



Improving Fairness of Influence Maximization in Social Networks Using Grey Wolf Optimizer

Behnam Razzaghi¹, Mehdy Roayaei Ardakany^{2*}

¹ Master Student of Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
behnam.razaghi@modares.ac.ir

² Assistant professor of Computer Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
mroayaei@modares.ac.ir

Abstract

Influence Maximization is one of the most popular problems in social networks, which has many applications in real-world networks. Influence maximization is the problem of finding a small subset of nodes (seed nodes) in a social network that could maximize the spread of influence. However, fairness has not been considered widely in this domain. An important question is whether the benefits of such information propagation in a social network is fairly distributed across different groups in the population. Thus, single-objective influence maximization problem turns to the multi-objective problem, in which both the spread of influence and fairness must be considered. In this paper, we first introduce the measure we use for measuring fairness in influence maximization. Then, we propose an algorithmic framework, based on multi-objective grey-wolf optimizer, for multi-objective optimization of combinatorial problem, and use it to solve the explained problem. Finally, we compare our results on real-world datasets with some greedy algorithm to show the effectiveness of the proposed method. The results show that our algorithm improves both influence and fairness in the network.

Keywords: Influence Maximization, Fairness, Multi-Objective Optimization, Grey Wolf Optimizer



بهبود عدالت در بیشینه سازی تاثیر در شبکه های اجتماعی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گرگ خاکستری

بهنام رزاقی^۱، مهدی رعایائی اردکانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،
behnam.razaghi@modares.ac.ir

^۲ استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،
mroayaei@modares.ac.ir

چکیده

بیشینه سازی تاثیر یکی از مسائل پرکاربرد در حوزه انتشار اطلاعات در شبکه های اجتماعی برخط و برون خط است که دارای کاربردهای متعددی در شبکه ها است. هدف از بیشینه سازی تاثیر، انتخاب یک گروه کوچک از افراد در اجتماع است به طوری که با انتخاب این کاربران، انتشار و گسترش تاثیر در مسئله مورد نظر (مانند خبر، توصیه و ..) را در کل آن جامعه بیشینه سازد. اما مفهومی که در رابطه با این مسئله کمتر مورد توجه قرار گرفته، بحث عدالت در انتشار اطلاعات است. یک شبکه اجتماعی از گروه های مختلفی از افراد تشکیل شده است. عدالت در انتشار اطلاعات بدین معنی است که درصد افرادی که در هر گروه اطلاعات را دریافت می کنند از یک آستانه کمتر نباشد. بنابراین مسئله تک هدفه بیشینه سازی تاثیر تبدیل به مسئله چندهدفه ای می شود که هدف در آن، علاوه بر گسترش تاثیر، رعایت عدالت می باشد. در این مقاله، ابتدا معیار استفاده شده برای اندازه گیری عدالت را معرفی می کنیم. سپس چارچوبی الگوریتمی برای بهینه سازی چند هدفه مسائل ترکیبیاتی مبتنی بر بهینه ساز چند هدفه گرگ خاکستری ارائه داده و از آن برای حل مسئله مطرح شده بهره می گیریم. در نهایت، برای نشان دادن کارایی الگوریتم ارائه شده، نتایج به دست آمده را بر روی مجموعه داده های واقعی با یک الگوریتم حریصانه مقایسه می کنیم. این مقایسه نشان می دهد الگوریتم ما همزمان میزان تاثیر و عدالت را در شبکه افزایش می دهد.

کلمات کلیدی

بیشینه سازی تاثیر، عدالت، بهینه سازی چند هدفه، بهینه ساز گرگ خاکستری

۱- مقدمه

امکان پذیر نیست. بنابراین هدف قرار دادن افراد کلیدی و اصلی جامعه که اطلاعات حیاتی را به دیگران منتقل می کنند، مهم است. به طور رسمی، اگر یک شبکه اجتماعی را با گراف G مدل کنیم هر فرد، به صورت یک گره و ارتباط بین دو فرد، به صورتی یالی از آن گراف نشان داده می شود. بنابراین شبکه اجتماعی را با گراف $G(V, E)$ نمایش می دهیم که در آن V مجموعه افراد و E مجموعه ارتباطات بین آن ها را بیان می کند [۶]. حال برای مسئله بیشینه سازی تاثیر باید در ابتدا از بین تمامی گره های شبکه تعداد k گره اولیه (بذر) انتخاب و یا به اصطلاح کاشت شود. در ابتدا فقط گره های عضو بذر فعال هستند. سپس در هر مرحله، گره های فعال در انتهای مرحله قبل، می توانند گره های همسایه خود را با احتمال مشخصی فعال کنند. این فرآیند تا

بیشینه سازی تاثیر^۱ در شبکه های اجتماعی مسئله ای است که بسیار مورد مطالعه قرار گرفته شده و دارای کاربردهای وسیعی در دامنه های مختلف است، از جمله بازاریابی مویرگی [۱]، کنترل و گسترش شایعه در جامعه [۲]، توصیه های اجتماعی [۳]، اپیدمی های گیاهان [۴] و جستجوی خبره [۵]. به طور مثال، برنامه های توسعه ای سعی می کنند تا آنجا که ممکن است به افراد اطلاعات مفیدی ارائه دهند (برای نمونه، ایمنی در مورد HIV یا خدمات درمانی در دسترس). از آنجا که منابع (به عنوان مثال، مددکاران اجتماعی) محدود هستند، دسترسی به هر فرد در معرض خطر بصورت شخصی



وجود دارد که معروفترین آنها معیارهای مرکزیت گره^۴ و حفره‌های ساختاری است.

معیارهای مرکزیت به دو دسته معیارهای محلی و معیارهای سراسری تقسیم می‌شوند. معیارهای محلی، معیارهایی هستند که تنها به ساختار شبکه در همسایگی یک گره مربوط می‌شوند. معیارهای سراسری معیارهایی هستند که به ساختار کلی شبکه وابسته اند. پنج معیار برای مرکزیت که به طور گسترده‌ای در تجزیه و تحلیل شبکه‌های اجتماعی استفاده می‌شوند، عبارتند از: مرکزیت درجه^۵، مرکزیت بینابینی^۶، مرکزیت نزدیکی^۷، مرکزیت بردار ویژه^۸ و رتبه صفحه^۹ [۱۸، ۱۹].

مرکزیت درجه به تعداد لینک‌هایی که روی یک گره حادث می‌شود، گفته می‌شود. مرکزیت بینابینی تعداد بارهایی که یک گره به عنوان پل در طول کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره دیگر عمل می‌کند، تعریف می‌شود. مرکزیت نزدیکی یک گره میانگین طول کوتاه‌ترین مسیر بین گره و تمام گره‌های دیگر در شبکه است. مرکزیت بردار ویژه میزان تأثیر یک گره در شبکه را بیان می‌کند. رتبه صفحه با شمارش تعداد و کیفیت لینک‌ها به یک صفحه برای تعیین تخمین تقریبی از اهمیت وب سایت کار می‌کند. در جدول (۱) بطور خلاصه روابط محاسبه این معیارها بیان شده است.

عدم وجود رابطه بین دو بخش از شبکه اجتماعی را حفره‌های ساختاری می‌نامند. دو بخش فقط با اتصال به شخص سوم می‌تواند ارتباطات غیرمستقیم برقرار کنند. در این حالت بین این دو قسمت از نظر ساختار، حفره‌ای وجود دارد که به آن حفره ساختاری گفته می‌شود [۲۰]. الگوریتم‌های بیشینه‌سازی تأثیر سنتی به دلیل تأثیر یا احتمال انتشار کم، این گره‌ها را به عنوان گره‌های بذر انتخاب نمی‌کنند. در حالیکه طبق تعریف، این گره‌ها، نقش بسزایی در ارتباط بین گروه‌ها و بخش‌های جدا از هم در کلیت شبکه دارند.

جدول (۱). معیارهای مرکزیت گره

نام معیار	فرمول	توضیحات
مرکزیت درجه	$C_D(G) = \frac{\sum_i^{ V } [C_D(v^*) - C_D(v_i)]}{(V - 1)(V - 2)}$	v^* گره با بالاترین درجه
مرکزیت نزدیکی	$C_C(i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n d(i, j)}$	$d(i, j)$ فاصله بین گره i و j
مرکزیت بینابینی	$C_B(i) = \frac{\sum_{j \neq i} g_{jl}(i)}{g_{il}}$	$g_{jl}(i)$ جمع تعداد مسیرهای کوتاه از j به i که از i می‌گذرد
مرکزیت بردار ویژه	$x_v = \frac{1}{\lambda} \sum_{t \in G} a_{v,t} x_t$	$a_{v,t}$ عنصر ماتریس مجاورت. λ عدد ثابت
مرکزیت رتبه صفحه	$PR(u) = \sum_{v \in B_u} \frac{PR(v)}{L(v)}$	$L(v)$ تعداد همسایه‌های گره v

زمانی که گره دیگری در شبکه وجود نداشته باشد که بتوان آن را فعال کرد، ادامه خواهد داشت [۷]. هدف مسئله بیشینه‌سازی تأثیر، شناسایی k بذر به گونه‌ای است که حداکثر تعداد گره‌ها در انتهای فرآیند فعال شوند.

۲- کارهای گذشته

برای مسئله بیشینه‌سازی تأثیر مقالات و پژوهش‌های بسیاری نوشته شده است. Kempe و همکاران اولین تعریف رسمی از یافتن گره‌های تأثیرگذار به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی گسسته و ایجاد یک الگوریتم حریصانه صخره نوردی با ضمانت تقریب $1 - \frac{1}{e}$ ، ارائه دادند [۸]. پس از این، بسیاری از محققان در حال کار بر روی طراحی الگوریتم‌های کارآمد برای مشکل بیشینه‌سازی تأثیر بوده‌اند که منجر به معرفی تعداد زیادی روش‌های مختلف برای حل این مسئله شد [۹-۱۱].

چندین الگوریتم فرامکاشفه‌ای و بهینه‌سازی نیز برای مسئله بیشینه‌سازی تأثیر به کار گرفته شده‌اند، از الگوریتم شبیه‌سازی ذوب فلزات [۱۲] تا الگوریتم ژنتیک [۱۳]. در [۱۴]، یک الگوریتم تکاملی چند هدفه [۱۵] برای بیشینه‌سازی تأثیر، جایی که دو هدف (الف) به حداکثر رساندن تأثیر یک مجموعه بذر و (ب) به حداقل رساندن تعداد گره‌های موجود در بذر مطرح شد، پیشنهاد شد.

در رابطه با رعایت مفهوم عدالت در بیشینه‌سازی تأثیر مقالات و پژوهش‌های کمتری در سال‌های اخیر وجود دارد که به عنوان مثال میتوان به مقاله‌ای که توسط وایلدور و همکاران از دانشگاه کالیفرنیا شمالی مطرح شده است اشاره کرد [۱۶]. در این مقاله بر اساس دو معیار از معیارهای عدالت در استفاده از منابع در شبکه‌های اجتماعی با نام *Maximin* و گوناگونی^{۱۷}، عدالت را در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر در شبکه رعایت کردند. همچنین مقاله‌ای که مفهوم عدالت را در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر با اهمیت زمان بحرانی در شبکه‌های اجتماعی تعریف و بررسی می‌کند [۱۷]، از جمله این پژوهش‌ها در زمینه رعایت مفهوم عدالت در بیشینه‌سازی تأثیر در شبکه‌های اجتماعی است.

۳- مسئله بیشینه‌سازی تأثیر و مفهوم عدالت

در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر از بین تمامی گره‌های شبکه تعداد k گره اولیه طوری انتخاب می‌شوند که بیشترین گره‌های شبکه را فعال کنند. فعال کردن گره‌ها در شبکه با استفاده از یک مدل انتشار صورت می‌پذیرد که نحوه انتشار اطلاعات در شبکه را مدلسازی می‌کند.

اهمیت گره‌ها یک موضوع اساسی در توصیف ساختار و پویایی شبکه‌های اجتماعی است. یکی از مشکلات اساسی در کنترل فرایند انتشار، ارزیابی توانایی انتشار برای هر گره در شبکه است. هرچه توانایی انتشار یک گره بیشتر باشد، سرعت و میزان انتشار اطلاعات در کل شبکه بیشتر خواهد بود. برای ارزیابی توانایی گره‌ها در شبکه‌های اجتماعی، معیارهای متفاوتی



۳-۱- مدل های انتشار در شبکه های اجتماعی

در مقالات مختلف از دو مدل انتشار اصلی برای مدلسازی نحوه انتشار اطلاعات در شبکه های اجتماعی استفاده می شود که این دو مدل عبارتند از [۲۱]:

• مدل آشنایی مستقل^{۱۰}

در این مدل یک گره می تواند در وضعیت فعال یا غیرفعال باشد. در ابتدا تمامی گره ها به جز گره های عضو بذر در وضعیت غیرفعال هستند. هر گره فعال در زمان t یک شانس برای فعال کردن همسایه ی غیرفعال خود با احتمال وزن یال بین آن ها، احتمال انتشار، دریافت خواهد کرد. این فرآیند آشنایی تا زمانی که هیچ گره ی فعال دیگری در یک برچسب زمانی وجود نداشته باشد، ادامه خواهد یافت.

• مدل آستانه خطی^{۱۱}

در این مدل برای هر گره v در زمان t تمام همسایگانش که در زمان $t-I$ فعال شده اند، سعی می کنند آن گره را فعال کنند. اگر مقدار احتمال همسایه های فعال شده ی ورودی، بالاتر یا برابر با آستانه ی گره باشد، فرایند فعال شدن موفق خواهد بود و گره v فعال می شود.

در این مقاله، ما از مدل آشنایی مستقل برای مدلسازی انتشار اطلاعات در شبکه اجتماعی استفاده کرده ایم.

۳-۲- مفهوم عدالت

غالباً، گروه های کوچک و حاشیه ای در یک جامعه بزرگتر نادیده گرفته می شوند. به عنوان مثال، در حوزه پیشگیری از برخی بیماری های مسری اعضای اقلیت های نژادی یا قومی به طور نامتناسب از مطالعه حذف می شوند و اتفاقاً این ها بیشترین سود را از توجه و رسیدگی می برند. بنابراین حصول اطمینان از اینکه تخصیص منابع، ترکیب متنوع جوامع ما را منعکس کند و هر گروه تخصیص عادلانه ای از منابع جامعه را داشته باشد، مهم است. در واقع انتشار منابع در شبکه می بایست به گونه ای باشد که تمامی گروه ها در شبکه تحت تاثیر قرار گیرند. در نتیجه، در نظر گرفتن مسئله انصاف و عدالت در سهمیه بندی منابع و تخصیص آن به گروه ها در جوامع امری جدی و مهم به شمار می رود. برای اندازه گیری معیار عدالت در انتشار اطلاعات در شبکه اجتماعی می توان از مفهوم Maximin که الهام گرفته از مفهوم حقوقی اثر نابرابر است، استفاده کرد. این مفهوم بیانگر این است که برای ارزیابی هر گزینه از نظر بدترین نتیجه ممکن، که می تواند در نتیجه انتخاب آن گزینه باشد، گزینه ای انتخاب شود که بهترین بدترین نتیجه را داشته باشد [۲۲]. معادل این مفهوم در مسئله بهینه سازی تاثیر آن است که مقدار حداقل درصد گره های فعال شده در بین تمامی گروه ها را به حداکثر برسانیم.

با توجه به موارد ذکر شده، مسئله ای که ما در این مقاله بررسی می کنیم مسئله رعایت عدالت در بهینه سازی تاثیر در شبکه های اجتماعی است که می تواند نتایج بسیار کاربردی و مهمی را در پی داشته باشد. بنابراین مسئله تک هدفه بهینه سازی تاثیر تبدیل به مسئله دوهدفه ای می شود که هدف در

آن، علاوه بر بهینه سازی گسترش تاثیر، بهینه سازی عدالت با در نظر گرفتن معیار Maximin است.

۴- بهینه سازی گرگ خاکستری چند هدفه^{۱۲}

اگر بیش از یک هدف برای بهینه سازی وجود داشته باشد، یک مسئله چند هدفه نامیده می شود. دو دیدگاه برای رسیدگی به مسئله چند هدفه وجود دارد: پیشینی^{۱۳} و پسینی^{۱۴} [۲۳].

پیشینی بدین صورت است که اهداف یک مسئله چند هدفه را به یک هدف واحد و مجموعه ای از وزن ها که اهمیت هر یک از اهداف را تعیین می کند ترکیب خواهد کرد. و پسینی فرمول بندی چند عاملی از مسائل چند عاملی را حفظ می کند. در این حالت، تصمیم گیرندگان در نهایت یکی از راه حل های به دست آمده را بر اساس نیاز خود انتخاب می کنند.

با توجه به تعریف مسئله چند هدفه، فرموله سازی یک بهینه سازی چندهدفه برای مسئله بهینه سازی بصورت (۱) تعریف می شود:

$$\begin{aligned} \text{Maximize: } F(\vec{x}) &= f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_n(\vec{x}) \\ \text{Subject to: } g_i(\vec{x}) &\geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ h_i(\vec{x}) &= 0, i = 1, 2, \dots, p \\ L_i \leq x_i \leq U_i, & i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

که n تعداد متغیرها، o تعداد توابع هدف، m تعداد قیود نابرابر، p تعداد قیود برابر، g_i مشخص کننده i امین قیود نابرابری، h_i بیان کننده i امین قیود برابر و $[L_i, U_i]$ محدوده i امین متغیر است.

در بهینه سازی یک هدفه، راه حل ها به سادگی به واسطه تابع هدف مقایسه می شوند. اما راه حل ها در یک فضای چند هدفه با توجه به معیارهای مقایسه چند ضابطه ای، توسط عملگرهای رابطه ای قابل مقایسه نیستند. در این حالت، یک راه حل، بهتر از راه حل دیگر است اگر و فقط اگر ارزش عینی بهتر یا مساوی را در تمام اهداف نشان دهد و ارزش حداقلی را در حداقل یکی از توابع هدف فراهم کند. مفاهیم مقایسه دو راه حل در مسائل چند هدفه ابتدا توسط Francis Ysidro و سپس توسط Vilfredo Pareto گسترش یافت که تعریف ریاضی آن برای یک مسئله بهینه سازی بصورت زیر است:

تعریف اول: پوشش پارتو [۲۴]

فرض کنید که دو بردار \vec{x} و \vec{y} وجود دارد، بردار x بردار y را پوشش می دهد، اگر و فقط اگر:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, k\}, [f(x_i) \geq f(y_i)] \wedge [\exists i \in \{1, 2, \dots, k : f(x_i) > f(y_i)]$$

تعریف دوم: پارتوی بهینه [۲۵]

یک راه حل x بهینه است اگر و فقط اگر:

$$\nexists \vec{y} \in X | F(\vec{y}) > F(\vec{x})$$

تعریف سوم: مجموعه بهینه پارتو

مجموعه ای است شامل تمام راه حل های غالب مسأله

$$P_s := \{x, y \in X | \exists F(y) > F(x)\}$$



$$\vec{D}_a = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_a - \vec{X}| \quad (6)$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \quad (7)$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (8)$$

$$\vec{X}_1' = \vec{X}_a - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_a) \quad (9)$$

$$\vec{X}_2' = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta) \quad (10)$$

$$\vec{X}_3' = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (11)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1' + \vec{X}_2' + \vec{X}_3'}{3} \quad (12)$$

• مرحله جستجو

در هنگام جستجو گرگ‌ها از یکدیگر دور می‌شوند تا شکار را ردیابی کنند. در حالی که پس از ردیابی شکار، گرگ‌ها در فاز حمله به یکدیگر نزدیک می‌شوند. به این فرآیند واگرایی در جستجو-همگرایی در حمله می‌گویند.

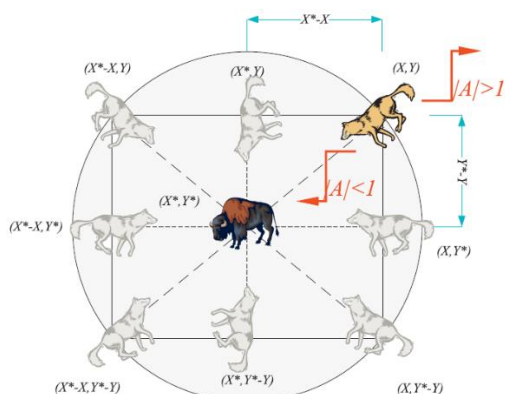
بردار C ، در رابطه (۵)، به عنوان موانع موجود در طبیعت که نزدیک شدن گرگ‌ها به شکار را کند می‌کنند، در نظر گرفته می‌شود. بردار C به شکار وزن داده و آن را برای گرگ‌ها غیر قابل دستیابی‌تر می‌کند. این بردار برخلاف a به صورت خطی از ۲ تا صفر کاهش نمی‌یابد. ترتیب الگوریتم بصورت زیر است:

۱. برازندگی کلیه جواب‌ها محاسبه شده و سه جواب برتر به عنوان آلفا، بتا و دلتا تا پایان الگوریتم انتخاب می‌شوند.

۲. در هر تکرار سه جواب قابلیت تخمین موقعیت شکار را داشته و این کار را در هر تکرار با استفاده از رابطه زیر انجام می‌دهند:
- در هر تکرار بعد از تعیین موقعیت گرگ‌های آلفا و بتا و دلتا، بروزرسانی موقعیت بقیه جواب‌ها با تبعیت از آن‌ها انجام می‌شود.
 - در هر تکرار بردار a (و به تبع آن A) و C بروزرسانی می‌شوند.
 - در پایان تکرارها، موقعیت گرگ آلفا به عنوان جواب بهینه معرفی می‌شود.

• بهینه‌ساز گرگ خاکستری چند هدفه

الگوریتم گرگ خاکستری از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که نسخه چندهدفه آن نیز ارائه شده است. برای چندهدفه کردن این الگوریتم نیاز به دو مولفه جدید است که در ادامه توضیح داده می‌شود [۲۷].



شکل (۱): مدل قرارگیری گرگ‌ها نسبت به شکار

تعریف چهارم: جبهه بهینه^{۱۵} پارتو

مجموعه‌ای حاوی مقدار توابع هدف برای مجموعه راه حل‌های پارتو

$$P_f := \{f(x) \mid x \in P_s\}$$

هدف اصلی الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه، یافتن تخمین بسیار دقیق از راه‌حل‌های بهینه پارتو با بالاترین گوناگونی است.

• بهینه‌ساز گرگ خاکستری^{۱۶}

الگوریتم گرگ خاکستری، یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که اخیراً برای حل مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در بهینه‌ساز گرگ خاکستری [۲۶]، که الگوریتمی تکاملی و مبتنی بر جمعیت است، هر گرگ خاکستری به عنوان یک جواب در نظر گرفته می‌شود. در این الگوریتم، مناسب‌ترین راه حل را به عنوان آلفا در نظر می‌گیریم، و راه حل‌های دوم و سوم مناسب به ترتیب بتا و دلتا نامگذاری می‌شوند. بقیه راه حل‌ها امگا در نظر گرفته می‌شوند. در این الگوریتم، شکار توسط آلفا، بتا و دلتا هدایت می‌شود. وقتی شکار توسط گرگ‌ها احاطه شده و از حرکت بایستد، حمله به رهبری گرگ آلفا، شروع می‌شود. در شکل (۱) این مطلب قابل مشاهده است.

مدل کردن این فرآیند با استفاده از کاهش بردار a انجام می‌گردد. از آنجا که A برداری تصادفی در بازه $[-2a, 2a]$ تعریف شده است (رابطه ۲)، با کاهش a بردار ضرایب A هم کاهش می‌یابد. اگر $|A| < 1$ باشد، گرگ‌ها به شکار نزدیک شده و اگر $|A| > 1$ باشد گرگ‌ها از شکار دور خواهند شد. الگوریتم گرگ خاکستری الزام دارد که تمام گرگ‌ها موقعیت خود را برحسب موقعیت آلفا، بتا و دلتا به روز کنند. این کار از طریق محاسبه فاصله هر گرگ با طعمه (رابطه ۳) و کم یا زیاد کردن این فاصله (رابطه ۴) انجام می‌شود.

• محاصره طعمه توسط گرگ‌های خاکستری

در طول شکار، گرگ‌ها طعمه را محاصره می‌کنند. مدل ریاضی رفتار محاصره در روابط (۵-۲) ارائه شده است که t تکرار فعلی، A و C بردارهای ضریب، X_p بردار موقعیت طعمه و X بردار موقعیت گرگ را نشان می‌دهد.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (2)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3)$$

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (4)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (5)$$

در روابط بالا متغیر a به طور خطی در طول تکرارها از ۲ به ۰ کاهش می‌یابد و \vec{r}_1 و \vec{r}_2 بردارهای تصادفی در بازه $[0,1]$ هستند. همچنین $\vec{X}(t)$ مکان گرگ را در زمان t و $\vec{X}_p(t)$ مکان قرارگیری طعمه را نشان می‌دهند. در مدل ریاضی رفتار شکار گرگ‌های خاکستری، ما فرض می‌کنیم که آلفا، بتا و دلتا دانش بهتری در مورد موقعیت بالقوه طعمه دارند. بنابراین بهترین سه راه حل اول، ذخیره می‌شوند و عامل‌های دیگر موظف هستند موقعیت خود را مطابق با موقعیت بهترین عوامل جستجو مطابق با روابط (۱۲-۶) به روز کنند.



طول u ایجاد می کنیم و به صورت تصادفی k خانه از آرایه را مقدار ۱ و مابقی خانه ها را به صفر مقداردهی می کنیم.

• محاسبه تابع هدف

برای محاسبه تابع چند هدفه، دو هدف Maximin و درصد گره های فعال شده را محاسبه می کنیم. تابع هدف، مختصات یک گرگ خاکستری را که در واقع یک بذر اولیه برای مسئله بیشینه سازی تاثیر است را به عنوان ورودی گرفته و بر اساس مدل انتشار آبشاری مستقل، گره های فعال شده را مشخص کرده و بر اساس آن، مقدار هدف Maximin و هدف درصد گره های فعال شده را محاسبه می کند.

• انتخاب بهترین نمونه ها در هر تکرار

از آنجایی که مسئله، چند هدفه است، لزوماً نمی توان یک جواب را بهتر از جواب دیگر دانست. ممکن است تعداد بیش از یک جواب وجود داشته باشد که از دیگر جواب ها بهتر باشند. بنابراین جواب هایی که در شرایط بهینه پارتو باشند، در بایگانی ذخیره می شوند.

• بررسی دامنه مکان گرگ های خاکستری

در هر بار تکرار الگوریتم گرگ خاکستری، مکان همه گرگ ها نسبت به گرگ های رهبر (آلفا، بتا و دلتا) به روزرسانی شده و سعی در نزدیک تر شدن/ دورتر شدن به/ از آن ها را دارند (رابطه (۱۲)). در روش اصلی گرگ خاکستری، کافی است بررسی شود مکان قرارگیری گرگ ها هر مقداری در دامنه مجاز باشد. این مقدار مجاز باید برای هر بعد به صورت جداگانه مشخص شود. اما از آنجا که مسئله ما، مسئله ترکیباتی است و مقادیر ابعاد مختلف گرگ صرفاً صفر یا ۱ می تواند باشد، با توجه به ماهیت این روابط، مکان جدید یک گره ممکن است یک جواب شدنی برای مسئله نباشد. بنابراین باید دو مورد را در رابطه با مکان جدید هر گرگ بررسی کرد: (۱) مقدار به دست آمده برای هر بعد دقیقاً صفر یا ۱ باشد، (۲) ممکن است اندازه بذر هر جواب، کمتر یا بیشتر از اندازه تعیین شده برای مجموعه بذر شود. برای حل مشکل اول، بعد از به روزرسانی مکان هر گرگ، مقادیر بزرگتر از ۱ به عدد ۱، مقادیر کمتر از صفر به عدد صفر، و مقادیر غیر صحیح بین صفر و یک هم به نزدیکترین این دو مقدار گرد می شوند. برای حل مشکل دوم، چنانچه تعداد ۱ های موجود در مکان گرگ، i تا بیش تر از اندازه بذر باشد، به صورت تصادفی i تا از خانه های آرایه مربوطه را که مقدارشان برابر با ۱ است به صفر تغییر می دهیم و چنانچه تعداد ۱ های موجود در مکان گرگ، i تا کم تر از اندازه بذر باشد، به صورت تصادفی i تا از خانه های آرایه مربوطه را که مقدارشان برابر با صفر است به ۱ تغییر می دهیم.

• محاسبه خروجی

در نهایت، و از آنجا که ممکن است در انتهای اجرای الگوریتم، بیش از یک راه حل در بایگانی باقی مانده باشد، میانگین جواب های باقی مانده در بایگانی را به عنوان نتیجه نهایی الگوریتم برمی گردانیم.

۱. مولفه بایگانی^{۱۷}

این مولفه مسئول ذخیره راه حل های بهینه پارتویی است که تاکنون به دست آمده اند. کلید اصلی این مولفه یک کنترل کننده بایگانی برای زمانی است که یک راه حل می خواهد وارد بایگانی شود یا وقتی که بایگانی پر است. یک مقدار حداکثری برای تعداد اعضای بایگانی وجود دارد. اگر بایگانی پر باشد، مکانیسمی به نام مکانیسم توری^{۱۸} فضای هدف را تقسیم بندی کرده و شلوغ ترین بخش را پیدا می کند تا یکی از راه حل های آن را از بین ببرد. سپس، برای بهبود تنوع جبهه بهینه نهایی پارتو، باید راه حل جدید در خلوت ترین بخش وارد شود. مؤلفه توری وظیفه دارد تا راه حل های بایگانی را تا حد امکان متنوع نگه دارد. در این روش فضای هدف به چندین منطقه تقسیم می شود.

۲. مولفه انتخاب رهبر

این مولفه می تواند راه حل ها را با توجه به مفاهیم بهینه پارتو مقایسه کند. این مولفه، خلوت ترین بخش از فضای جستجو را انتخاب کرده و یکی از راه حل های غیر مغلوب خود را به عنوان گرگ های آلفا، بتا یا دلتا ارائه می دهد. انتخاب با روش چرخ رولت^{۱۹} با احتمال به دست آمده از رابطه (۱۳) برای هر ابرمکعب^{۲۰} از فضای جستجو انجام می شود:

$$P_i = \frac{c}{N_i} \quad (13)$$

که در آن c یک ثابت بزرگتر از ۱ و N_i تعداد راه حل های بهینه پارتو بدست آمده در ابرمکعب i ام است.

۵- روش پیشنهادی

با وجود آنکه الگوریتم گرگ خاکستری برای حل مسائل بهینه سازی چند هدفه قابل استفاده است، برای استفاده از آن در مسائل ترکیباتی مانند مسئله ما، باید تغییراتی در آن بوجود آورد.

مسائل بهینه سازی ترکیباتی مسائلی هستند که در آن مجموعه ای متناهی از اعضا، U ، و تابع هدف، $f: S \subseteq U \rightarrow \mathbb{R}^+$ ، به عنوان ورودی داده شده است. هدف، انتخاب زیرمجموعه ای از U است به طوری که تابع هدف را بهینه کند. از آنجا که بیشتر مسائل بهینه سازی ترکیباتی، ان پی-سخت هستند، اغلب از روش های غیر دقیق مانند مکاشفه ای برای حل این مسائل استفاده می شود. در ادامه، چارچوبی الگوریتمی برای بهینه سازی چند هدفه مسائل ترکیباتی مبتنی بر بهینه ساز چند هدفه گرگ خاکستری ارائه می دهیم که شامل تغییراتی است که بر روی بهینه ساز گرگ خاکستری چند هدفه انجام می گیرد.

• مقداردهی اولیه

فرض کنید $|U| = u$ اندازه مجموعه ورودی (تعداد گره های شبکه) و k اندازه جواب (اندازه بذر اولیه) را مشخص می کنند. در این صورت، هر گرگ خاکستری را باید به صورت برداری u بعدی در فضا نشان داد. برای مقداردهی اولیه مکان قرار گرفتن گرگ ها، هر گرگ را به صورت آرایه ای با



۶- نتایج و تحلیل خروجی

برای ارزیابی الگوریتم، الگوریتم پیشنهادی را روی ۲۳ شبکه اجتماعی برون خط که توسط وایلد و همکاران [۱۶] جمع‌آوری شده است، اجرا کرده‌ایم. این شبکه‌ها برای مدل سازی پیشگیری از چاقی در منطقه آنتلپ دره کالیفرنیا استفاده شده است. هر گره در شبکه دارای ویژگی‌هایی قومیت، سن و جنسیت است. برای هر ویژگی، به تعداد مقادیر مختلف آن، گروه در شبکه ایجاد می‌گردد. گروه‌های موجود در شبکه به ازای هر ویژگی، شامل افرادی می‌شود که دارای مقدار یکسانی برای آن ویژگی هستند. مقادیر موجود برای ویژگی قومیت شامل Black، Latino، Asian و others، برای ویژگی سن شامل 18-24، 25-29، 30-39، 40-49، 50-59، 60-64 و 65+ و برای ویژگی جنسیت شامل male و female می‌باشد. هر شبکه ۵۰۰ گره دارد که با احتمال انتشار $p = 0.1$ و اندازه بذر را ثابت $k = 25$ تنظیم کرده‌ایم.

برای مقایسه، الگوریتم حریصانه‌ای در نظر گرفته شده که جزء بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی تک هدفه به شمار می‌آید [۲۸]. هدف از این انتخاب، نشان دادن کارایی الگوریتم ارائه شده در بهبود همزمان میزان تأثیر در شبکه و رعایت عدالت در این تأثیر نسبت به الگوریتمی تک هدفه است که تنها هدف آن بیشینه کردن تأثیر در شبکه است.

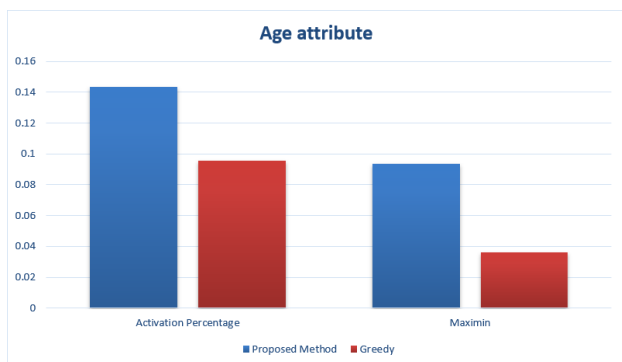
به ازای هر ویژگی، هر دو الگوریتم روی ۲۳ شبکه اجرا شده و مقادیر به دست آمده برای اهداف درصد گره‌های فعال شده و مقدار Maximin در تکرارهای مختلف میانگین گرفته شده است. نتایج حاصل را می‌توانید در شکل‌های (۲) تا (۴) مشاهده کنید.

همان‌طور که در نتایج ارائه شده قابل مشاهده است، الگوریتم پیشنهادی هر دو معیار درصد گره‌های فعال شده و مقدار Maximin را نسبت به الگوریتم حریصانه بهبود داده است. بدین معنی که نه تنها افراد بیشتری در شبکه اجتماعی فعال می‌شوند، بلکه درصد بیشتری از گروه‌های مختلف موجود در شبکه اجتماعی فعال می‌شوند و در نتیجه همزمان عدالت بیشتری در انتشار اطلاعات رخ داده است.

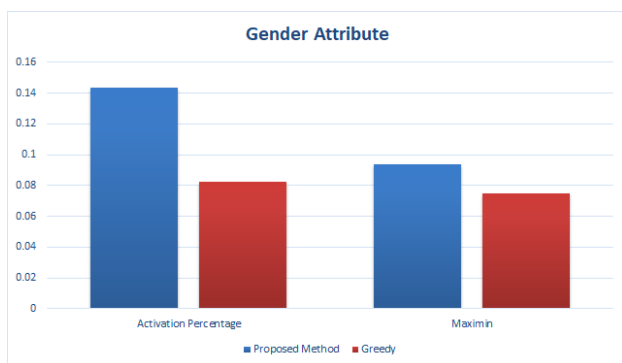
در طرف دیگر، مشخص است که الگوریتم حریصانه تمام تمرکز خود را بر روی بهبود درصد گره‌های فعال شده گذاشته است و در نتیجه نتوانسته است معیار عدالت، Maximin، را به خوبی افزایش دهد.

۷- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

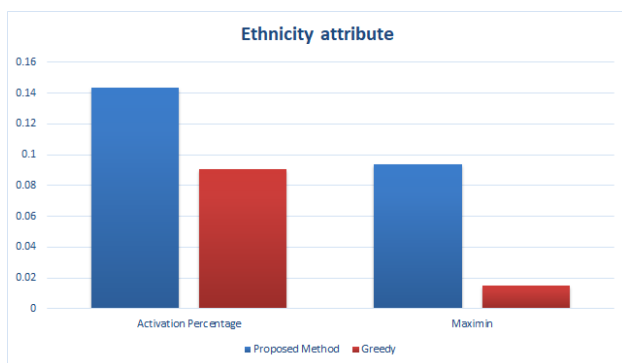
در این مقاله، مفهوم عدالت در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر در شبکه‌های اجتماعی شرح داده شد و معیار Maximin برای اندازه‌گیری آن معرفی گردید. بر همین اساس، مسئله تک هدفه بیشینه‌سازی تأثیر به مسئله دو هدفه بیشینه‌سازی تأثیر و عدالت بازتعریف شد. سپس چارچوب الگوریتمی مبتنی بر الگوریتم گرگ خاکستری برای حل این مسئله ارائه شد تا همزمان این دو هدف را بیشینه کند. نتایج حاصل از مقایسه این الگوریتم و الگوریتم حریصانه نشان از بهبود همزمان دو هدف دارد.



شکل (۲): مقایسه دو الگوریتم بر مبنای ویژگی سن



شکل (۳): مقایسه دو الگوریتم بر مبنای ویژگی جنسیت



شکل (۴): مقایسه دو الگوریتم بر مبنای ویژگی قومیت

آنچه برای ادامه کار این مقاله می‌توان در نظر گرفت، عبارت است از:

- مقایسه چارچوب الگوریتمی پیشنهادی با بهترین الگوریتم موجود برای مسئله بیشینه‌سازی تأثیر.
- مقایسه چارچوب الگوریتمی ارائه شده با دیگر الگوریتم‌های بهینه‌سازی چند هدفه در مسئله بیشینه‌سازی تأثیر.
- در نظر گرفتن و تعریف معیارهای دیگر برای اندازه‌گیری میزان عدالت در انتشار اطلاعات.



مراجع

- [19] Newman, Mark E. J. 2010. *Networks: an introduction*. Oxford [u.a.]: Oxford Univ. Press.
- [20] R.S. Burt, *Structural Holes*, Academic Press, New York, 1992.
- [21] P. Shakarian, A. Bhatnagar, A. Aleali, E. Shaabani and R. Guo, "The independent cascade and linear threshold models," in *Diffusion in Social Networks*, Springer, 2015, pp. 35-48.
- [22] Harsanyi, John. 1975. *Can the Maximin Principle Serve as a Basis for Morality? A Critique of John Rawls's Theory*. American Political Science Review 69(2): 594-606.
- [23] Branke, J., Kaußler, T. & Schmeck, H. (2001). *Guidance in evolutionary multi-objective optimization*. Advances in Engineering Software, 32(6), 499-507.
- [24] Coello, C. A. C. (2009). *Evolutionary multi-objective optimization: some current research trends and topics that remain to be explored*. Frontiers of Computer Science in China, 3(1), 18-30.
- [25] Ngatchou, P., Zarei, A., & El-Sharkawi, M. (2005). *Pareto multiobjective optimization*. In Proceedings of the 13th International Conference on the Intelligent Systems Application to Power Systems, 2005.
- [26] Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., & Lewis, A. (2014). *Grey wolf optimizer*. Advances in Engineering Software, 69, 46-61.
- [27] Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S., Saremi, S., Mirjalili, S. M., & Coelho, L. D. S. (April 01, 2016). *Multi-objective grey wolf optimizer: A novel algorithm for multi-criterion optimization*. Expert Systems with Applications, 47, 106-119.
- [28] Badanidiyuru, A., Vondrák J. (2014) *Fast algorithms for maximizing submodular functions*. Proceedings of the twenty-fifth annual ACM-SIAM symposium on discrete algorithms. Society for Industrial and Applied.
- [1] P. Domingos and M. Richardson, "Mining the network value of customers," in KDD, 2001, pp. 57-66.
- [2] X. He, G. Song, W. Chen, and Q. Jiang, "Influence blocking maximization in social networks under the competitive linear threshold model," in SDM, 2012, pp. 463-474.
- [3] M. Ye, X. Liu, and W.-C. Lee, "Exploring social influence for recommendation: A generative model approach," in SIGIR, 2012, pp. 671-680.
- [4] Van der Plank JE. *Plant diseases: epidemics and control*. Elsevier, 2013.
- [5] Balog K, Azzopardi L, De Rijke M. *Formal models for expert finding in enterprise corpora*. Proceedings of the 29th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2006.
- [6] Barabási and Albert-László, *Network Science*, 1 ed., Cambridge University Press, 2016.
- [7] D. Kempe, J. M. Kleinberg and E. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network," *Theory of Computing*, 2015.
- [8] D. Kempe, J. Kleinberg, and E. Tardos, "Maximizing the spread of influence through a social network," in KDD, 2003, pp. 137-146.
- [9] M. Kimura and K. Saito, "Tractable models for information diffusion in social networks," in PKDD, 2006, pp. 259-271.
- [10] W.Yu, G.Cong, G.Song, and K.Xie, "Community-based greedy algorithm for mining top-k influential nodes in mobile social networks," in KDD, 2010, pp.1039-1048.
- [11] W.Chen, C.Wang, and Y.Wang, "Scalable influence maximization for prevalent viral marketing in large scale social networks," in KDD, 2010, pp. 1029-1038.
- [12] Jiang, Q., Song, G., Cong, G., Wang, Y., Si, W., Xie, K.: *Simulated annealing based in AAAI*. AAAI Press (2011).
- [13] Bucur, D., Iacca, G.: *Influence maximization in social networks with genetic algorithms*. In: European Conference on the Applications of Evolutionary Computation. pp. 379-392. Springer (2016).
- [14] Coello, C.A.C., Van Veldhuizen, D.A., Lamont, G.B.: *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*, vol. 242. Springer (2002).
- [15] Bucur, D., Iacca, G., Marcelli, A., Squillero, G., Tonda, A.: *Multi-objective evolutionary algorithms for in European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. pp. 221-233. Springer (2017).
- [16] Tsang A., Zick Y., Tambe M., et al. 2019. "Group-fairness in influence maximization". *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*. 2019-August: 5997-6005.
- [17] Ali, Junaid, Babaei, Mahmoudreza, Chakraborty, Abhijnan, Mirzasoleiman, Baharan, Gummadi, Krishna P., and Singla, Adish. 2019. *On the Fairness of Time-Critical Influence Maximization in Social Networks*.
- [18] Bonacich, Phillip (1987). "Power and Centrality: A Family of Measures". *American Journal of Sociology*. 92 (5): 1170-1182.

زیر نویس ها

- 1 Influence Maximization
- 2 Seed
- 3 Diversity
- 4 Node centrality
- 5 Degree centrality
- 6 Betweenness centrality
- 7 Closeness centrality
- 8 Eigenvector centrality
- 9 Page rank
- 10 Independent Cascade Model
- 11 Linear Threshold Model
- 12 Multi-Objective Grey Wolf Optimization
- 13 Priori
- 14 Posteriori
- 15 Optimal Front
- 16 Grey Wolf Optimizer
- 17 Archive Component



-
- ¹⁸ Grid
 - ¹⁹ Roulette-wheel
 - ²⁰ Hypercube