



مدل سازی شیوع رفتار ناهنجار و شکست آستانه مقاومت جامعه با کمک علم شبکه

زهرا فرحی^{۱*}، علی کمندی^۲، محمود شعبانخواه^۳

چکیده

چکیده: اخلاق در دهه های اخیر به یکی از موضوعات اساسی در شاخه های مختلف علم و تکنولوژی تبدیل شده است و در تمامی رشته های علمی و مهندسی، پیوست اخلاقی نیز مطرح شده است. این رویکرد سعی دارد تا گسترش تکنولوژی های نوین و اجرای اقدامات و پروژه های مهندسی را با ضوابط اخلاقی و حرفه ای پیوند دهد به گونه ای که در کنار اهدافی نظیر سودآوری و اجرای بهنگام پروژه ها، ملاحظات اخلاقی نیز رعایت شود تا ضمن حفظ حقوق همگانی، جامعه نیز از این مباحث برخوردار شود. بیشتر مطالعات و تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده است، به مفاهیم بنیادین اخلاق، تعریف رویکرد اخلاق محور و نیز تعریف شاخص ها و ضوابط رفتار حرفه ای یا اخلاقی محدود شده است. این تحقیقات سعی دارند تا نسبت به نهادینه سازی رفتارهای اخلاقی در کلیه سطوح اقدام نمایند. در این میان، دینامیک رفتار حرفه ای یا اخلاق-محور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، الگوهای پویای رفتار اخلاقی مد نظر قرار گرفته است و سعی شده است تا با کمک مبانی تئوری علم شبکه، الگوی رفتار اخلاقی جامعه استخراج گردد. این الگو کمک قابل توجهی به شناسایی بهتر دینامیک رفتار اخلاقی خواهد کرد.

کلید واژه ها: اخلاق مهندسی، دینامیک اخلاق، آستانه مقاومت جامعه

۱- نویسنده مسئول: دانشجو دکتری گروه الگوریتم و محاسبات پردیس فنی دانشگاه تهران، رایانامه:

zhr.farahi@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه تهران گروه الگوریتم و محاسبات

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه تهران گروه الگوریتم و محاسبات

مقدمه

اکثر تحقیقات و مطالعاتی که تاکنون در حوزه اخلاق انجام شده است، به مبانی جامعه‌شناختی و اعتقادی آن مربوط می‌شود و آثار اجتماعی و فردی رفتار اخلاقی را مدنظر قرار می‌دهد. دینامیک رفتار اخلاقی در جامعه در تحقیقات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. منظور از دینامیک اخلاق فرآیند و واقعه‌ای است که رفتار اخلاقی ظاهر می‌شود، رشد می‌کند، توسعه می‌یابد، فرسوده می‌شود و از بین می‌رود. به‌طور عمده گرایش‌های اخلاقی باید شامل تمام بخش‌های درونی اخلاق باشد: هنجارهای درونی، ارزش‌های پذیرفته‌شده، فضایل راهنما، انواع مشخصی از اصول اخلاقی یا ارزش‌های اخلاقی که به مرور زمان تغییر کرده‌اند، احساساتی نظیر گناه، پشیمانی و ندامت. رفتار اخلاقی بخش خارجی‌تر یا حداقل بخشی است که کمتر به چشم می‌آید: انواع مشخصی از فعالیت‌ها یا عدم توجه به موضوعی که برای این فعالیت می‌تواند پیشنهادهایی داشت. به‌طور خاص در جامعه‌ای با مقیاس بزرگ با تعامل‌های هم‌زمان که دائماً در حال اتفاق افتادن هستند، موقعیت‌های بسیاری وجود دارند که ذاتاً می‌توان در این موقعیت‌ها تقلب یا خیانت کرد. یعنی ممکن است هر کسی در چنین شرایطی رفتاری غیراخلاقی داشته باشد [۱]. به‌عبارت‌دیگر، الگوی رفتاری افراد در قبال جامعه معنا پیدا می‌کند.

شیوه گسترش رفتارهای غیراخلاقی یا ناهنجار در جامعه موضوع این مقاله است. درواقع در این نوشتار در پی این هستیم که نشان دهیم گسترش چنین رفتارهایی در جامعه از چه الگوهای تبعیتی می‌کند. اگرچه شناسایی دقیق این الگوها، به دلیل پیچیدگی ذاتی مدل رفتاری انسان‌ها بسیار دشوار و پیچیده است، اما با اعمال ساده‌سازی‌های پی‌درپی می‌توان به یک مدل اولیه و ساده شده دست یافت و راه را برای تحقیقات جامع‌تر در این زمینه هموار کرد. همان‌گونه که ذکر شد، رفتارهای ناهنجار یا غیراخلاقی مانند سایر پدیده‌های اجتماعی، در ارتباط بین فرد با جامعه معنی پیدا می‌کنند. به عبارتی فرد از گروه دوستان و آشنایان خود الگو می‌پذیرد. تأثیرپذیری متقابل فرد و جامعه در پدیده‌های اجتماعی عنصر زیربنایی این پژوهش به شمار می‌آید. الگوبرداری از دیگران باعث می‌شود که رفتارهای غیراخلاقی در جامعه گسترش یابد. به‌بیان‌دیگر، همان‌گونه که ویروس‌هایی نظیر آنفولانزا می‌توانند در جامعه منتشر شوند و افراد بسیار زیادی را تحت تأثیر قرار دهند، رفتارهای غیرحرفه‌ای یا غیراخلاقی یا ناهنجار هم می‌توانند در جامعه گسترش یابند و افراد زیادی را آلوده سازند. در جامعه‌ای که همگان از الگوهای استاندارد رفتاری و اخلاقی تبعیت می‌کنند، احتمال فراگیر شدن و یا همه‌گیر شدن رفتارهای نامتعارف بسیار کم خواهد بود و در عوض در جامعه‌ای که افراد

بسیاری معیارهای اخلاقی را زیر پا بگذارند، نمی‌توان انتظار داشت که کلیت جامعه رفتار اخلاقی داشته باشد. رفتارهای ناهنجار نیز همانند بیماری‌ها واگیردار هستند و می‌توانند کل جامعه را دچار و مبتلا کنند.

از آنجایی که شباهت بسیار زیادی بین گسترش رفتارها در جامعه و گسترش پدیده‌های دیگری نظیر بیماری‌های واگیردار وجود دارد، ما از مدل انتشار بیماری‌ها یا همان مدل شناخته‌شده اپیدمی به عنوان زیربنای مدل پژوهشی خود استفاده کرده‌ایم. هر چند این مدل منحصر به بیماری نیست.

فرض کنید شخصی اولین نفری باشد که به یک بیماری مبتلا می‌شود. این شخص بیماری را به نفر دیگری منتقل می‌کند و نفر دوم ممکن است با افراد زیادی در ارتباط باشد و این بیماری را به همه آن‌ها انتقال دهد. نفر اولی که به این بیماری مبتلا شده را گسترش‌دهنده اصلی می‌نامند. اگر رابطه بین افرادی که بیماری را از هم گرفته‌اند رسم کنیم، این رابطه به صورت شبکه‌ای از افراد خواهد بود که نشان می‌دهد چگونه بیماری در شبکه گسترش پیدا می‌کند [۲].

شناسایی چنین شبکه‌هایی و الگوهای ساختاری و رفتاری آنها موضوع علم شبکه است. علم شبکه راجع به دینامیک شبکه‌هایی نظیر شبکه‌های اجتماعی یا جوامع سنتی صحبت می‌کند. یکی از موضوعات اساسی در علم شبکه، مفهوم اپیدمی است. برخی از افراد که ارتباطات زیادی دارند و در نتیجه از تأثیرگذاری خیلی بالاتری برخوردارند، اصطلاحاً نقش هاب را بازی می‌کنند. هر رفتاری از این افراد سر بزند تأثیر بسیار زیادی در جامعه خواهد داشت و می‌تواند به فراگیر شدن یک رفتار منجر شود. مدل اپیدمی، زیرساختی برای تحلیل و بررسی شرایط و گسترش یک بیماری در جامعه ارائه می‌دهد.

نقش شبکه‌های تخصصی و اجتماعی در گسترش و پذیرش اختراعات، دانش، روش‌های تجاری، محصولات، رفتارها و شایعات در حوزه علوم اجتماعی، بازاریابی و اقتصاد بسیار مورد مطالعه قرار گرفته است [۳، ۴]. مدل اپیدمی به بیماری محدود نیست. ویروس‌های زیستی، ویروس‌های کامپیوتری و رفتارهای اجتماعی روی شبکه‌های متفاوتی گسترش می‌یابند و هر کدام مکانیزم انتقال متفاوتی دارند. جدول ۱ مشخصات انتقال در این شبکه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- معرفی عامل و شبکه شیوع چند پدیده

پدیده	عامل	شبکه
پخش شایعه	اطلاعات، نظرات	شبکه ارتباطات
گسترش نوآوری‌ها	دانش، ایده	شبکه ارتباطات
ویروس‌های کامپیوتری	بدافزارها، ویروس‌های دیجیتالی	اینترنت

شبکه‌های اجتماعی	ویروس‌های متحرک	ویروس‌های تلفن همراه
هتل‌ها، شبکه‌های مسافران	حشرات انگلی	ساس
مساجد، شبکه‌های انسانی	انگل مالاریا	مالاریا

شبکه‌های شیوع بر اساس عامل اصلی انتقال دهنده آنها و مکانیزم انتقال مورد مطالعه قرار می‌گیرند که این جدول شبکه‌ها را بر اساس همین مشخصه‌ها دسته‌بندی کرده است [۲]. بیماری‌های مختلف نظیر آنفولانزا از طریق ارتباط با فرد بیمار به افراد دیگر منتقل شده و آنها را بیمار می‌کند. شبکه‌ای از ارتباطات که از طریق آنها، بیماری انتقال یافته، شبکه شیوع می‌گویند.

در این مقاله، کاربرد مدل اپیدمی علم شبکه در گسترش رفتارهای اخلاقی (یا غیراخلاقی) در جامعه مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۲ تعاریف پایه اخلاق و رفتار اخلاقی ارائه شده است. در بخش ۳ مدل اپیدمی ارائه شده است. بخش ۴ به معرفی مدل تغییر یافته اپیدمی جهت مدلسازی گسترش رفتارهای اخلاقی در جامعه می‌پردازد و تبعات این مدل را تشریح می‌کند. نهایتاً در بخش ۵ به جمع‌بندی پرداخته شده است.

۲- تعاریف پایه

اخلاق مهندسی، سیستمی از اصول اخلاقی است که در حوزه کارهای مهندسی اعمال می‌شود و تعهدات مهندسان در مقابل جامعه، کاربران و تخصصشان را تنظیم و کنترل می‌کنند. یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های مهندسی و علوم در این است که مهندسی تنها درباره درک بهتر دنیا نیست، بلکه درباره تغییر دنیا هم است. مهندسان اعتقاد دارند این تغییرات باعث بهبود شرایط می‌شود بنابراین مهندسی ذاتاً فعالیتی اخلاقی است [۵]. در دنیای امروز مهندسی حرفه بسیار مهمی است. از متخصصان این حوزه، یعنی مهندسان انتظار می‌رود در رفتار خود بالاترین سطح صداقت و درستی را به نمایش بگذارند. مهندسی روی کیفیت زندگی مردم جامعه تأثیر مستقیم و حیاتی دارد. برای اخلاق مهندسی باید استانداردی تعریف شود که مستلزم به پیروی از بالاترین سطح اصول اخلاقی باشد [۶].

در قرن ۱۹ با رشد چشمگیر مهندسی، مهندسان خود را متخصصان مستقل و نیروی فنی مهم در شرکت‌های بزرگ یافتند. همین موضوع باعث افزایش تنش شد، زیرا شرکت‌ها هم سعی داشتند روی نیروی کاری خود کنترل داشته باشند [۷]. بسیاری از اصول اخلاق مهندسی با نقش پول و تصمیمات مبتنی بر اقتصاد درهم‌تنیده شده است مثل اصول اخلاقی در قراردادهای که بر اساس تحلیل سود/ هزینه تعریف می‌شوند. واژه‌های اخلاق و اخلاقیات معمولاً بجای

یکدیگر استفاده می‌شوند. اخلاق در واقع اصولی هستند که شخصیت یک شخص را شکل می‌دهند و می‌توان آن را از نظر خوب و بد بودن مورد قضاوت قرار داد. اخلاقیات هم استانداردی است که یک شخص یا سازمان در یک حرفه از آنها به عنوان مبنای تصمیمات و فعالیت‌ها استفاده می‌کند. سطوح و انواع مختلفی از اخلاق و اخلاقیات وجود دارد [۸].

اخلاق رایج یا عمده: اخلاق ساختاری است که همه افراد جامعه به صورت انتزاعی آن را دارند. برای مثال تقریباً تمام افراد جامعه اعتقاد دارند که دزدی یا کشتن یک شخص کار نادرستی است.

اخلاق فردی یا شخصی: باورهای اخلاقی هستند که یک شخص در طول زمان به آنها اعتقاد پیدا می‌کند و پایبند می‌ماند. یک شخص می‌تواند شدیداً به اخلاق رایج پایبند باشد و در ضمن اخلاق شخصی خوبی هم داشته باشد اما از زمانی به زمان دیگر وقتی که یک فرد باید تصمیم بگیرد ممکن است شرایطی پیش آید که این دو سطح اخلاق باهم در تناقض قرار گیرند.

اخلاقیات مهندسی یا حرفه‌ای: متخصصان در یک حوزه برای تصمیم‌گیری‌ها و انجام کارهای تخصصی باید از استانداردهای رسمی پیروی کنند. همچنین هر مهندس می‌تواند به اخلاقیات خاصی پایبند باشد. جامعه ملی مهندسان (NSPE¹) اصول اخلاقی مهندسان را چاپ کرده و این اصول رایج هستند و زیاد مورد ارجاع دهی قرار می‌گیرند. این قوانین به سه دسته تقسیم شده‌اند:

- قوانین اساسی و پایه‌ای
- قوانین مربوط به فعالیت‌ها
- تعهدات حرفه‌ای

برای مثال یکی از اصول اخلاقی ذکر شده که در دسته قوانین پایه آمده است می‌گوید: "مهندسان باید در انجام وظایف خود باید امنیت، سلامت و رفاه اجتماعی را در نظر بگیرند."

ASCE² هم اصول اخلاقی حرفه‌ای دیگری است که در واقع استاندارد اخلاقی در قرار داده‌ها تنظیم می‌کند. این استاندارد شامل ۸ اصل است که در زیر آمده‌اند:

(۱) رعایت اصل ایمنی: در مهندسی رعایت ایمنی، سلامتی و رفاه عمومی حائز اهمیت است و مهندسان باید در انجام وظایف حرفه‌ای خود سعی کنند از اصول توسعه پایدار پیروی کنند.

(۲) خدمات رقابتی: مهندسان باید تنها در حوزه تخصصی خود خدمات ارائه دهند.

1- National Society of Professional Engineers

2- American Society of Civil Engineers

- ۳) ادعای صادقانه: مهندسان باید ادعاهایی مشخص، واضح و صادقانه داشته باشند.
- ۴) نماینده وفادار: مهندسين بايد در مورد امور حرفه‌ای برای هر کارفرما یا مشتری به‌عنوان نماینده یا متولی وفادار عمل کنند و از تضاد منافع خودداری کنند.
- ۵) شایستگی/اعتبار: مهندسان باید اعتبار حرفه‌ای خود را بر اساس شایستگی خدمات خود بنا کنند و با دیگران ناعادلانه رقابت نکنند.
- ۶) افتخارات حرفه‌ای: مهندسان باید به‌گونه‌ای عمل کنند که افتخار، صداقت و عزت حرفه‌ای مهندسی را حفظ و تقویت کنند و در مقابل رشوه‌خواری، کلاهبرداری قاطعانه ایستادگی کنند.
- ۷) توسعه تخصص پیوسته: مهندسان باید پیشرفت حرفه‌ای خود را در سراسر زندگی حرفه‌ای خود حفظ کنند و فرصت‌هایی را برای پیشرفت حرفه‌ای مهندسين تحت نظر خود فراهم آورند.
- ۸) انصاف در حل مشکلات: مهندسان باید در کلیه امور مربوط به حرفه خود با همه افراد منصفانه رفتار کنند و بدون توجه به جنسیت یا هویت جنسیتی، نژاد، منشأ ملی، قومیت، مذهب، سن، گرایش جنسی، ناتوانی، وابستگی سیاسی یا خانوادگی، یا وضعیت اقتصادی مشارکت عادلانه داشته باشند.
- خیلی ساده ممکن است مهندسی بین اخلاق اجتماعی، شخصی و اصول اخلاق مهندسی گیر کند. در یک پروژه در فازهای مختلف می‌توان اصول اخلاق مهندسی را تعریف کرد. نمونه از این فازها عبارت‌اند از:
- در زمان طراحی
 - در زمان ساخت یا پیاده‌سازی
 - در زمان اجرای سیستم
- همان‌طور که گفته شد در هر یک از این فازها رعایت اصول اخلاقی خاصی لازم و ضروری است.
- یکی دیگر از چالش‌های پیش رو در اخلاق مهندسی در پروژه‌های بین‌المللی ظهور می‌کند، وقتی که اصول فرهنگی، تمایل کارمندان و قوانین شرکتی و هزینه‌ها در کشور مبدأ با کشور مقصد متفاوت است. معمولاً این شک و شبهه‌های اخلاقی بیشتر در زمینه‌های اقتصادی است. بنابراین باید توجه کرد که اخلاق عمومی، اخلاق فردی و اصول اخلاق حرفه‌ای از کشوری و فرهنگی تا کشور دیگری با فرهنگ دیگر متفاوت است.

۳- مدل دینامیک رفتار اخلاقی

برای مدل کردن شیوع باید برای آن زیرساختی در نظر گرفت:

تقسیم‌بندی: افراد یا گره‌های شبکه را بر اساس وضعیت معمولاً به سه دسته: مستعد (S^1)، ناقل (I^2) و بهبودیافته (R^3) تقسیم‌بندی می‌کنند. برای بعضی شبکه‌ها ممکن است تقسیم‌بندی‌های بیشتری مورد نیاز باشد و وضعیت گره‌ها ممکن است بین تقسیم‌بندی‌های مختلف جابجا شود.

درگیری همگن

این نظریه بیان می‌کند که همه افراد با شانس برابری در معرض بیماری قرار می‌گیرند. با این فرضیه نیازی به دانستن دقیق شبکه ارتباطات نیست زیرا شانس همه برای آلوده شدن برابر است. اما در حقیقت این طور نیست هرکس نمی‌تواند بیماری خود را با شانس برابر به همه انتقال دهد بلکه تنها می‌تواند به کسانی که با آنها در ارتباط است انتقال دهد در واقع در اینجا شبکه‌ای بدون مقیاس داریم.

مدل مستعد- مبتلا (SI): محققان در [۹] ساختار توپولوژی شبکه ارتباطات را در مدل خود وارد کردند. در این مدل شیوع، ابتدا به صورت نمایی رشد می‌کند زیرا هر فرد مبتلا با تعداد برابری فرد مستعد برخورد می‌کند و هرکدام از آنها مبتلا شده و با همان تعداد فرد مستعد برخورد می‌کنند تا جایی که بیشتر افراد جامعه مبتلا شده و مبتلایان جدید نمی‌توانند به همان تعداد فرد مستعد بیماری خود را انتقال دهند بنابراین در زمان طولانی وقتی حد زمان به سمت بی‌نهایت میل کند، شیوع کاهش پیدا می‌کند و وقتی همه افراد جامعه مبتلا شوند، متوقف می‌شود.

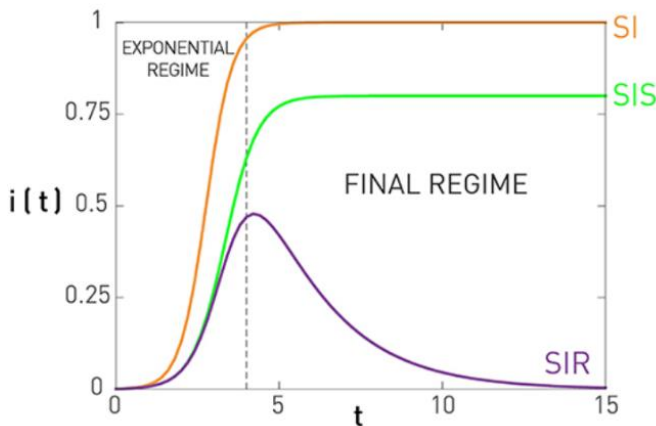
مدل مستعد- مبتلا-مستعد (SIS): در مدل قبلی فرض بر این بود که هر فرد مدتی بعد از مبتلا شدن بهبود می‌یابد و در مقابل بیماری ایمن می‌شود. ولی همیشه این طور نیست. یعنی ممکن است فرد مبتلا بعد از بهبود باز هم در وضعیت مستعد مبتلا قرار گیرد. برخلاف مدل قبلی که در نهایت همه افراد جامعه مبتلا می‌شدند در این مدل دو حالت ممکن است روی دهد.

- اگر نرخ بهبود کم باشد در هر بازه زمانی تعداد افرادی که بهبود می‌یابند برابر تعداد افرادی خواهد بود که دوباره مبتلا می‌شوند یعنی همه افراد جامعه مبتلا نمی‌شوند و در هر زمان تنها کسر محدودی از افراد جامعه مبتلا خواهند بود.

۲. اگر نرخ بهبود بالا باشد هر بار تعداد افراد بهبودیافته بیشتر از کسانی است که جدیداً مبتلا شده‌اند بنابراین بعد از مدتی بیماری از جامعه حذف می‌شود.

مدل مستعد-مبتلا-ایمن (SIR): مدل دیگری وجود دارد که در آن افراد مبتلا بهبود می‌یابند و بعد از آن در برابر بیماری ایمن می‌شوند، این افراد دیگر نه مستعد ابتلای مجدد هستند نه دیگر کسی را مبتلا می‌کنند. همچنین از شبکه حذف شده و دیگر به عنوان اعضای شبکه بیماری به شمار نمی‌آیند.

بنابراین باید گفت که مدل شیوع بیماری را باید بر اساس مشخصات بیماری تعیین کرد. شکل ۱ نشان می‌دهند در ابتدا نرخ شیوع در هر سه این مدل‌ها یکسان است ولی با گذشت زمان تغییر می‌کند.



شکل ۱- نمودار رشد سه مدل شیوع بیماری

در گذشته، سال‌ها طول می‌کشید تا یک ویروس در قاره‌ای همه‌گیر شود ولی در دنیای امروز در طول چند روز یک ویروس جدید می‌تواند به همه قاره‌ها سرایت کند و تهدیدی برای کل دنیا باشد. شبکه‌های شیوع نشان می‌دهند که سرعت شیوع یک بیماری به توزیع درجه شبکه ارتباطات آن بیماری بستگی دارد. زیرا افرادی که درجه ارتباطات آنها بیشتر است، بیشتر در معرض ابتلا به بیماری قرار می‌گیرند. بنابراین درجه هر گره متغیر مؤثری در شیوع یک بیماری است.

متغیری بنام آستانه شیوع تعریف می‌کنیم، می‌گوییم یک بیماری شیوع پیدا می‌کند اگر نرخ ابتلا به آن از آستانه شیوع بیشتر باشد. آستانه شیوع را برای دو شبکه تصادفی و بدون مقیاس بررسی می‌کنیم. $\langle K \rangle$ تعداد افراد در ارتباط با یک فرد مبتلا باشند [۲].

شبکه‌های تصادفی

باراباشی در کتاب خود بیان می‌کند که در شبکه‌های تصادفی، آستانه شیوع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\lambda_c = \frac{1}{\langle k \rangle + 1}$$

از آنجایی که $\langle K \rangle$ مقداری غیر صفر است بنابراین آستانه شیوع در شبکه‌های تصادفی همیشه مقداری غیر صفر است. که دو حالت پیش می‌آید:

- اگر نرخ شیوع بیشتر از این آستانه شیوع باشد، بیماری شیوع پیدا می‌کند و تعداد افراد مبتلا افزایش می‌یابد تا جایی که جامعه به وضعیتی می‌رسد که در هر زمانی کسر ثابتی از افراد جامعه مبتلا هستند
- اگر نرخ شیوع کمتر از آستانه شیوع باشد، بعد از مدتی بیماری از جامعه حذف می‌شود.

شبکه‌های بدون مقیاس

آستانه شیوع برای شبکه‌های بدون مقیاس طبق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\lambda_c = \frac{\langle k \rangle}{\langle k^2 \rangle}$$

با توجه به فرمول مشخص است که اگر حد N (تعداد کل افراد جامعه) به سمت بی‌نهایت میل کند، آستانه شیوع از بین می‌رود. این حالت یعنی حتی ویروس‌هایی که به سختی از فردی به فرد دیگر انتقال می‌یابند هم می‌توانند در جامعه شیوع پیدا کنند. از بین رفتن آستانه شیوع، نتیجه مستقیم هاب هاست. می‌دانیم اگر یکی از افراد بیمار قبل از اینکه بقیه افراد بیمار بهبود یابند نتواند شخص جدیدی را مبتلا کند به‌مرور بیماری از جامعه حذف می‌شود. در شبکه‌های بدون مقیاس اگر نرخ شیوع کمتر از آستانه شیوع باشد کم‌کم بیماری حذف می‌شود. ولی در شبکه‌های بدون مقیاس اگر شخص بیمار بتواند تنها یک هاب را مبتلا کند، آن هاب هم بیماری را به تعداد زیادی از افراد جامعه انتقال می‌دهد، در نتیجه بالاینکه نرخ شیوع پایین است ولی بیماری در جامعه شیوع پیدا می‌کند.

نکته بعدی که باید در شبکه‌های شیوع به آن توجه کرد این است که ما تاکنون فرض می‌کردیم شبکه ارتباطات ساده و بدون وزن هستند. ولی در دنیای واقعی ارتباطات بازه زمانی محدودی دارند و همین بازه می‌تواند نقش وزن پیوندها را در شبکه بازی کند.

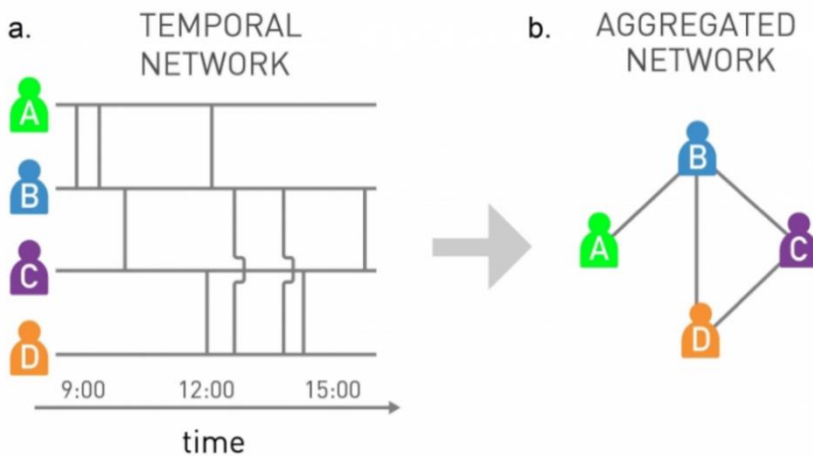
زمان ارتباط افراد در جامعه از توزیع قانون توان پیروی می‌کند، یعنی دنباله ملاقات دو فرد همان دنباله‌ای از بازه‌های زمانی پشت سر هم است که آنها یکدیگر را ملاقات می‌کنند. با

استفاده از قانون توان مشخص می‌شود که شرایطی هم وجود دارد که در بازه زمانی طولانی دو نفر یکدیگر را ملاقات نمی‌کنند.

براباشی در مدل آلبرت-باراباشی نشان دادن که در بسیاری از شبکه‌های اجتماعی گره‌های با درجه بالا تمایل دارند به گره‌های دیگری که درجه بالایی دارند متصل شوند. آیا این ارتباطات مبتنی به درجه روی شیوع بیماری‌ها یا یک رفتار اجتماعی تأثیرگذار است؟

این رابطه بین درجه‌ها می‌تواند جایگزین آستانه شیوع باشد. ارتباطات انتخابی باعث کاهش آستانه شیوع و ارتباطات غیرانتخابی باعث افزایش آستانه شیوع می‌شود [۱۰، ۱۱].

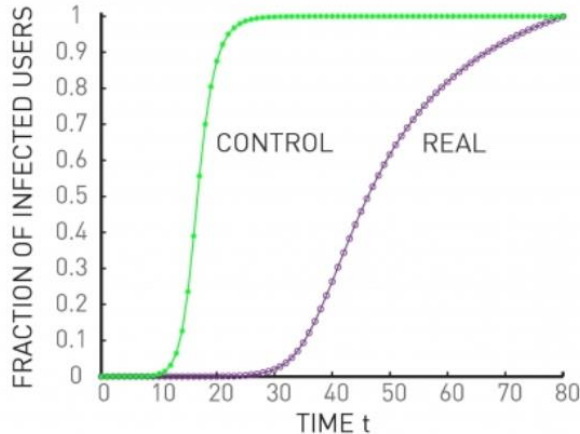
در شبکه ارتباطات زمان‌بندی و مدت‌زمان این ارتباط مهم است و عدم توجه به این نکات باعث بروز خطا در مدل‌سازی شبکه شیوع می‌شود [۱۲]. برای مثال اگر شکل ۲ را در نظر بگیرید با توجه به زمان‌بندی‌ها، بیماری‌ای که از شخص A شروع شده باشد می‌تواند به شخص D برسد ولی بیماری‌ای که از شخص D شروع شده است نمی‌تواند به شخص A برسد.



شکل ۲: تأثیر زمان ارتباطات در شیوع بیماری

فرض کنید در زمان $t=0$ شخصی با اطلاعات خاص داریم. این فرد با افراد دیگر در ارتباط است و با توجه به طول مدت زمانی که با آنها در ارتباط است می‌تواند به آنها اطلاعات انتقال دهد. اگر مدت‌زمان تمام ارتباطات را یک اندازه در نظر بگیریم به چنین شبکه‌ای، شبکه کنترل‌شده می‌گویند، شکل ۳ نشان می‌دهد که در شبکه کنترل‌شده اطلاعات سریع‌تر منتقل می‌شوند و سرعت پایین در شبکه‌های واقعی نشان می‌دهد که اطلاعات در گروه‌های اجتماعی به دام می‌افتند. زیرا ارتباط داخل گروه‌ها قوی است درحالی‌که ارتباط بین دو یا چند گروه

ضعیف است. یعنی اگر اطلاعاتی به یکی از افراد یک گروه برسد به سرعت به بقیه افراد گروه هم می‌رسد ولی چون ارتباط بین گروه‌ها ضعیف است، اطلاعات به‌سختی بین گروه‌ها منتقل می‌شود.



شکل ۳- مقایسه نمودار شیوع در شبکه‌های واقعی و شبکه‌های کنترل شده

سرایت پیچیده

در هر جامعه‌ای نمونه‌های بسیاری برای شیوع است. الگوهای رفتاری، عقاید و ایده‌هایی که شخص به شخص در جامعه منتقل می‌شوند، نمونه‌هایی برای شیوع در یک جامعه هستند که همه آنها اهمیت ارتباطات را نشان می‌دهند [۱۳]. تاکنون به شیوع الگوهای رفتاری توجه بسیاری شده است از بازاریابی [۱۴] گرفته تا علم شبکه [۱۵]، ارتباطات [۱۶] و شبکه‌های اجتماعی [۱۷، ۱۸]. بیماری‌ها و الگوهای رفتاری، الگوی شیوع مختلفی دارند برای پیدا کردن تمایز بین آنها باید سرایت ساده و پیچیده را تعریف کنیم. در سرایت ساده، برای مبتلا شدن تنها کافی است که با یک شخص مبتلا ارتباط برقرار کنیم. اما برای سرایت در زمینه الگوهای رفتاری، محصولات رفتارهای اجتماعی باید سرایت پیچیده را تعریف کنیم، در این سرایت افراد با اولین برخورد با یکدیگر مبتلا نمی‌شوند. یعنی در واقع با اولین برخورد از یک الگوی رفتاری پیروی نمی‌کنند و برای الگوبرداری از یک رفتار نیاز به ارتباطات دائمی با تعداد بیشتری از افراد است که الگوی رفتاری موردنظر را دارند [۱۹]. برای مثال هرچه کسر بیشتری از دوستان یک شخص از محصول خاصی استفاده کنند، آن شخص هم با احتمال بیشتری از آن محصول استفاده خواهد کرد.

۴- مدل تعمیم یافته اپیدمی در حوزه رفتارهای اجتماعی

در مدل اپیدمی که در بخش قبل ارائه شد، فرض شده است که چنانچه یک فرد با یک فرد مبتلا در ارتباط باشد، با احتمال مشخصی مبتلا می‌شود. در مورد پدیده‌های اجتماعی و اخلاقی، معمولاً افراد با یک بار مواجه شدن با یک پدیده غیراخلاقی، به آن مبتلا نمی‌شوند. به عبارت دیگر اگر فردی در بین دوستان و هم‌نشینان خود با فردی که مبتلا به رفتار غیراخلاقی است نشست و برخاست داشته باشد، لزوماً به چنین رفتاری مبتلا نخواهد شد. برای این منظور در مدل تعمیم یافته فرض می‌کنیم که حداقل چند نفر از دوستان و آشنایان یک فرد باید به یک رفتار غیراخلاقی مبتلا باشند تا آن فرد نیز نسبت به انجام آن تشویق یا وسوسه شود. این حد آستانه را β می‌نامیم.

برای مدل‌سازی شیوع یک رفتار ناهنجار در جامعه باید احتمال اینکه فردی از یک رفتار ناهنجار الگوبرداری کند را بررسی کنیم. برای این بررسی پارامترهای زیر را در نظر بگیرید:

N : تعداد کل افراد جامعه

$I(t)$: تعداد افرادی که رفتار ناهنجار دارند

β : سرعت انتقال

$S(t)$: تعداد افراد مستعد

احتمال اینکه هر کدام از این k نفر رفتار ناهنجار داشته باشند برابر با $\frac{I(t)}{N}$ خواهد بود.

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta < k > \frac{S(t)}{N} I(t)$$

در این رابطه فرض کردیم اولین نفر برای شیوع یک رفتار ناهنجار کافی است.

اگر فرض کنیم حداقل α نفر از نزدیکان یک فرد باید رفتار ناهنجاری داشته باشند تا او هم از این رفتارها الگو بگیرد، طبق توزیع دوجمله‌ای که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\binom{n}{i} p^i p^{n-i}$$

احتمال الگوبرداری از رفتاری ناهنجار توسط یک فرد به صورت زیر خواهد بود:

$$\beta \binom{\langle k \rangle}{3} \left(\frac{I(t)}{N} \right)^\alpha \left(\frac{S(t)}{N} \right)^{\langle k \rangle - \alpha}$$

چون گفتیم حداقل α نفر از اطرافیان یک فرد باید رفتار ناهنجار داشته باشند، پس تعداد بیشتر از را هم باید در نظر بگیریم که در نتیجه رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{احتمال مبتلا شدن} = \beta \sum_{i=3}^{\langle k \rangle} \binom{\langle k \rangle}{i} \left(\frac{I(t)}{N} \right)^i \left(\frac{S(t)}{N} \right)^{\langle k \rangle - i}$$

$$\text{احتمال مبتلا شدن} = \beta \sum_{i=3}^{\langle k \rangle} \binom{\langle k \rangle}{i} \left(\frac{I(t)}{N}\right)^i \left(\frac{S(t)}{N}\right)^{\langle k \rangle - i}$$

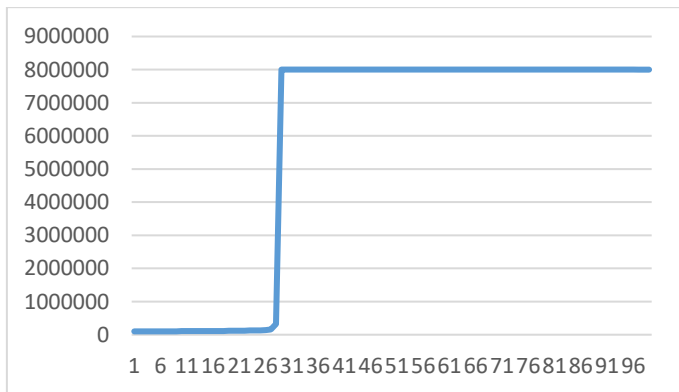
برای شبیه‌سازی لازم است تعیین کنیم در هر گام زمانی چه تعداد از افراد جامعه از رفتار ناهنجار الگو می‌گیرند و آن را تقلید می‌کنند. برای این منظور اگر پارامتر $I(t)$ تعداد افراد مبتلا در زمان t را نشان دهد، آنگاه تعداد افراد مبتلا در $I(t+1)$ از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$I(t+1) = I(t) + \beta S(t) \binom{\langle k \rangle}{i} \left(\frac{I(t)}{N}\right)^i \left(\frac{S(t)}{N}\right)^{\langle k \rangle - i}$$

۵- نتیجه‌گیری

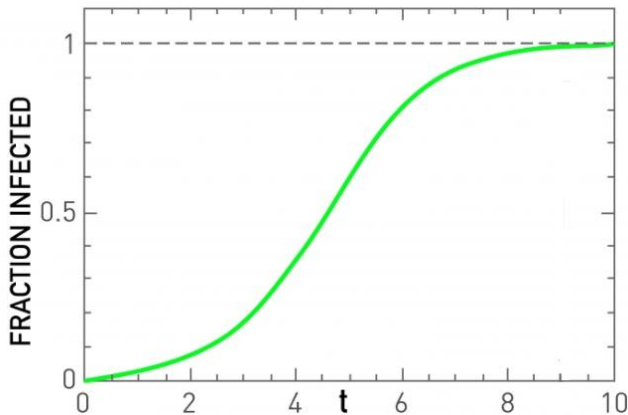
در بخش پیش، الگوی دینامیک رفتارهای اخلاقی یا غیراخلاقی و به‌طور کلی رفتارهای اجتماعی، با استفاده از فرمول‌بندی ریاضی به نمایش گذاشته شد. هر دو مدل باراباشی-آلبرت و مدل تعمیم‌یافته‌ای که به‌طور خاص برای رفتارهای اجتماعی طراحی کردیم، نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد که در شکل‌های ۴ و ۵ به تصویر کشیده شد. نتایج آماری گسترش بیماری‌ها و ویروس‌های کامپیوتری نیز این نتایج را که از فرمول‌ها و محاسبات ریاضی به دست آمده‌اند تأیید می‌کند.

برای هر فرد آستانه‌ای در نظر گرفته شده که اگر تعداد افراد مبتلا که با فردی در ارتباط هستند از این آستانه بیشتر باشد آنگاه آن فرد هم مبتلا می‌شود.



شکل ۴- نمودار تعداد افراد مبتلا به رفتار ناهنجار به ازای $\beta = 0.01$ و $k=100$ ، $N=80,000,000$

آستانه ۱۰



شکل ۵- نمودار تعداد افراد مبتلا به بیماری طبق مدل باراباشی [۲]

نتایجی که در دو شکل مذکور نشان داده شد، بیانگر یک واقعیت بسیار مهم و کلیدی در مبحث اپیدمی رفتارهای اجتماعی است. جامعه تا حدی نسبت به فراگیر شدن چنین رفتارهایی مقاومت می‌کند و چنانچه حد بی‌اخلاقی‌ها یا رفتارهای ناهنجار از یک آستانه مشخص فراتر رود، به یک‌باره کل جامعه درگیر می‌شود. به عبارتی گسترش چنین پدیده‌هایی به صورت هموار و تدریجی اتفاق نمی‌افتد. تا یک نقطه مشخص، که اصطلاحاً به آن حد آستانه یا نقطه شکست می‌گوییم، جامعه مقاومت بسیار زیادی دارد و تعداد افرادی که به رفتار غیرمعارف آلوده شده‌اند، بسیار آرام و کند افزایش پیدا می‌کند. در این مرحله به‌آسانی می‌توان جلوی شیوع رفتارهای نامطلوب را گرفت. اما وقتی تعداد افراد مبتلا از حد آستانه فراتر رود، در مدت‌زمان بسیار کوتاه، کل افراد جامعه آلوده می‌شوند و عملاً راه پیشگیری و اصلاح ناممکن یا بسیار دشوار خواهد بود.

منابع

- Hegselmann, R., Moral Dynamics, in Encyclopedia of Complexity and Systems Science, R.A. Meyers, Editor. 2009, Springer New York: New York, NY. p. 5677-5692.
- Barabási, A.-L., Network science. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2013. 371(1987): p. 20120375.
- Rogers, E.M., Diffusion of Innovations 5th. 2003, Free press.
- Valente, T., Network Models of the Diffusion of Innovations, Hampton Press. Cresskill, NJ, 1995.
- Van de Poel, I., Ethics, technology, and engineering: An introduction. 2011: John Wiley & Sons.

- NSPE Code of Ethics for Engineers. 2019 [cited 2019 October-29]; Available from: <https://www.nspe.org/resources/ethics/code-ethics>.
- Layton Jr, E.T., *The Revolt of the Engineers. Social Responsibility and the American Engineering Profession*. 1986: ERIC.
- Blank, L. and A. Tarquin, *Engineering economy*. 2005: McGraw-Hill.
- Pastor-Satorras, R. and A. Vespignani, Epidemic spreading in scale-free networks. *Physical review letters*, 2001. 86(14): p. 3200
- Goltsev, A.V., S.N. Dorogovtsev, and J. Mendes, Percolation on correlated networks. *Physical Review E*, 2008. 78(5): p. 051105.
- Van Mieghem, P., et al., Influence of assortativity and degree-preserving rewiring on the spectra of networks. *The European Physical Journal B*, 2010. 76(4): p. 643-652.
- Morris, M. and M. Kretzschmar, Concurrent partnerships and transmission dynamics in networks. *Social Networks*, 1995. 17(3-4): p. 299-318.
- Weng, L., F. Menczer, and Y.-Y. Ahn, Virality prediction and community structure in social networks. *Scientific reports*, 2013. 3: p. 2522.
- Aral, S. and D. Walker, Creating social contagion through viral product design: A randomized trial of peer influence in networks. *Management science*, 2011. 57(9): p. 1623-1639.
- Leskovec, J., L.A. Adamic, and B.A. Huberman, The dynamics of viral marketing. *ACM Transactions on the Web (TWEB)*, 2007. 1(1): p. 5.
- Berger, J. and K.L. Milkman, What makes online content viral? *Journal of marketing research*, 2012. 49(2): p. 192-205.
- Jamali, S. and H. Rangwala. Digging digg: Comment mining, popularity prediction, and social network analysis. in *2009 International Conference on Web Information Systems and Mining*. 2009. IEEE.
- Suh, B., et al. Want to be retweeted? large scale analytics on factors impacting retweet in twitter network. in *2010 IEEE Second International Conference on Social Computing*. 2010. IEEE.
- Granovetter, M., Threshold models of collective behavior. *American journal of sociology*, 1978. 83(6): p. 1420-1443.

Abstract

In the last decades, ethics and related issues have become a vital and considerable subject in science and technology. Indeed, in all engineering and scientific fields the ethical policies are developed. The ethical approach in engineering and science tries to use a professional and ethical manner in developing and implementing engineering projects. Having an ethical manner alongside considering the profit gains and being on time is important for protecting the social rights of all people. The basic definitions of ethics, defining the standards for ethics and the rules of professional behaviour are the most considered subjects in these fields. In this area, the professional ethic dynamic is less considered. In this paper, we are aimed to discuss spreading of behaviour in all levels of the society so we take into account the models of dynamic behaviour in society and using the basic theories of network science we try to predict the social behaviour and reaction to special behaviour. This model helps us to better define the ethic dynamic in society.

Keywords: Engineering ethic, Dynamics of ethic, threshold of society resistance