674). ACM.
- Cosley, D., Huttenlocher, D. P., Kleinberg, J. M., Lan, X., & Suri, S. (2010). Sequential Influence Models in Social Networks. *ICWSM, 10*, 26.
- Galuba, W., Aberer, K., Chakraborty, D., Despotovic, Z., & Kellerer, W. (2010). Outtweeting the twitterers-predicting information cascades in microblogs. *WOSN, 10*, 3-11.
- Gomez Rodriguez, M., Leskovec, J., & Krause, A. (2010). Inferring networks of diffusion and influence. *Proceedings of the 16th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 1019-1028). ACM.
- Jafari, S., & Navidi, H. (2018). A game-theoretic approach for modeling competitive diffusion over social networks. *Games, 9*(1), 8.
- Karrer, B., & Newman, M. E. (2011). Competing epidemics on complex networks. *Physical review E, 84*(3), 036106.
- Kuhlman, C. J., Kumar, V. A., Marathe, M. V., Swarup, S., Tuli, G., Ravi, S. S., & Rosenkrantz, D. J. (2011). Inhibiting the diffusion of contagions in Bi-Threshold systems: analytical and experimental results. *AAAI fall symposium: complex adaptive systems*. Arlington, Virginia, USA.
- Narayanam, R., & Narahari, Y. (2011). A shapley value-based approach to discover influential nodes in social networks. *IEEE transactions on automation science and engineering, 8*(1), 130-147.
- Pathak, N., Banerjee, A., & Srivastava, J. (2010, December). A generalized linear threshold model for multiple cascades. *2010 IEEE 10th international conference on Data Mining (ICDM)* (pp. 965-970). IEEE.
- Prakash, B. A., Beutel, A., Rosenfeld, R., & Faloutsos, C. (2012, April). Winner takes all: competing viruses or ideas on fair-play networks. *Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web* (pp. 1037-1046). ACM.
- Sadikov, E., Medina, M., Leskovec, J., & Garcia-Molina, H. (2011). Correcting for missing data in information cascades. *Proceedings of the fourth ACM international conference on web search and data mining* (pp. 55-64). ACM.
- Su, Y., Zhang, X., Liu, L., Song, S., & Fang, B. (2016). Understanding information interactions in diffusion: an evolutionary game-theoretic perspective. *Frontiers of computer science, 10*(3), 518-531.
- Weng, L., Flammini, A., Vespignani, A., & Menczer, F. (2012). Competition among memes in a world with limited attention. *Scientific reports, 2*, 335.

