

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱.۱ کلیات
۲	۲.۱ هدف سمینار
۳	۳.۱ ساختار این گزارش
۴	فصل ۲: مفاهیم مربوط به شبکه‌های اجتماعی و اجزای فرایند پخش اطلاعات
۵	۱.۲ مقدمه
۵	۲.۲ شبکه‌های اجتماعی آنلاین
۶	۱.۲.۲ نظریه گراف‌ها
۹	۲.۲.۲ هوموفیلی
۱۱	۳.۲.۲ فرضیه قدرت اتصال‌های ضعیف
۱۲	۳.۲ فرایند پخش اطلاعات
۱۳	۴.۲ یافتن و ردیابی موضوعات مورد توجه در پخش اطلاعات
۱۳	۱.۴.۲ موضوع متنی
۱۴	۲.۴.۲ موضوع‌های انجباری
۱۵	۵.۲ محدودیت در توجه و اقتصاد توجه
۱۶	۶.۲ میم
۱۶	۷.۲ خلاصه‌ی مطالب فصل
۱۷	فصل ۳: مدل‌سازی پخش اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی آنلاین
۱۸	۱.۳ مقدمه
۱۸	۲.۳ مدل‌های پخش اطلاعات

۱۸	۳.۳ مدل‌های انتشار
۱۹	۱.۳.۳ مدل انتشار مستقل
۲۱	۲.۳.۳ مدل انتشار کاوشی
۲۱	۴.۳ مدل‌های آستانه
۲۱	۱.۴.۳ مدل آستانه خطی
۲۳	۲.۴.۳ مدل آستانه اکثربیت
۲۴	۳.۴.۳ مدل آستانه کوچک
۲۴	۴.۴.۳ مدل آستانه توافق همگانی
۲۴	۵.۴.۳ دیگر انواع مدل‌های خانواده‌ی مدل‌های آستانه
۲۴	۵.۳ مدل‌های همه‌گیری
۲۵	۱.۵.۳ SIR مدل
۲۶	۲.۵.۳ SI مدل
۲۸	۳.۵.۳ SIS مدل
۲۸	۴.۵.۳ SIRS مدل
۲۹	۵.۵.۳ دیگر مدل‌های همه‌گیری
۳۰	۶.۳ مدل‌های دیگر پخش اطلاعات
۳۱	۷.۳ خلاصه‌ی مطالب فصل

فصل ۴: نتیجه‌گیری

۳۳	۱.۴ جمع بندی
۳۳	۲.۴ کارهای آتی

مراجع

۴۰	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۴۱	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

فهرست تصاویر

۶	شبکه‌ی اجتماعی	۱.۲.۲
۸	بادبادک K-C	۲.۲.۲
۹	گراف شبکه‌های اجتماعی	۳.۲.۲
۱۰	هموفیلی	۴.۲.۲
۱۱	فرضیه قدرت‌های ضعیف	۵.۲.۲
۱۲	فرایند پخش اطلاعات در یک گراف	۱.۳.۲
۱۳	دید کلی از فرایند پخش اطلاعات	۲.۳.۲
۱۴	پیام‌های در چرخش	۱.۴.۲
۱۵	موضوع‌های مهم	۲.۴.۲
۱۵	خبر انتشار بازی میان کاربران سایت تورنت	۳.۴.۲
۲۰	مدل انتشار مستقل	۱.۳.۳
۲۰	شبیه سازی مدل انتشار مستقل	۲.۳.۳
۲۳	مدل آستانه خطی	۱.۴.۳
۲۶	مدل SIR	۱.۵.۳
۲۷	شبیه‌سازی مدل SI	۲.۵.۳
۲۹	شبیه‌سازی مدل SIRS	۳.۵.۳
۳۰	مدل‌های اصلی پخش اطلاعات	۱.۶.۳

فهرست جداول

۱.۲.۲ خصوصیات مطرح گراف حاصل از شبکه‌های اجتماعی ۷

فصل ۱

مقدمه



۱.۱ کلیات

شبکه‌های اجتماعی جزو جدا نشدنی زندگی جامعه انسانی می‌باشند. در گذشته این شبکه‌ها با محدودیت‌های زیادی جهت مطالعه روبرو بوده‌اند. با گسترش روزافرون شبکه‌های اجتماعی آنلاین در ده سال گذشته بسیاری از محدودیت‌های ارتباطی ناشی از فواصل زیاد جغرافیایی اعضا از بین رفته است، که باعث بزرگ شدن اندازه‌ی شبکه‌های اجتماعی مورد بحث شده است [۱]. همین طور تکنولوژی لازم برای ذخیره و بازیابی و واکاوی اطلاعات مربوط به این شبکه‌های عظیم و کاربرانشان در دسترس می‌باشد.

نمود شبکه‌های اجتماعی مورد بحث سایت‌هایی مانند فیسبوک و گوگل‌پلاس و اورکوت می‌باشند. این سایت‌های کاربران خود سرویس‌هایی ارایه می‌دهند که به کمک این سرویس‌ها اعضا قادر به اشتراک گذاری محتواهای خودشان با دیگران می‌باشند. محتواهای این افراد در ظرف‌هایی مانند متن و تصویر و ویدیو در سطح این شبکه‌ها پخش می‌شود. این امر از این جهت برای محققان مورد علاقه است که محتواهای اجتماعی در جریان در این سایت‌ها قدرت تاثیرگذاری روی رفتار و منش اعضا این شبکه‌ها را به سادگی دارد. از طرف دیگر محتواهای مورد توجه یک کاربر می‌تواند علائق و تمایلات وی به خوبی نشان دهد، از این رو تحقیق و پژوهش در امر چگونگی فرایند پخش محتواهای اطلاعاتی در سطح شبکه‌های اجتماعی آنلاین مورد توجه محققانی از رشته‌های مختلف مانند جامه‌شناسی و اقتصاد و کامپیوتر بوده است.

اولین کارهای مربوط به امر پخش اطلاعات به اوایل قرن بیستم در باره‌ی چگونگی روند بکارگیری فناوری‌های نوین بوده است [۲]. برای نمونه به چگونگی پخش امر استفاده‌ی کشاورزان از دانه‌های اصلاح شده‌ی محصولات به جای دانه‌های مرسوم در چند ایالت آمریکا در دهه‌ی ۳۰ قرن گذشته.

۲.۱ هدف سمینار

در این سمینار به بررسی اجزای مهم تشکیل دهنده‌ی فرایند پخش اطلاعات می‌پردازیم. هم‌چنین مدل‌های ارایه شده برای مدل‌سازی و تحلیل این فرایند را مورد بررسی قرار خواهیم داد. البته پخش اطلاعات را می‌توان از زوایای مختلفی مورد مطالعه و تحقیق قرار داد، مانند طراحی و ساخت مدل‌های توصیفی از فرایند پخش اطلاعات، بررسی موضوعات متنی مورد توجه [۳]، یافتن افراد تاثیرگذار [۴] و پیش‌بینی انتشار [۵] که در این نوشه بیشتر به بعد مدل‌سازی این فرایند پرداخته شده است.



۳.۱ ساختار این گزارش

فصل دوم این نوشه به آشنایی با مفاهیم و مطالب مرتبط پیرامون پخش شدن اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی آنلاین می‌پردازد تا خواننده را با کلیت موضوع مورد بحث و موارد مطرح در زمینه‌ی پژوهش و تجزیه و تحلیل فرایند عنوان این نوشه به طور عام آشناتر کند، همچنین به معرفی چند جز تاثیرگذار امر پخش اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی آنلاین خواهیم پرداخت. لذا در صورت آشنایی با موارد مطرح در این فصل خواننده می‌تواند از این مطالب بگذرد و به فصل دوم برای ادامه‌ی مطالعه مراجعه کند.

در فصل سوم نیز به معرفی و مقایسه‌ی مدل‌های مطرح شده برای مدل‌سازی چگونگی فرایند پخش و همه‌گیری^۱ و شایعه به طور عام و طور خاص‌تر کاربری این مدل‌ها در مدل‌سازی فرایند پخش اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی آنلاین اختصاص داده شده است. فصل چهار هم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مطالب گفته‌شده در فصول پیشین خواهد پرداخت.

^۱ Epidemic

فصل ۲

مفاهیم مربوط به شبکه‌های اجتماعی و اجزای فرایند پخش اطلاعات



۱.۲ مقدمه

در این فصل در ابتدا به معرفی شبکه‌های اجتماعی آنلاین و مفاهیم مرتبط پیرامون آن‌ها مانند هوموفیلی و فرضیه قدرت اتصال‌ها و همین‌طور شرح نمود گرافی این شبکه‌ها می‌پردازیم. در ادامه تعریفی از فرایند پخش اطلاعات به موضوع یکی از فرایندهای مهم در جریان شبکه‌های اجتماعی آنلاین ارایه می‌دهیم. به همراه مابقی تعاریف مرتبط مانند میم و اقتصاد توجه، در انتها به جمع‌بندی آنچه گفته شد می‌پردازیم.

۲.۲ شبکه‌های اجتماعی آنلاین

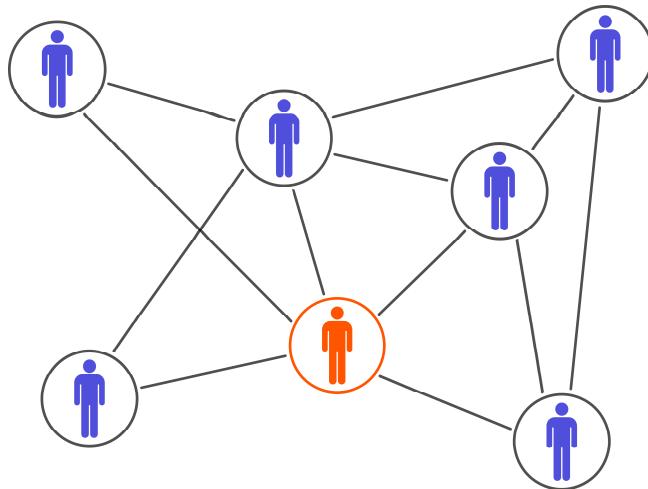
یک شبکه‌ی اجتماعی متشکل از مجموعه‌ای از افراد می‌باشد که باهم به گونه‌ای رابطه دارند [۶]. وجود شبکه‌های اجتماعی پدیده‌ای نوع و تازه نمی‌باشد، ولی ظهور اینترنت و در پی آن برپاشدن سایتهاست مثل توییتر و فیسبوک که چندصد میلیون کاربر فعال در لحظه را بهم متصل می‌کنند سبب از بین رفتن خیلی از محدودیت‌های مکانی و جغرافیایی گذشته برای تشکیل اجتماعات مجازی آنلاین شده است. مثلاً فیسبوک در طول یک ماه به طور متوسط در حدود ۱ میلیارد^۱ [۷] کاربر فعال دارد، کاربران توییتر هم که از مرز چند صد میلیون گذشته اند روزانه حدود ۴۰۰ میلیون توییت ارسال می‌کنند. به طور دقیق‌تر این دو سایت و دیگر وبسایتهاست اجتماعی آنلاین سرویس‌هایی شامل در اختیار قراردادن صفحه‌ای اختصاصی برای پیام‌ها و محتواهای تولیدشده توسط کاربر ارایه می‌دهند. این امر امکان ارتباط کاربر با کاربران دیگر و پیگیری و بهاشتراک‌قراردادن محتوا با دیگران را فراهم می‌سازد [۳].

از لحاظ بزرگی ابعاد داده‌ی تولیدی کاربران این سایتها، چگونگی استخراج دانش و اطلاعات کاربران یکی از بحث‌های داغ روز در حوزه‌ی ابر داده^۲ می‌باشد. برای مثال می‌قدرت ادعا کرد که داده‌ی تولیدی از توییت‌های^۳ کاربران توییتر پیچیده‌ترین نوع داده‌ی تولیدشده در سطح وب می‌باشد [۸]. به طور کلی یکی از موارد مطرح امروزی پیرامون این سایتها چگونگی استفاده از این دریای اطلاعات برای حل مشکلاتی می‌باشد که تا چندی پیش حلشان غیر ممکن می‌نمود.

^۱ فیسبوک به کاربری که در ۳۰ روز گذشته به حساب خود وارد شده باشد و با دیگر اعضا به تعامل پرداخته باشد کاربر فعال می‌گوید.

^۲ Big Data

^۳ توییت به پیام‌هایی اطلاق می‌شود که کاربران توییتر می‌قدرتند تولید و ارسال کنند. این پیام‌ها از کم تراز ۱۴۱ حرفاً تشکیل می‌شوند و می‌قدرتند به همراه هشتگ (رشتمای از حروف که با # شروع شود) و یا فایل تصویری و یا فیلم و پیوند ارسال شوند.



شکل ۱.۲.۲: نمایی کلی از یک شبکه اجتماعی.

۱.۲.۲ نظریه گراف‌ها

نظریه‌ی گراف‌ها علاوه بر کاربردهای فراوانی که در بسیاری از زمینه‌های علمی و مهندسی دارد برای نشان‌دادن و مدل‌سازی ساختار شبکه‌های اجتماعی نیز بکار برده می‌شود. یک شبکه اجتماعی یک گراف پویاست [۶] که رشد و نمو آن و همین‌طور تشکیل پیوندهای جدید در آن تابعی از زمان است. البته در اکثر اوقات از یک تصویر لحظه‌ای [۳] ایستا که ساختار شبکه اجتماعی مورد نظر را در لحظه‌ی خاصی نشان می‌دهد برای توصیف آن شبکه اجتماعی استفاده می‌شود. گراف مورد بحث $G = (V, E)$ به صورت مجموعه‌ای از رأس‌های (گره‌ها) با نام V و مجموعه‌ای از یال‌های (پیوندها) به نام $E = \{e_{ab} | a, b \in V\}$ نشان داده می‌شود. گراف حاصل می‌تواند جهت‌دار و یا بی جهت باشد برای مثال می‌قدرت در توییتر ارتباط‌هایی که دو طرفه می‌باشند، یعنی هر دو طرف توییت‌ها و پیام‌های دیگری را دنبال می‌کند به صورت بی جهت در نظر گرفت و ارتباطاتی را که فقط یک طرف دریافت کننده‌ی توییت‌هاست به صورت جهت‌دار نشان داد. همچنین گراف حاصل می‌تواند وزن دار باشد بدین معنا که به هر عضو مجموعه‌ی E عددی را به موضوع وزن به نام w_e نسبت داد.

گراف‌های مورد بحث در زمینه شبکه‌های اجتماعی دارای خواص مشترک جالبی مثل کمی فاصله هندسی^۴ بین گره‌ها هستند، [۹، ۱۰] که نشان دهنده‌ی Small-world می‌باشد. هم چنین تعداد یال‌های یک گره تابعی از توزیع‌های Heavy-tailed می‌باشد [۱۰]. در جدول صفحه بعد خصوصیت‌های مطرح گراف حاصل از شبکه‌های اجتماعی را مشاهده می‌نمایید.

^۴ Geodetic distance



توضیحات	رابطه	خصوصیت گراف شبکه‌ی اجتماعی
$P(x)$ احتمال این را که گره‌ای از G دارای x یال باشد نشان می‌دهد. ضمناً عدد ثابتی است که با آزمایش محاسبه می‌شود.	$P(x) \sim x^{-\alpha}$	power law degree distribution
L میانگین کوتاه ترین فاصله دو گره دلخواه را نشان می‌دهد که مقدار آن متناسب با تعداد گره‌های گراف شبکه اجتماعی و برابر عدد مثبت کوچکیست.	$(L = \frac{1}{\frac{1}{2}n(n-1)} \sum_{a \geq b} d_{ab}) \sim \log(n)$	small-worldness
$C_D(d)$ نسبت تعداد گره‌های متصل به گره v به کل گره‌ها را نشان می‌دهد.	$C_D(v) = \frac{\deg(v)}{n-1}$	degree centrality
$C_C(v)$ متوسط طول کوتاه‌ترین مسیر هندسی از گره v تا بقیه گره‌ها را برای گراف همبند G نشان می‌دهد. طول $d_G(v, t)$ کوتاه‌ترین مسیر میان دو گره v و t است.	$C_C(v) = \frac{1}{\sum_{t \in (\{V\} - v)} d_G(v, t)}$	closeness centrality(connected graph)
مانند تعریف قبلی با این تفاوت که برای گراف‌های ناهمبند هم قابل استفاده است.	$C_C(v) = \sum_{t \in (\{V\} - v)} 2^{-d_G(v, t)}$	closeness centrality(disconnected graph)
$C_B(v)$ برابر مجموع نسبت تعداد کوتاه‌ترین مسیرهایی می‌باشد که از گره v می‌گذرند به تعداد کل کوتاه‌ترین مسیرهای درون یک گراف. ضمناً $\sigma_{st}(v)$ تعداد کوتاه‌ترین مسیرهایی که بین دو گره s و t وجود دارند و از گره v می‌گذرند. هم تعداد کل کوتاه‌ترین مسیرها مابین دو گره s و t را نشان می‌دهد.	$C_B(v) = \sum_{(s \neq v \neq t) \in \{V\}} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}(*)}$	betweenness centrality
C_i نشان‌دهنده‌ی تعداد اتصال‌ها میان همسایگان گره i تقسیم بر کل اتصال‌هایی که همسایگان گره i می‌توانند داشته باشند. N_i مجموعه‌ی همسایگان گره i و k_i تعداد یال‌های متصل به گره i را نشان می‌دهند (برای گراف جهت دار ضریب ۲ در صورت کسر حذف می‌شود).	$C_i = \frac{2 \{e_{jk}: v_j, v_k \in N_i, e_{jk} \in E\} }{k_i(k_i-1)}$	local clustering coefficient(undirected graphs)
clustering coefficient میانگین گراف شبکه‌ی اجتماعی.	$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$	global clustering coefficient

جدول ۱.۲.۲: خصوصیات مطرح گراف حاصل از شبکه‌های اجتماعی

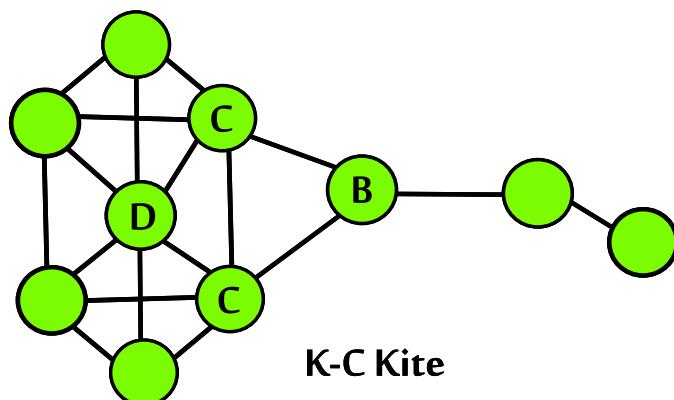
مدل‌های گرافی متداول و معمول مورد استفاده برای توصیف گراف‌های اجتماعی عبارتند از:

۱. [۱۱]: اولین مدل توصیف گراف می‌باشد که در سال ۱۹۶۰ ارایه گردید. Erdős–Rényi model. اسم دیگر این مدل گراف تصادفی است.

۲. [۱۲]: این مدل که در سال ۱۹۹۸ ارایه گردید خصیصه small-worldness Watts–Strogatz model را به خوبی مدل می‌کند.

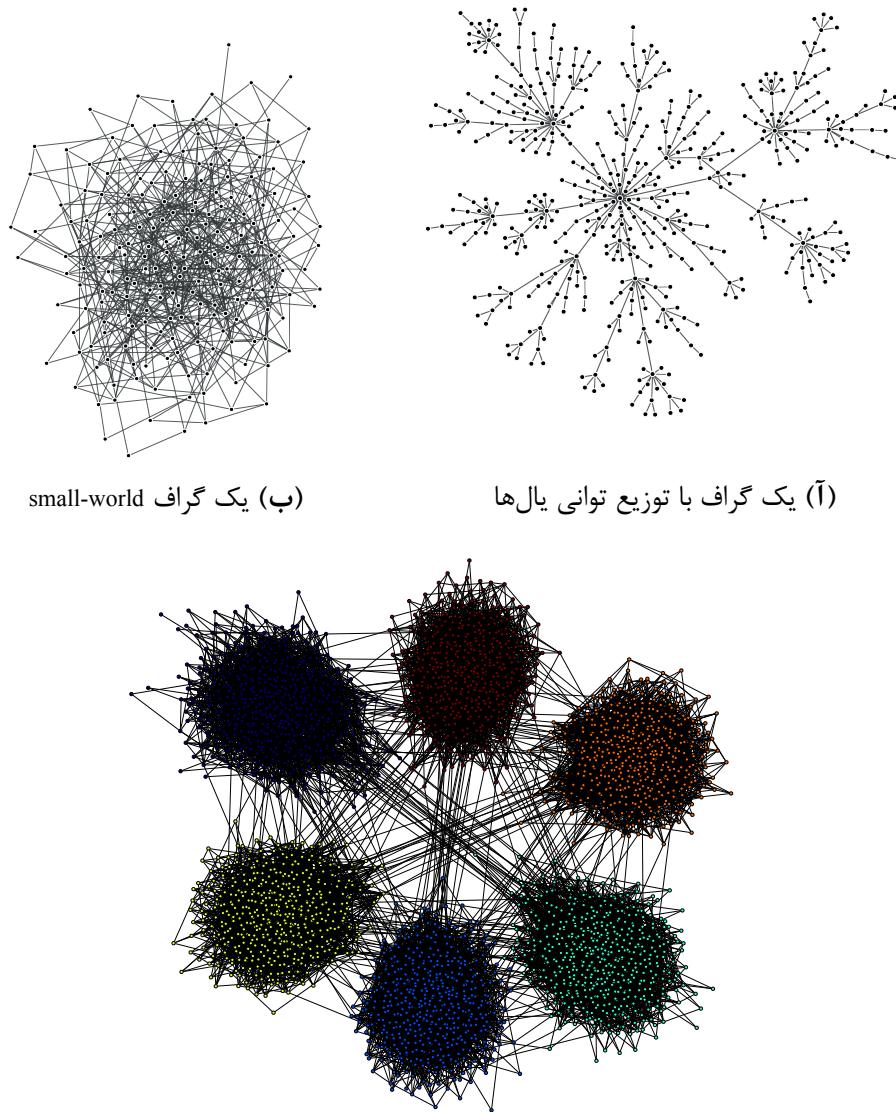
۳. [۱۳]: این مدل در سال ۱۹۹۹ ارایه گردید. Albert–Barabási model. به خوبی مدل کردن قانون احتمال توانی وجود گره‌هایی با اتصالات بسیار زیاد در گراف حاصل است. ضمناً این مدل تنها مدل دارای خاصیت رشد است، بدین معنا که تعداد راس‌ها از ابتدا مشخص نیست و به مرور به گراف آغازین بر اساس مفهوم Preferential Attachment (گره‌های جدید تمایل دارند به گره‌هایی که یال‌های بیشتری بدان‌ها متصل هستند متصل شوند.) اضافه می‌شوند. اسم دیگر این مدل، گراف scale-free است.

علاوه بر سه مدل مذکور روش‌های دیگری نیز برای تولید گراف‌هایی با خصوصیات شبیه گراف شبکه‌های اجتماعی نیز وجود دارد. برای نمونه گراف حاصل از اعمال ضرب کرونکر^۵ [۱۴] و گراف‌های ساخته شده به روش Forest Fire [۱۵] خصوصیاتی مانند کوچکی فاصله هندسی رئوس به همراه قانون توزیع توانی درجه رأس‌ها را دارا می‌باشند.



شکل ۲.۲.۲: گرافی که می‌بینید به بادبادک K-C معروف است، در این گراف گره‌هایی که بیشترین مقادیر Centrality را دارند با حرف اول نوع آن مشخص شده اند.

^۵ Kronecker product



(ج) وجود خوشه‌هایی از گره‌ها در گراف شبکه‌های اجتماعی

شکل ۳.۲.۲: شکل گراف شبکه‌های اجتماعی

۲.۲.۲ هوموفیلی

وجود هوموفیلی^۶ میان اعضا یکی از خصوصیات بنیادین شبکه‌های اجتماعی می‌باشد. هوموفیلی از طرفی به معنای شباهت یک فرد با افراد مرتبط و همسایگان وی در شبکه‌ی اجتماعی مورد نظر از دید ابعاد مختلف خصوصیتی منتبس بدان فرد مثل سن و علاقه و نژاد می‌باشد [۱۶]. از طرف دیگر هوموفیلی را می‌قدرت افراد جامعه به تشکیل رابطه با دیگر اعضای شبیه به خودشان

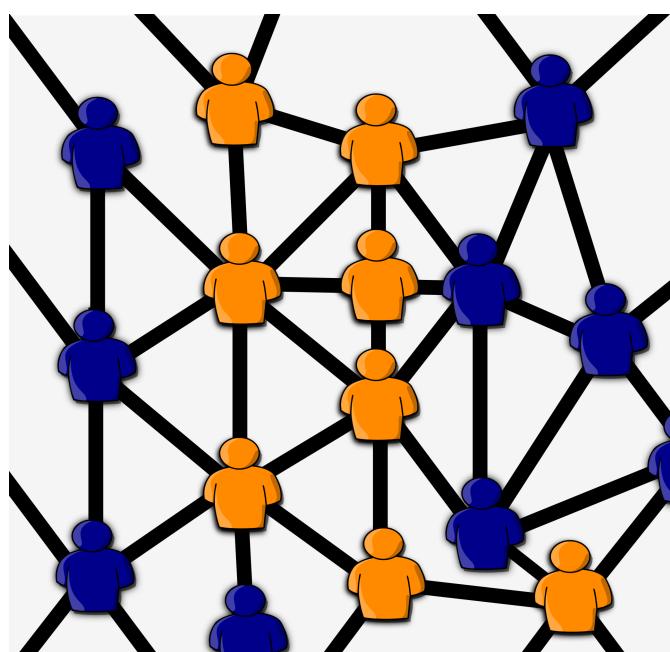
^۶ Homophily

دانست. خصوصیات مورد بحث درباره‌ی هوموفیلی می‌قدرند قابل تغییر (وزن و علائق) و یا غیر قابل تغییر (نژاد و جنس) باشند [۱۶]. وجود هوموفیلی میان اعضا به دلیل اینکه مجموعه‌ی همسایگان یک فرد در یک شبکه‌ی اجتماعی یک مجموعه‌ی تصادفی از کل اعضای شبکه‌ی اجتماعی نیست می‌تواند یک نتیجه طبیعی مقایسه‌ی فرد انتخاب شده با همسایگانش باشد [۱۶]. سه عامل زیر برای وجود هوموفیلی در شبکه‌های اجتماعی متصوراند [۱۶]:

تأثیر اجتماعی^۷ : افراد تمایل دارند مانند دوستان خود رفتار کنند و این امر باعث می‌شود که در یک شبکه‌ی اجتماعی افراد رفتارشان تحت تاثیر همسایگانشان باشد.

انتخاب : افراد تمایل دارند با افرادی که از ابتدا به آن‌ها شبیه‌ند همسایه شوند.

متغیرهای مخفی : متغیرهای دیگری جز دو مورد فوق الذکر که در رفتار افراد جامعه تاثیر گذارند.



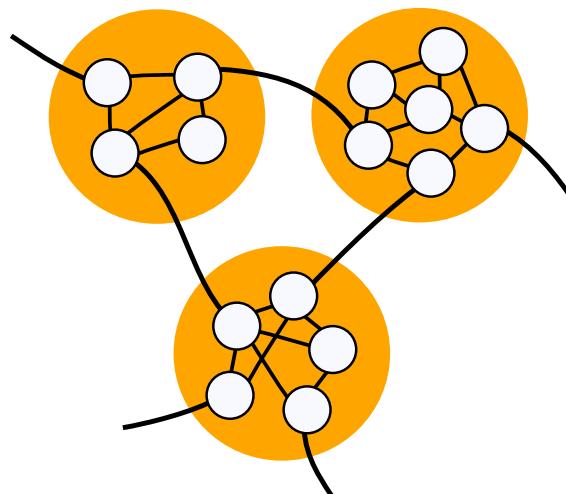
شکل ۴.۲.۲: هوموفیلی: در شبکه‌های اجتماعی اکثر همسایگان و دوستان یک فرد دارای صفات شبیه به صفات آن فرد می‌باشند.

مقدار هوموفیلی در یک شبکه‌ی اجتماعی یک عامل مهم برای بزرگی اندازه‌ی گروه هاست [۹] به طوری که با فرض اینکه افراد با هوموفیلی بالا معمولاً تمایل زیادی با برقراری رابطه تنها با افراد شبیه به خودشان دارند، در این صورت هوموفیلی زیاد نشان دهنده‌ی گروه‌های کوچک‌تر و کوچکی میزان هوموفیلی نشان دهنده‌ی وجود گوناگونی در صفات همسایگان در یک شبکه‌ی اجتماعی است. از طرفی یکی از پیامدهای پدیده‌ی پخش اطلاعات و نمودهای سطح بالای آن تاثیر آن در رفتار اعضا

می‌باشد. هوموفیلی به موضوع یکی از موارد دخیل در شکل‌گیری و نمو گراف ساختار شبکه‌های اجتماعی که فرایند پخش اطلاعات روی آن‌ها صورت می‌پذیرد مورد توجه پژوهش‌گران در زمینه پدیده‌ی پخش اطلاعات می‌باشد [۱۷].

۳.۲.۲ فرضیه قدرت اتصال‌های ضعیف

مارک گرانوت در سال ۱۹۷۳ نظریه قدرت اتصال‌های ضعیف^۸ را مطرح نمود که یکی از پیامدهای آن تاکید بر تاثیری می‌باشد که اتصال‌های ضعیف و به عبارتی پل‌ها^۹ در گراف شبکه‌های اجتماعی در انتقال اطلاعات و تسهیل امکان ارتباط میان زیرجوامع^{۱۰} جدا از هم بازی می‌کنند. به زبان ساده‌تر بر اساس این نظریه اتصال‌های ضعیف (برای نمونه پل‌ها) با اینکه قادر به انتقال حجم زیادی از اطلاعات نیستند باز نقش مهمی در جابجایی نوآوری و اطلاعات نوع در سطح شبکه‌های اجتماعی ایفا می‌کنند. از طرفی وجود اتصال‌های ضعیف زیاد می‌تواند به کندی فرایند پخش بیانجامد [۱۶، ۳]. هم‌چنین بر طبق قدرت اتصال‌های اجتماعی با تعداد تکرار آن اتصال در دایره‌های اجتماعی اعضا رابطه دارد.



شکل ۵.۲.۲: نمایی از اتصال‌های قوی(نازک‌تر) و ضعیف(کلفت‌تر) میان اعضاء.

قدرت اتصال‌ها میان گره‌ها در یک شبکه‌ی اجتماعی که به صورت یک گراف مدل شده است به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Strength_{ab} = \frac{N(a,b)}{d(a)-1 + d(b)-1 - N(a,b)}$$

^۸ Strength of Weak Ties

^۹ Bridge

^{۱۰} Sub-Community

در این فرمول $N(a, b)$ نشانده‌ی همسایه‌های مشترک گره‌های a و b است. $d(x)$ هم نشانده‌نده‌ی تعداد یال‌های متصل به گره x می‌باشد. برای یک گراف بی‌جهت $Strength_{ba} = Strength_{ab}$ خواهد بود.

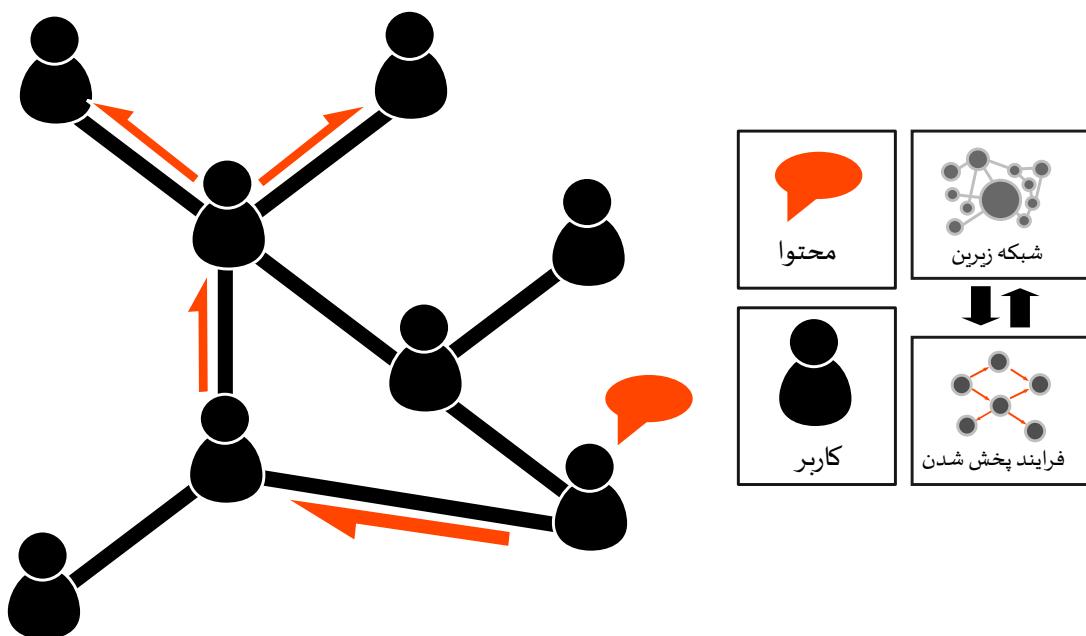
۳.۲ فرایند پخش اطلاعات

فرایند پخش شدن اطلاعات به جایه جایی اطلاعات(دانش) از فردی به فرد دیگر در یک شبکه اجتماعی و ارتباطی اطلاق می‌شود [۱۹]. این فرایند با درنظر گرفتن زیرساخت یک شبکه اجتماعی که معمولاً با یک گراف ایستا نمایش داده می‌شود، دارای اجزای اصلی زیر است [۲۰]:

افراد کسانی که محتوا را تولید و مصرف می‌کنند.

محتوا انواع مختلف اطلاعات مثل خبر و توبیت و عکس.

شبکه ارتباطات شبکه‌ی زیرین افراد و روابط آن‌ها که تحت تاثیر فرایند پخش اطلاعات قرار دارد و همین طور ساختار آن این فرایند را تحت تاثیر قرار می‌دهد.



شکل ۱.۳.۲: نمایی کلی از فرایند پخش اطلاعات در یک گراف شبکه‌ی اجتماعی.

البته اجزای این فرایند در [۱۹] به صورتی سطح بالاتر به شکل زیر تعریف شده است:

فرستنده‌ها مجموعه‌ای معمولاً کوچک از افراد که امر پخش با آن‌ها شروع می‌شود.

گیرنده‌ها مجموعه‌ای از افراد با جمعیتی بسیار زیادتر از فرستنده‌ها که محتوای فرستنده‌ها را دریافت می‌کنند.

ظرف ظرفی که محتوای اطلاعاتی مورد تبادل می‌شود. برای مثال پیام‌های یک کاربر در فیسبوک که توسط دوستانش دیده می‌شود.

اطلاعات مورد بحث در اینجا می‌قدرتند یکی از موارد شایعه یا بکارگیری یک تکنولوژی نوین و یا یک خبر و حتی یک تاثیر اجتماعی که در حال فراگیری و پخش در سطح شبکه اجتماعی است باشد.



شکل ۲.۳.۲: نمایی کلی از پخش اطلاعات به صورت عمومی.

۴.۲ یافتن و ردیابی موضوعات مورد توجه در پخش اطلاعات

ردیابی و شناسایی موضوعات مورد توجه در سایت‌های اجتماعی آنلاین و به طور عام سایت‌های خبری و میکروبلاگینگ^{۱۱} مثل ارکوت^{۱۲} و توییتر معمولاً در قالب شناسایی نوع موضوع شناسایی شده انجام می‌شود [۲۱].

۱.۴.۲ موضوع متنی

در یک شبکه اجتماعی یک موضوع متنی عبارت است از یک مجموعه از عبارات مرتبط از لحاظ معنای کل که به یک مفهوم مشترک اشاره دارد [۳].

طبق این تعریف عبارت موضوع برای محتوای پیام‌های متنی تعریف شده است. از طرفی می‌قدرت این تعریف را به سه گونه تفسیر کرد:

الف مجموعه‌ای از عبارات به نام S و $|S| = 1$

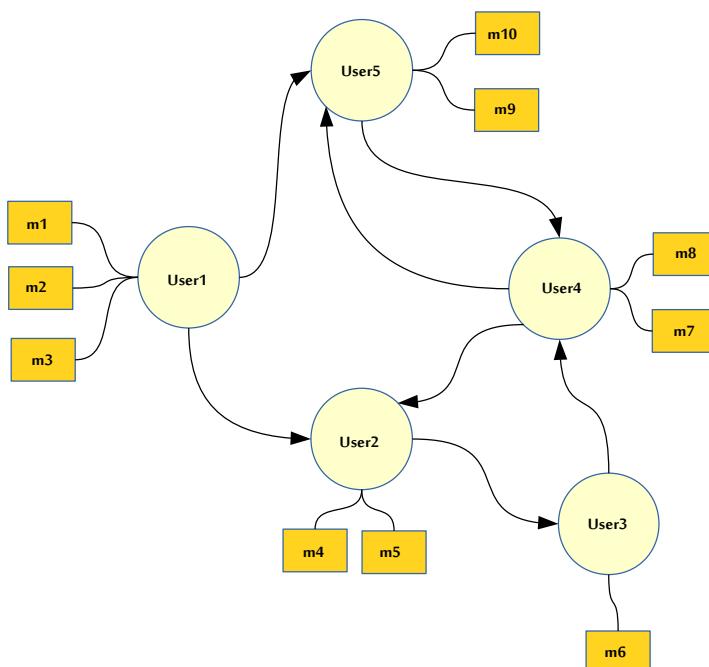
^{۱۱} Microblogging

^{۱۲} Orkut

ب مجموعه‌ای از عبارات به نام S و $|S| > 1$

ج مجموعه‌ای از عبارات به نام S و توزیع احتمال عبارات موجود در S

البته باید در اینجا باید متذکر شویم که فرض ما در ادامه‌ی این فصل بر این خواهد بود که منظور از عبارت موضوع همان موضوع محتوای متنی می‌باشد، و هر نوع موضوع مورد بحثی از این نوع است.

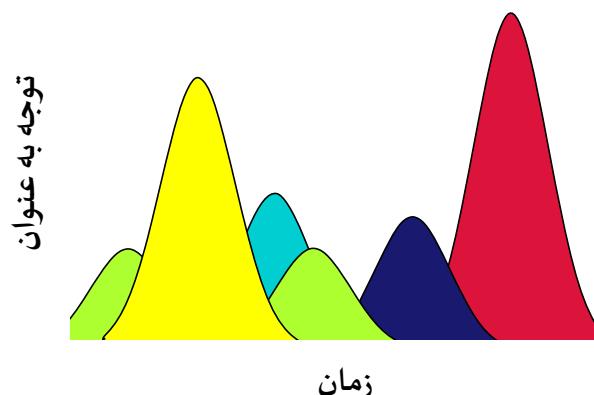


شکل ۱.۴.۲: نمایی از چرخش پیام‌ها مابین کاربران [۳].

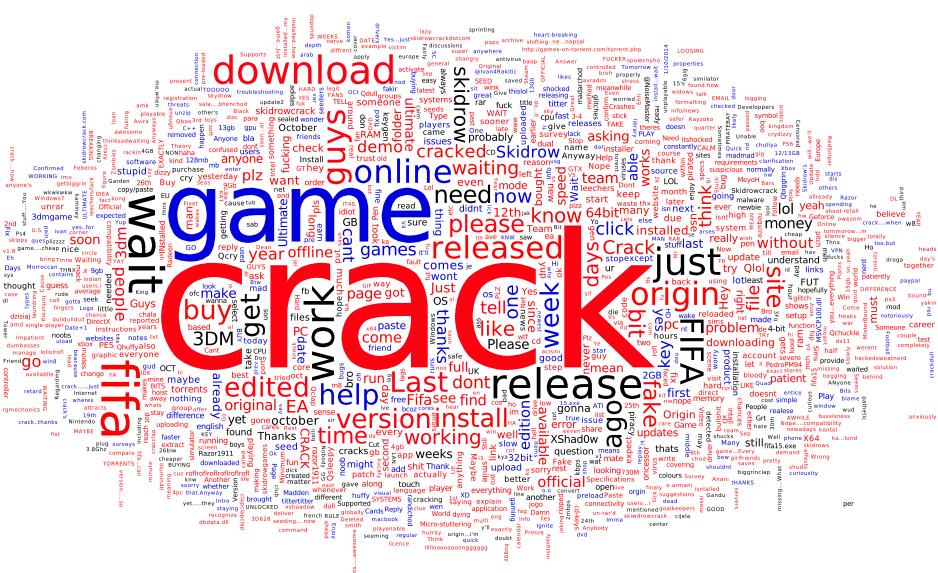
۲.۴.۲ موضوع‌های انفجاری

موضوع‌های انفجاری^{۱۳} به موضوع‌های خبری گفته می‌شود در بازه‌ی زمانی مشخصی روی رفتار کاربران سایت‌های اجتماعی تاثیر می‌گذارند و این تاثیر قابل رصد می‌باشد. خاصیت اصلی این موضوعات محدود بودن مدت زمان تاثیر آنها به بازه‌ی مورد بحث است به طوری که پیش از شروع زمان بازه و همین گونه پس از آن اثری از رابطه‌ی موضوع و تاثیر آن زیاد به چشم نمی‌آید [۳]. همه‌ی کارهای انجام گرفته در این زمینه درباره‌ی شناسایی و ردیابی موضوعات برای داده‌ی متنی محض می‌باشد.

^{۱۳} Bursty Topics



شکل ۲.۴.۲: نمایی از میزان توجه به موضوعات مهم که فرایندی انفجاری را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۳.۴.۲: نمایی از WordCloud کلماتی که کاربران سایت KickAss.to با هم درباره بازی Fifa 15 از تاریخ ۱۸ سپتامبر تا ۵ اکتبر ۲۰۱۴ رد و بدل نموده اند.

۵.۲ محدودیت در توجه و اقتصاد توجه

بر طبق نظریه دانبر [۲۲] یک انسان امروزی قادر به برقراری رابطه اجتماعی پایدار با تعداد محدودی از دیگر اعضای جامعه می‌باشد. از طرفی بر طبق نظریه اقتصاد توجه که توسط سیمون [۲۳، ۲۴]



طرح شده است حجم زیاد اطلاعات نیازمند (همان مقدار) توجه می‌باشد، حجم این اطلاعات (موجود در شبکه‌های اجتماعی آنلاین) بسیار بیشتر از قدرت توجه و دریافت افراد این جوامع می‌باشد. برای نمونه شبکه‌های اجتماعی آنلاین مانند توییتر که کاربران آن داده‌های بسیار زیاد و متنوعی را در قالب پیام‌های بسیار فشرده تولید می‌کنند. یکی از موارد مهمی که از دو مورد مطرح شده برداشت می‌شود وجود محدودیت برای توجه به محتوای موجود در سایتی مثل توییتر است. چنین فرضی در مطالعه چگونگی فرایند پخش اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی آنلاین مورد توجه می‌باشد.

۶.۲ میم

میم^{۱۴} به معنی ایده و یا رفتار و یا همین‌گونه منشی است که در یک فرهنگ از فردی به فرد دیگر قابل انتقال و سرایت است [۲۵]، به زبان ساده‌تر همان‌گونه که ژن‌ها واحد انتقال خصایص یک موجود زنده به فرزندانش هستند میم هم واحد انتقال مفاهیم و ایده‌ها و رفتارها در فرهنگ‌های حاکم در جوامع انسانی می‌باشد. ریچارد داکینز اولین بار این مفهوم را در کنار مفهوم تکامل و انتقال خواص ژنتیک از نسلی به نسل بعد به خاطر شباهت بین این دو مورد، به کار برده است [۲۶]. با توجه به گوناگونی زیاد نوع‌های رسانه‌های آنلاین و نیاز به مفهومی خنثی از محتوای رسانه‌های اجتماعی آنلاین میم در تحقیق در زمینه‌های چگونگی انتشار و پخش افکار و اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی آنلاین مورد توجه می‌باشد، برای نمونه [۳۰، ۲۹، ۲۸، ۳۱، ۲۷].

۷.۲ خلاصه‌ی مطالب فصل

در این فصل در ابتدا شبکه‌های اجتماعی و موارد مهم مربوط به این شبکه‌ها از قبیل هوموفیلی و فرضیه اتصال‌های ضعیف به همراه موضوع و نوع انفجاری آن تعریف و توضیح داده شدند. همین طور نشان دادیم که برای مدل‌سازی این شبکه‌ها از نظریه گراف‌ها استفاده می‌شود. همچنین دو تعریف برای فرایند پخش اطلاعات ارایه شد که در پی آن‌ها مفهوم‌های میم و اقتصاد توجه به موضوع بعضی از عناصر تاثیرگذار در فرایند پخش اطلاعات معرفی شدند.

^{۱۴} Meme

فصل ۳

مدل سازی پخته اطلاعات در شبکه های اجتماعی آنلاین



۱.۳ مقدمه

در این فصل به معرفی مدل‌های مطرح شده برای فرایند پخش اطلاعات خواهیم پرداخت. در ادامه توضیحی مختصر برای تک تک این مدل‌ها به همراه یک طبقه بندی براساس خصوصیات مدل‌های مورد نظر ارایه شده است. سرانجام مدل‌های معرفی شده را مقایسه می‌کنیم و سرانجام هم ارجاع‌های لازم برای مطالعه بیشتر برای انواع مدل‌های مشتق شده از مدل‌های اولیه و اصلی داده خواهند شد. ضمناً در این فصل کلمات گره و رأس و همین‌طور یال و اتصال دو به دو متراffد هم می‌باشند.

۲.۳ مدل‌های پخش اطلاعات

در گذشته از مدل‌های همه گیری مریضی‌های مسری مانند سل برای مدل‌سازی فرایند پخش اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی استفاده شده است [۶، ۹]. در سال‌های اخیر مدل‌های مانند مدل انتشار مستقل^۱ و مدل آستانه خطی^۲ در زمینه بررسی الگوریتمیک فرایند پخش به این دسته از مدل‌ها اضافه شده‌اند. دو مدل LT و IC به صورت امروزی نخستین بار در [۳۲] برای بررسی مسئله‌ی حداکثر سازی تاثیر اجتماعی افراد یک شبکه‌ی اجتماعی برای پذیرفتن و ترویج نوآوری پیشنهاد شده‌اند. این دو مدل و همین‌طور مدل‌های همه گیری جزو مدل‌های اصلی فرایند پخش اطلاعات می‌باشند که مشتقات زیادی برای آنان ارایه شده است. هم چنین مدل‌هایی براساس نظریه بازی‌ها^۳ و همین‌طور مدل‌هایی بر پایه زنجیره‌های مارکوف پیوسته زمان برای مدل‌سازی و بررسی فرایند پخش اطلاعات پیشنهاد شده‌اند، که در بخش پایانی این فصل ارجاع‌های مربوط به این مدل‌ها برای مطالعه‌ی بیشتر خواننده داده شده است.

۳.۳ مدل‌های انتشار

در این بخش به معرفی و تشریح مدل‌های انتشار مطرح برای مدل‌کردن فرایند پخش اطلاعات می‌پردازیم.

^۱ Independent Cascading Model

^۲ Linear Threshold Model

^۳ Game Theoric Models



۱.۳.۳ مدل انتشار مستقل

مدل انتشار مستقل جزو دو مدل اصلی و مطرح برای مدل‌سازی فرایند پخش اطلاعات در سطح شبکه‌های اجتماعی است. ریشه‌ی این مدل به مدل‌های حرکت ذرات در فیزیک باز می‌گردد [۳۴]. به طور کلی این مدل و مشتقات آن‌ها برای مدل‌سازی پذیرش و استفاده‌ی چیزهای جدید و تاثیرگذار در بستر شبکه‌های اجتماعی به کار رفته شده‌اند. در این مدل بستر پخش اطلاعات یک گراف جهت‌دار ایستا $G = (V, E)$ در نظر گرفته می‌شود که V و E به ترتیب مجموعه‌های گره‌ها و یال‌های G می‌باشند. هر اتصال یعنی وجود یک یال جهت دار از گره n به گره x در این شبکه به صورت (n, x) که $e = n \neq x$ تعریف می‌شود. برای هر گره مانند n مجموعه‌ی فرزندان n یا C_n به صورت $\{x; x \in (n, x)\}$ تعریف می‌شود و همین‌طور تابع والدین n هم به نام H_n به صورت $\{x; x \in (x, n)\}$ تعریف می‌شود.

در این مدل در ابتدا به هر یال جهت دار e عدد مثبت p_{nx} با شرط $0 < p_{nx} < 1$ نسبت داده می‌شود. به p_{nx} احتمال پخش (n, x) هم گفته می‌شود. فرایند پخش با انتخاب یک مجموعه‌ی آغازین به نام $D(0)$ از گره‌های شبکه‌ی مورد مطالعه شروع می‌شود، بدین صورت که با فرض این امر که در اینجا نیز هر گره می‌تواند در یکی از دو حالت فعال و یا غیر فعال باشد، گره‌هایی که در $D(0)$ قرار دارند در حالت فعال فرض می‌شوند و در هر گام زمانی $t = \{0, 1, \dots, w\}$ یک گره فعال مانند n می‌تواند هر گره فرزند غیر فعال خود مانند x را با احتمال p_{nx} فعال کند. باید توجه داشت در صورتی که چند گره والد گره‌ای مانند n در گام t فعال باشند ترتیب اعمال احتمال فعال سازی n توسط یکی از آن‌ها به صورت اختیاری و بدون در نظر گرفتن اولویت خاصی در نظر گرفته می‌شود و تنها امر مهم این است که فعال سازی برای n از طرف گره‌های والدش باید همگی در گام t انجام پذیرد. ضمناً در این مدل جدا از فعال شدن و یا فعال نشدن گره فرزند در گام t هر گره والد تنها یک بار فرصت فعال سازی گره فرزند خود را دارد. اجرای فرایند انتشار مستقل وقتی دیگر گره‌ای را نتوان فعال کرد خاتمه می‌یابد. در زیر تابع فعال سازی و مجموعه‌ی θ برای یال دلخواه e را مشاهده می‌کنید.

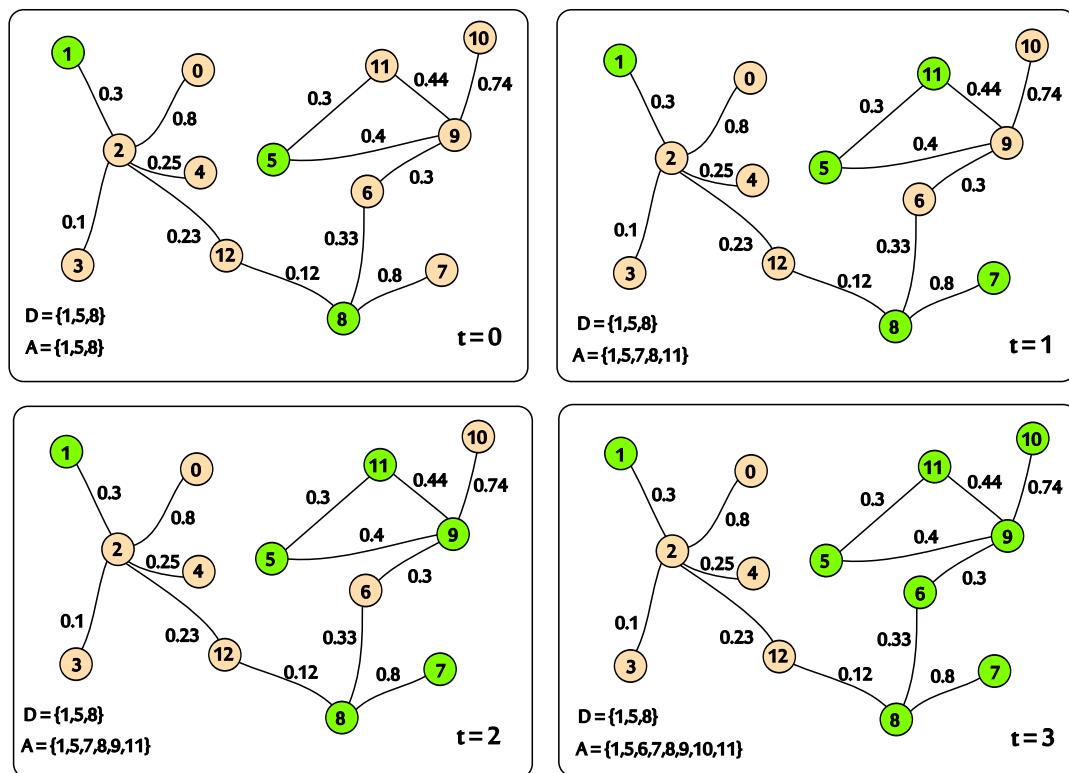
$$Y_1(e_i) = p_{e_i}; \theta = \{p_{nx}; (n, x) \in E\}$$

به کمک مجموعه‌ی θ می‌توان تابع درجه تأثیرگذاری هر گره یا تعداد گره‌های فرزند گره مورد بحث را که احتمال می‌دهیم در گام بعدی فعال باشند به صورت زیر تعریف کرد.

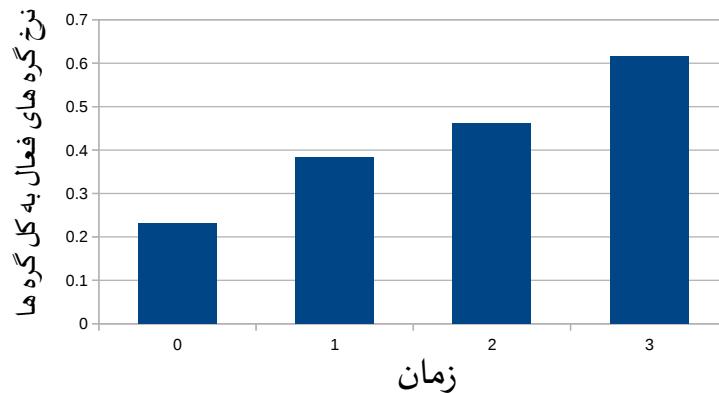
$$Y_2(n) = \mu(n, \theta)$$

در اینجا یکی از موارد مهم یافتن آن دسته از گره‌های فعال اولیه خواهد بود (به طور دقیق‌تر k گره) که با انتخاب به عنوان مجموعه‌ی گره‌های فعال اولیه، حداقل پخش اطلاعات را با استفاده از

این مدل حاصل می‌آورند. اگر بخواهیم $\mu(n, \theta_0)$ را برای رتبه بندی گره‌ها برای امر ذکر شده محاسبه کنیم، با فرض اینکه θ_0 نشانده‌نده‌ی مجموعه‌ی واقعی احتمال‌های پخش برای کل شبکه‌ی ما می‌باشد چون مجموعه‌ی θ_0 را نمی‌توان در اکثر اوقات پیدا کرد می‌توان بهجای $\mu(n, \theta_0)$ میزان $\hat{\mu}(n, \theta)$ را برای گره‌های اولیه محاسبه برای رتبه دهی گره‌ها از نظر تأثیر گذاری روی فرایند پخش اطلاعات محاسبه نمود. در اینجا $\hat{\theta}$ مجموعه احتمالاتی است که به صورت تجربی و تقریبی برای گره n پیدا شده است.



شکل ۱.۳.۳: شبیه سازی فرایند کار مدل انتشار مستقل با ۳ گره فعال اولیه.



شکل ۲.۳.۳: روند پخش در حین شبیه سازی فرایند کار مدل انتشار بالا.



۲.۳.۳ مدل انتشار کاهشی

مدل انتشار کاهشی^۴ در مقایسه با مدل انتشار مستقل عملی تر و عمومی تر می‌باشد. در این مدل اگر S نشان دهنده مجموعه گرهایی باشد که در گذشته سعی در فعال سازی گره v نموده اند ولی موفق به این کار نشده اند باشد و هم چنین $p_v(u|S)$ نشاندهنده احتمال فعال سازی v توسط u باشد وقتی $S \subset T$ در این مدل $p_v(u|T) \geq p_v(u|S)$ خواهد بود. به زبان ساده تر در این مدل احتمال فعال سازی گرهایی که در زمان گذشته تلاش برای فعال سازیشان با شکست رویه رو شده باشد کاهش می‌یابد که با نتایج به دست آمده در دنیای واقعی تطابق دارد.

۴.۳ مدل‌های آستانه

در این بخش به معرفی و تشریح مدل‌های خانواده‌ی آستانه که برای مدل کردن فرایند پخش اطلاعات ارایه شده اند می‌پردازیم.

۱.۴.۳ مدل آستانه خطی

مدل آستانه اولین بار برای مدل سازی رفتار جمعی افراد یک جامعه توسط مارک گرانووتر در سال ۱۹۷۸ مطرح شده است [۳۵]. این مدل و مدل‌های مشتق شده از آن برای مدل سازی تأثیر همسایگان در یک شبکه‌ی اجتماعی بر رفتار اعضاء و پیش‌بینی تأثیر پذیری اعضاء از هم برای مقاصدی چون تبلیغات به کار گرفته شده اند [۳۶]. فکر اصلی این مدل از نظریه‌های جامعه شناسی گرفته شده است و فرض را بر این می‌گذارد که خیلی از چیزها مانند خرید یک کالای جدید و یا شنیدن خبری تازه توسط یک فرد تحت تأثیر کردار همسایگانش در یک اجتماع است. به طور دقیق تر در مدل آستانه خطی مجموعه‌ی $\{1, \dots, n\} = V$ متشکل از گره‌های (افراد) گراف شبکه‌ی اجتماعی مورد مطالعه به صورت $(V, E) = G$ مفروض است. در اینجا هم مانند مدل انتشار مستقل مجموعه‌ی E نشان دهنده‌ی یال‌های گراف G می‌باشد که گرافی ایستا و جهت دار و بدون طوقه است. مجموعه‌ی همسایگان یک گره در G در این مدل به صورت $N_n = \{(n; (n, x)) \in E\}$ تعریف می‌شود که معادل مجموعه‌ی فرزندان برای مدل انتشار مستقل می‌باشد و به زبان ساده شامل گره‌هاییست که می‌توانند به طور مستقیم تحت تأثیر گره n قرار گیرند.

در این مدل در لحظه‌ی $t = 0$ مانند مدل انتشار مستقل زیرمجموعه‌ای از V به حالت فعال در می‌آید، به طور دقیق این مجموعه‌ی فعالان آغازین را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

^۴ Decreasing Cascade Model



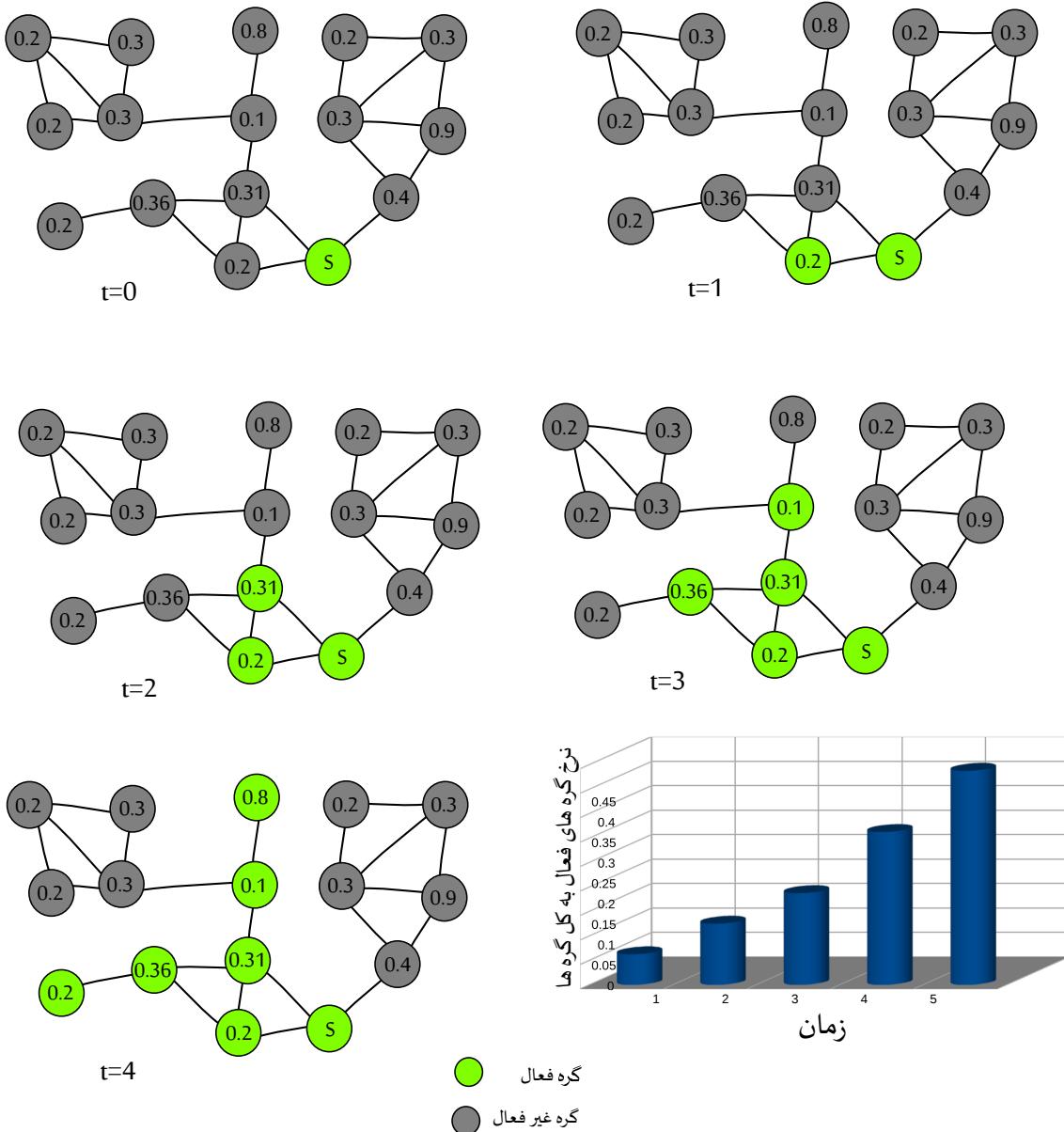
$$\Phi(0) \in E$$

حال در هر گام $t = \{1, 2, \dots, z\}$ گره غیر فعال $n \in V$ که حداقل $\phi_n \in (0, 1]$ از همسایگانش نیز فعال باشند فعال می‌شود. برای مثال i در گام $t = 1$ فعال می‌باشد اگر شرایط زیر در گام $t = 0$ برقرار بوده باشد.

$$\frac{|\Phi(0) \cap N_i|}{|N_i|} \geq \phi_i \Rightarrow i \in \Phi(1)$$

به زبان دیگر $\Phi(1)$ مجموعه‌ای از افراد شبکه‌ی اجتماعی مورد مطالعه می‌باشد که اطلاعات را از طریق همسایگان خود در گام زمانی $t = 0$ دریافت نموده‌اند. برای گام‌های بالاتر یعنی $t \geq 0$ می‌تواند فرایند فعال سازی گره غیر فعال i را به صورت زیر نشان داد.

$$\frac{|\{\bigcap_{l=0}^{t-1} \Phi(l)\} \cap N_i|}{|N_i|} \geq \phi_i \Rightarrow i \in \Phi(k)$$



شکل ۱.۴.۳: شبیه سازی فرایند کار مدل آستانه خطی با گره S به عنوان گره فعال اولیه.

۲.۴.۳ مدل آستانه اکثریت

مدل آستانه اکثریت^۵ یکی از مدل‌های خانواده‌ی آستانه می‌باشد [۳۶، ۳۷، ۳۸] که به شدت مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مدل گره $v \in V$ وقتی که آستانه $\phi_v = (1/2)d(v)$ به دست بیاید فعال می‌شود [۳۹]. یکی از کاربردهای مهم این مدل در بررسی فرایند نظرسنجی‌هاست. سختی محاسباتی یافتن گره‌های اولیه‌ای که باعث حداکثر شدن گره‌های فعال شده در پایان اجرای این

⁵ Majority Threshold Model



فرایند می‌شوند با سخطی مدل آستانه خطی برابر است.

۳.۴.۳ مدل آستانه کوچک

مدل آستانه کوچک^۶ یکی دیگر از مدل‌های خانواده‌ی آستانه می‌باشد [۳۹، ۴۰] که در این مدل به همگی گره‌های $v \in V$ یک عدد ثابت کوچک (ϕ_v) به عنوان آستانه فعال سازی مناسب می‌شود. در [۳۲] اثبات شده است که برای $\phi_v \geq 3$ مشکل یافتن گره‌های آغازین حداقل کننده‌ی امر پخش در پایان اجرای این مدل NP-Hard است.

۴.۴.۳ مدل آستانه توافق همگانی

در مدل آستانه توافق همگانی^۷ آستانه فعال سازی هر گره v به صورت $d(v) = \phi_v$ تعیین می‌شود که تعداد همسایگان گره v را نشان می‌دهد. این مدل بیشترین مقاومت را نسبت به پخش تاثیر در سطح شبکه اجتماعی دارد. این مدل بیشتر برای بررسی نقاط ضعف امنیتی و بررسی امنیت شبکه‌ها به کار برده می‌شود. برای مثال یک شبکه‌ی اجتماعی را می‌توان درنظر گرفت که در حالت ایده‌آل یک شایعه وقتی مورد قبول فرد قرار می‌گیرد که مورد قبول همه‌ی همسایگان وی قرار گرفته باشد. یافتن بهترین مجموعه گره‌های نخستین برای بیشینه کردن انتشار در این روش نیز NP-Hard است.

۵.۴.۳ دیگر انواع مدل‌های خانواده‌ی مدل‌های آستانه

مدل‌های آستانه دیگر به جز موارد ذکر شده‌ی بالا را می‌توان با تعیین تابع آستانه‌ی مناسب طراحی نمود. برای نمونه می‌توان به مدل‌هایی مثل مدل آستانه‌ی خطی رنگی و مدل آستانه جدا [۳۹، ۴۱، ۴۲] و همین طور مدل آستانه‌ی مناسب با وزن اشاره نمود. ضمناً در [۳۲] ثابت شده است که دو مدل انتشار مستقل و آستانه‌ی خطی از نظر ریاضی معادل هم می‌باشند.

۵.۳ مدل‌های همه‌گیری

در این بخش به معرفی و تشریح مدل‌های همه‌گیری که برای مدل‌کردن فرایند پخش اطلاعات ارایه شده اند می‌پردازیم.

^۶ Small Threshold Model

^۷ Unanimous Threshold Model



۱.۵.۳ مدل SIR

مدل SIR^۸ اولین بار در [۴۳، ۴۴] برای مدل کردن فرایند همه‌گیری بیماری‌های مسری به زبان ریاضی و تحلیلی مطرح شده است. در این مدل در ابتدا یک جمعیت ثابت اولیه به نام Ω به اندازه‌ی N در نظر گرفته می‌شود. سپس سه مجموعه‌ی S و I و R که به ترتیب نشان دهنده‌ی افراد سالم و مبتلا و افراد درمان‌یافته‌ی (و یا تلف‌شده) Ω می‌شوند را می‌سازیم. در این مدل اعضای S با نرخ α (نرخ ابتلا) به مجموعه‌ی I وارد می‌شوند. همچنان اعضای I هم با نرخ γ که زمان متوسط دوره‌ی مریضی را نشان می‌دهد، به مجموعه‌ی R وارد می‌شوند.

$$S \xrightarrow{\alpha} I \xrightarrow{\gamma} R$$

برای اینکه بتوانیم در لحظه‌ی دلخواه t مقادیر $S(t)$ و $I(t)$ و $R(t)$ ، که به ترتیب نشان دهنده‌ی تعداد اعضای مجموعه‌های S و I و R می‌باشند، محاسبه کنیم نیازمند حل معادله‌های زیر می‌باشیم.

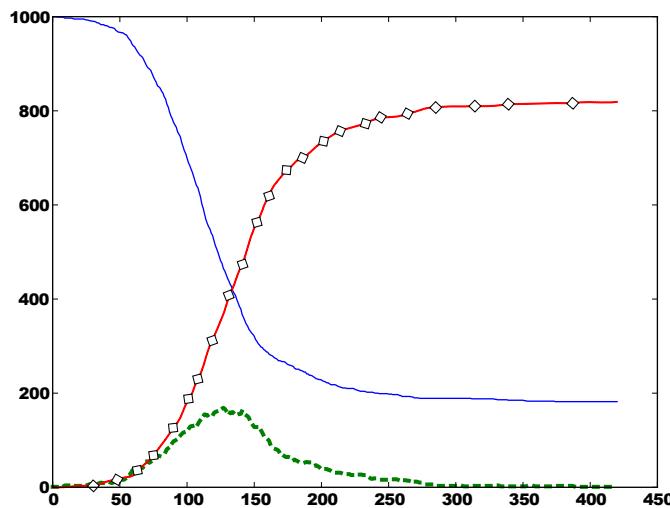
$$\frac{dS}{dt} = -\alpha SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

این مدل دارای چند فرض اصلی درباره‌ی روند انتشار بیمارست. برای نمونه در این مدل این فرض وجود دارد که نرخ ابتلا (شتاب پخش‌شدن) برای تمام جمعیت یکسان و برابر α می‌باشد. ضمناً در هر واحد زمان هر کدام از اعضای S باحتمال برابر به مجموعه‌ی I می‌رود. در این مدل در آستانه‌ی بازتولید (ابتلا و شفا) به نام λ وجود برابر $\frac{S\alpha}{\gamma} = \lambda$ می‌باشد. طی این رابطه وقتی در این مدل $1 < \lambda$ باشد مریضی همگیر نخواهد بود و در ابتدا انتشار آن متوقف می‌شود. و اگر $\lambda > 1$ باشد بیماری به مرور زمان همه‌ی اعضای S را مبتلا خواهد نمود. و هنگامی که $\lambda = 1$ باشد سیستم در حال تعادل است ولی در مرز شیوع قرار دارد.

^۸ Susceptible-Infectious-Recovered



شکل ۳.۱.۵.۳: نمودار تعداد اعضای مجموعه‌های S (آبی/اصاف) و I (سبز/خط تیره) و R (قرمز/خط مربع) نسبت به زمان در شبیه‌سازی مدل SIR با جمعیت ۱۰۰۰.

فقط باید بدین نکته توجه داشت که در همگی مدل‌های ریاضی ارایه شده برای همه‌گیری به صورت کلی فرض بر این گذاشته شده است که $S(t) + I(t) + R(t) = N$ می‌باشد. البته در صورت حذف و یا اضافه شدن یکی از مجموعه‌های سمت چپ معادله تابع مقدار لحظه‌ای مناسب آن مجموعه هم باید حذف و یا اضافه گردد.

۲.۵.۳ مدل SI

این مدل شبیه مدل SIR می‌باشد با این تفاوت که در این مدل فرض بر این گذاشته می‌شود که بیماری در حال همه‌گیری درمان ناپذیر است، و یا تاثیر تکنولوژی و یا خبر که در حال انتشار در جامعه می‌باشد کم ناشدنیست. برای نمونه این مدل برای توصیف فرایند شیوع بیماری ایدز و یا چگونگی روند استفاده از تلفن، اینترنت توسط مردم کاربرد دارد.

$$S \xrightarrow{\alpha} I$$

معادله‌های دیفرانسیل این مدل برای محاسبه $S(t)$ و $I(t)$ در این مدل به صورت زیر خواهند بود.

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha SI$$

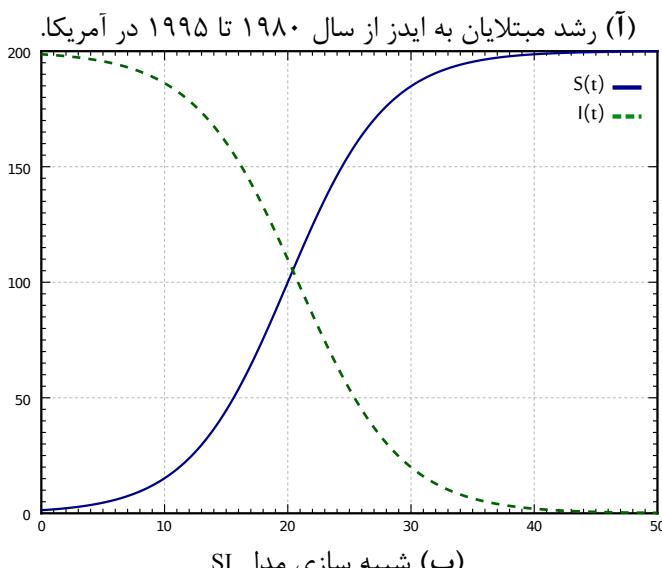
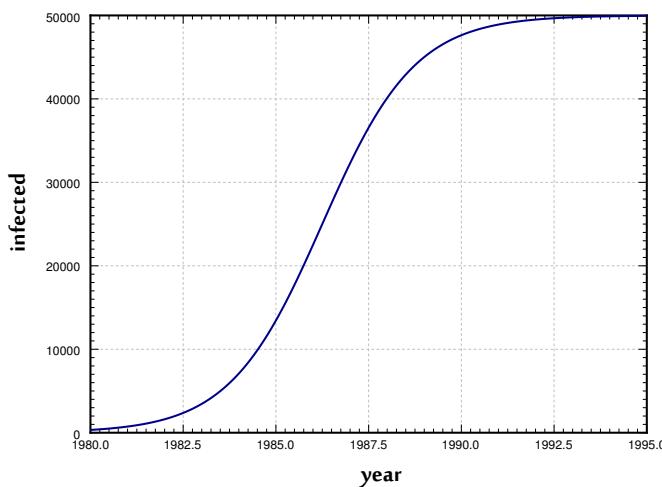
$$\frac{dI}{dt} = \alpha SI$$

دو معادله‌ی فوق برخلاف اکثر معادلات دیفرانسیل مربوط به خانواده‌ی مدل‌های همه‌گیری حل تحلیلی دارند، که به آن تابع رشد لوژستیک^۹ می‌گویند. در زیر این تابع را که نشان‌دهنده‌ی تعداد افراد مريض جامعه می‌باشد دیده می‌شود.

$$I(t) = \frac{NI_0e^{\alpha t}}{N+I_0(e^{\alpha t}-1)}$$

نشان‌دهنده‌ی تعداد افراد مبتلا در لحظه‌ی آغاز است. با فرض $i_0 = \frac{I_0}{N}$ خواهیم داشت:

$$i(t) = \frac{i_0 e^{\alpha t}}{1 + I_0 (e^{\alpha t} - 1)}$$



شکل ۲.۵.۳: شبیه‌سازی همه‌گیری به کمک مدل SI با تابع رشد لوژستیک $\cdot \frac{50000}{1+e^{5+(-0.8)x}}$

^۹ Logistic Growth Function



SIS مدل ۳.۵.۳

این مدل بسیار شبیه مدل SIR می‌باشد با این تفاوت که در این مدل فرض بر این گذاشته می‌شود که بیماران (اعضای I) بعد از گذراندن بیماری شفا می‌یابند و به مجموعه S برمی‌گردند. به زبان ساده در این مدل پس از ابتلا بعد از مدتی عضو بیمار دوباره به اجتماع افراد سالم مستعد بیماری باز می‌گردد.

$$S \xrightarrow{\alpha} I \xrightarrow{\gamma} S$$

معادله‌های دیفرانسیل این مدل برای محاسبه $S(t)$ و $I(t)$ به صورت زیر خواهند بود.

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\alpha SI + \gamma I \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha SI - \gamma I\end{aligned}$$

یک تفاوت عمده‌ی این مدل با مدل SIR و SI در امکان از بین نرفتن بیماری و یا عامل همه‌گیر در یک جامعه می‌باشد. به زبان ساده‌تر چرخه ابتلا و شفا می‌تواند تا ابد در جامعه تکرار شود.

SIRS مدل ۴.۵.۳

این مدل هم بسیار شبیه مدل SIR می‌باشد با این تفاوت که اعضای مجموعه R بعد از مدتی به مجموعه S می‌پیوندند.

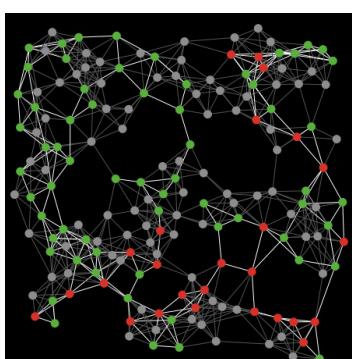
$$S \xrightarrow{\alpha} I \xrightarrow{\gamma} R \xrightarrow{\frac{1}{\sigma}} S$$

معادله‌های دیفرانسیل این مدل برای محاسبه مقادیر $S(t)$ و $I(t)$ و $R(t)$ ، به صورت زیر خواهند بود.

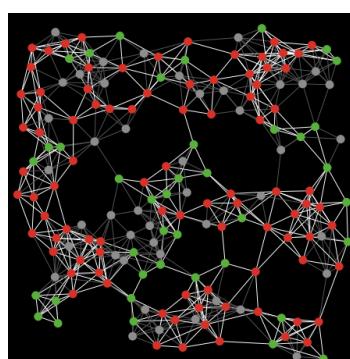
$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\alpha SI + \sigma R \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I - \sigma R\end{aligned}$$

۵.۵.۳ دیگر مدل‌های همه‌گیری

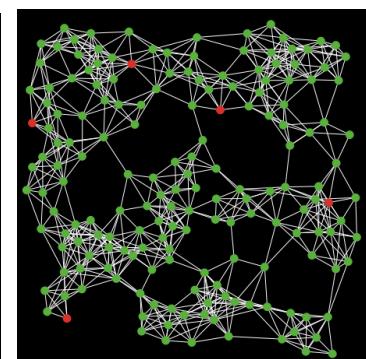
مشتقات زیادی از مدل SIR برای مدل‌سازی فرایند همه‌گیری و پخش بیماری و همین‌طور انتشار شایعه در سطح جوامع انسانی مطرح شده است. برای مثال به جز مدل‌های همه‌گیری ذکر شده تا به الان در این نوشته، مدل‌های SEIS و SEIR و MSIR و MSEIRS و SEIZ [۴۵] که همگی جزو مدل‌های احتمالی همه‌گیری می‌باشند، نیز برای مدل‌سازی پخش اطلاعات به کار رفته اند. در مدل‌های فوق الذکر حرف M^{۱۰} نشان‌دهندهٔ حالتی است که فرد در ابتدا برای مدتی دارای مصونیت به عامل همه‌گیری است. حروف E^{۱۱} و Z^{۱۲} هم به ترتیب معنای حالت‌های نهفتگی بیماری و حالت شک به صحت اطلاعات از جانب فرد مطلع (این مدل دربارهٔ مدل‌سازی شایعه کاربرد دارد) می‌باشند.



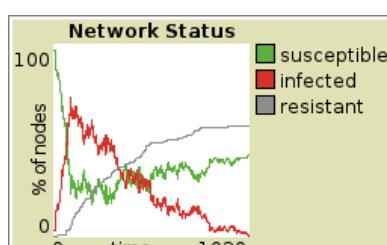
(ج) وضعیت جامعه در $t = 540$



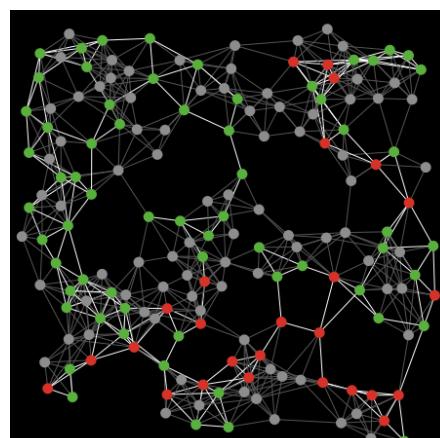
(ب) وضعیت جامعه در $t = 223$



(آ) وضعیت جامعه در $t = 0$



(ه) نمودار وضعیت جامعه در طی شبیه‌سازی



(د) وضعیت جامعه در پایان شبیه‌سازی

شکل ۳.۵.۳: شبیه‌سازی همه‌گیری به کمک مدل SIRS با $\alpha = 0.025$ و $\gamma = 0.05$. (رنگ قرمز و سبز و خاکستری به ترتیب افراد بیمار و سالم و افراد شفا یافته‌ی جامعه را نشان می‌دهند).

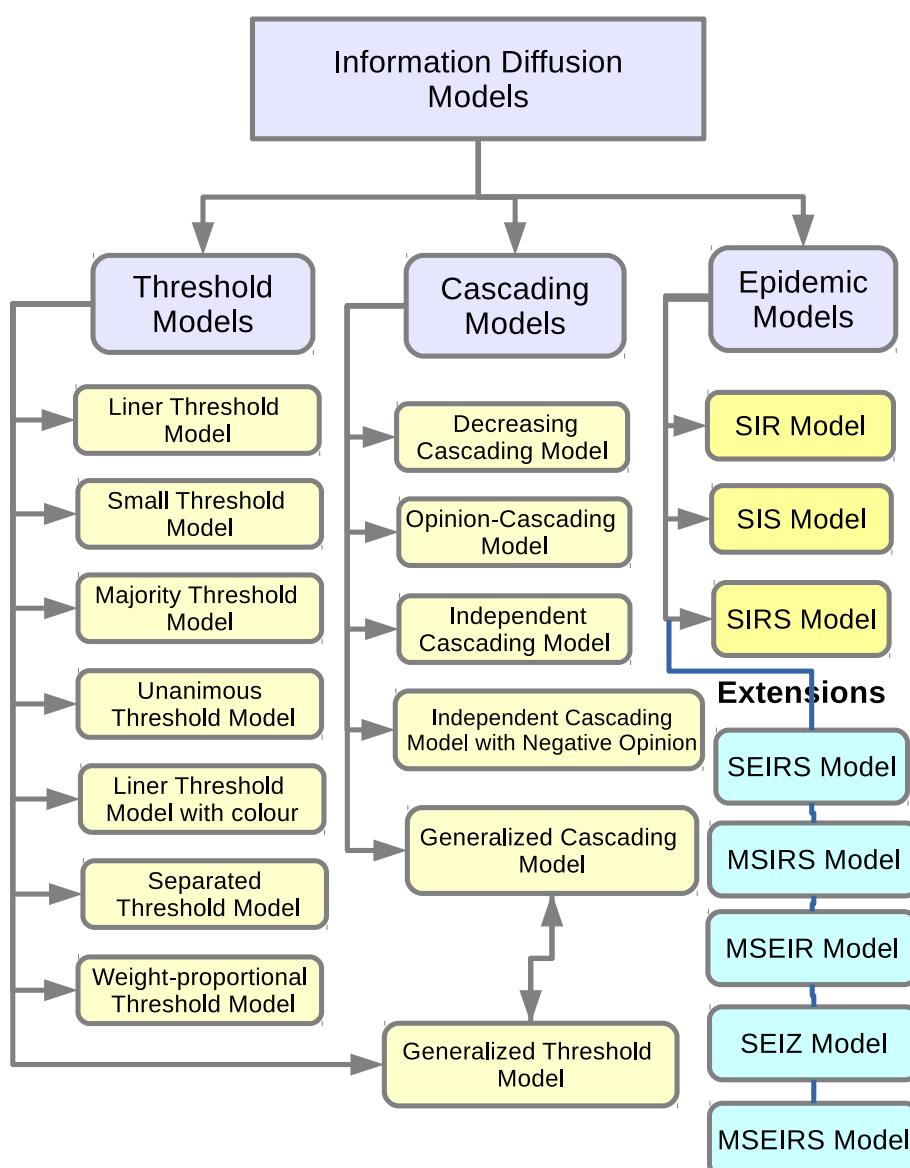
^{۱۰} Maternally-derived immunity

^{۱۱} Exposed

^{۱۲} Maternally-derived immunity

۶.۳ مدل‌های دیگر پخش اطلاعات

جدا از سه دسته مدل مطرح که گفته شد مدل‌های دیگر هم برای مدل‌کردن فرایند پخش اطلاعات ارایه شده اند [۴۰، ۴۷، ۴۸، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹]. اکثر این مدل‌ها از مدل‌های گفته شده قبلی مشتق شده اند. البته مدل‌های دیگری نیز برای امر پخش در سطح شبکه‌های پیچیده ارایه شده اند، مانند [۶۰] که مسئله‌ی پخش با چند منبع را به صورت خاص مورد مطالعه قرار داده اند.



شکل ۳.۱۶.۳: نمایی کلی از خانواده مدل‌های اصلی پخش اطلاعات.



۷.۳ خلاصه‌ی مطالب فصل

در این فصل سه گروه اصلی از مدل‌های پخش اطلاعات معرفی شدند. سه خانواده‌ی معرفی شده شامل مدل‌های آستانه و انتشار و همه‌گیری بیماری می‌باشند. مدل‌های LT و IC بسیار محبوب محققان برای مدل‌سازی فرایند پخش اطلاعات می‌باشند و در ابتدا برای یافتن روشی الگوریتمیک برای به حداقل رساندن تاثیر اجتماعی مطرح شدند. یافتن k گره‌ای که فرایند پخش را حداقل کند در این مدل از نظر محاسباتی جزو دسته مسائل NP-Hard می‌باشد، لذا الگوریتم‌های هیوریستیک زیادی برای این دو مدل مانند الگوریتم‌های CELF و CELF++ و SIMPATH [۶۲، ۳۴، ۳۲] تا به امروز ارایه شده‌اند.

مدل‌های همه‌گیری مطرح و مورد استفاده هم مانند SIR و SIS و SIRS در این فصل توضیح داده شدند. پخش اطلاعات دارای شباهت‌های زیادی با فرایند همه‌گیری بیماری دارد، به طوری که مدل‌های همه‌گیری فوق الذکر در اکثر موارد توائیت‌های درستی نسبت به روند واقعی فرایند پخش اطلاعات به دست بدھند.

فصل ۴

نتیجه گیری



۱.۴ جمع بندی

شبکه‌های اجتماعی خصوصیات منحصر به فردی دارند که آن‌ها را از دیگر شبکه‌ها متمایز می‌سازد. این خصوصیات در بسیاری از لحاظ برای تولید مدل‌های پخش اطلاعات ساده سازی شده‌اند. به طور کلی از میان روش‌های زیادی که برای مدل‌کردن فرایند پخش اطلاعات در شبکه‌های اجتماعی مطرح شده‌اند دو مدل LT و IC مورد استقبال زیادی قرار گرفته‌اند. در این دو مدل که برای بار اول در سال ۲۰۰۳ برای ارایه مدلی برای حداکثر نمودن تاثیر اجتماعی میان اعضای یک شبکه‌ی اجتماعی ارایه گردیده‌اند، برای یافتن k فردی که در پایان شبیه سازی تاثیر را به حداکثر برسانند الگوریتم‌های هیوریستیک زیادی مطرح شده‌اند که در حدود ۶۳ درصد را پوشش می‌دهند. لذا اکثر این الگوریتم‌ها از مشکل مقیاس‌ناپذیری^۱ در بعد اندازه گراف مورد مطالعه رنج می‌برند.

در کنار این دو مدل‌های ریاضی همه‌گیری بیماری که معروف ترینشان مدل‌های SIR و SIRS و SI می‌باشند در چند سال اخیر برای مدل‌کردن فرایند پخش اطلاعات از مدل کردن پخش شایعه تا مدل کردن انتشار رفتار و خبر استفاده شده‌اند. این محققان در این مدل‌ها و مشتقات آن‌ها تغییراتی وارد نموده‌اند تا در بستر گراف یک شبکه‌ی اجتماعی قابل استفاده باشند.

۲.۴ کارهای آتی

اکثر مدل‌های پخش اطلاعات که در این گزارش ذکر شدند به صورت موضوعی و بر روی مجموعه‌های مشخصی از داده‌های شبکه‌هایی هم چون توبیتر و فیسبوک و چند شبکه اجتماعی معروف دیگر ازمايش گردیده‌اند. لذا تعمیم این که رفتار کاربران همه‌ی شبکه‌های اجتماعی موجود در اینترنت با وجود امکانت متنوع و گستردگی زیاد سرویس‌های آن‌ها در فرایند پخش اطلاعات به یک گونه باشد کار بیهوده‌ای است. از طرفی خیلی از این مدل‌ها یک تصویر لحظه‌ای از شبکه اجتماعی را مورد مطالعه قرار می‌دهند، ضمناً این مدل‌ها بسیاری از خصوصیات اصلی یک شبکه اجتماعی مثل هوموفیلی میان کاربران و قدرت اتصال‌های میان افراد را در کار خود تاثیرگذار نمی‌کنند. برای همین این مدل‌ها خصوصیات منحصر به فرد شبکه‌های اجتماعی که آن‌ها را از مابقی شبکه‌های ارتباطی و شبکه‌های دنیای واقعی متمایز می‌سازند در مدل خود به خوبی لحاظ ننموده‌اند.

از طرفی بحث این که آیا امکان پیش‌بینی امر انتشار چیزی مانند شایعه در یک شبکه‌ی اجتماعی وجود دارد موردیست که در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است ولی کار انجام شده از

^۱ Non-Scalability

لحاظ طراحی مدل‌های بهتر و دقیق‌تر با فرض قابل پیش‌بینی بودن امر انتشار امکان بهبود را دارد. ضمناً موضوعاتی مانند یافتن افراد تاثیرگذار در امر پخش اطلاعات، همین طور ارایه مدل‌هایی که پویایی گراف شبکه‌ی اجتماعی را به خوبی دربر بگیرند نیز می‌توانند از موضوعات جذاب برای پژوهش در این زمینه باشند.

مراجع

- [1] K. Musiał and P. Kazienko, “Social networks on the internet,” *World Wide Web*, vol.16, no.1, pp.31–72, 2013.
- [2] E. M. Rogers. *Diffusion of innovations*. Simon and Schuster, 2010.
- [3] A. Guille, H. Hacid, C. Favre, and D. A. Zighed, “Information diffusion in online social networks: A survey,” *ACM SIGMOD Record*, vol.42, no.1, pp.17–28, 2013.
- [4] M. Cha, H. Haddadi, F. Benevenuto, and P. K. Gummadi, “Measuring user influence in twitter: The million follower fallacy.,” *ICWSM*, vol.10, pp.10–17, 2010.
- [5] J. Cheng, L. Adamic, P. A. Dow, J. M. Kleinberg, and J. Leskovec, “Can cascades be predicted?,” in *Proceedings of the 23rd international conference on World wide web*, pp.925–936, 2014.
- [6] D. Easley and J. Kleinberg. *Networks, crowds, and markets reasoning about a highly connected world*. New York: Cambridge University Press, 2010.
- [7] I. Taxidou and P. Fischer, “Realtime analysis of information diffusion in social media,” *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol.6, no.12, pp.1416–1421, 2013.
- [8] K. Krishnan. *Data Warehousing in the Age of Big Data*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2013.
- [9] D. J. Watts. *Six degrees: The science of a connected age*. WW Norton & Company, 2004.
- [10] S. Boccaletti, V. Latora, Y. Moreno, M. Chavez, and D. Hwang, “Complex networks: Structure and dynamics,” *Physics Reports*, vol.424, no.4–5, pp.175–308, 2006.
- [11] P. Erdős and A. Rényi, “On the evolution of random graphs,” in *Publication of the mathematical institute of the Hungarian academy of sciences*, pp.17–61, 1960.
- [12] D. J. Watts and S. H. Strogatz, “Collective dynamics of ‘small-world’networks,” *nature*, vol.393, no.6684, pp.440–442, 1998.
- [13] A. L. Barabási and R. Albert, “Emergence of scaling in random networks,” *science*, vol.286, no.5439, pp.509–512, 1999.
- [14] J. Leskovec, D. Chakrabarti, J. Kleinberg, C. Faloutsos, and Z. Ghahramani, “Kronecker graphs: An approach to modeling networks,” *The Journal of Machine Learning Research*, vol.11, pp.985–1042, 2010.

- [15] J. Leskovec, J. Kleinberg, and C. Faloutsos, “Graphs over time: densification laws, shrinking diameters and possible explanations,” in *Proceedings of the eleventh ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery in data mining*, pp.177–187, 2005.
- [16] J. Sun and J. Tang, “A survey of models and algorithms for social influence analysis,” in *Social Network Data Analytics*, pp.177–214, 2011.
- [17] L. Weng, J. Ratkiewicz, N. Perra, B. Gonçalves, C. Castillo, F. Bonchi, R. Schifanella, F. Menczer, and A. Flammini, “The role of information diffusion in the evolution of social networks,” in *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pp.356–364, 2013.
- [18] M. S. Granovetter, “The strength of weak ties,” *American journal of sociology*, pp.1360–1380, 1973.
- [19] R. Zafarani, M. A. Abbasi, and H. Liu. *Social Media Mining: An Introduction*. Cambridge University Press, 2014.
- [20] S. Wu, *The Dynamics Of Information Diffusion On On-Line Social Networks*. Ph.D. thesis, Cornell University, 2013.
- [21] T. Takahashi, R. Tomioka, and K. Yamanishi, “Discovering emerging topics in social streams via link anomaly detection,” in *Data Mining (ICDM), 2011 IEEE 11th International Conference on*, pp.1230–1235, 2011.
- [22] R. I. Dunbar, “The social brain hypothesis,” *brain*, vol.9, no.10, pp.178–190, 1998.
- [23] L. Weng, *Information Diffusion On Online Social Networks*. Ph.D. thesis, Indiana University, 2014.
- [24] H. A. Simon, “Designing organizations for an information-rich world,” *Computers, communications, and the public interest*, vol.72, p.37, 1971.
- [25] S. Blackmore. *The meme machine*. Oxford University Press, 2000.
- [26] R. Dawkins. *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford, UK, 1976.
- [27] F. Bonchi, C. Castillo, and D. Ienco, “Meme ranking to maximize posts virality in microblogging platforms,” *Journal of Intelligent Information Systems*, vol.40, no.2, pp.211–239, 2013.
- [28] X. Wei, N. C. Valler, B. A. Prakash, I. Neamtiu, M. Faloutsos, and C. Faloutsos, “Competing memes propagation on networks: A network science perspective,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.31, no.6, pp.1049–1060, 2013.
- [29] E. Massad, A. F. Rocha, F. A. B. Coutinho, and L. F. Lopez, “Modelling the spread of memes: How innovations are transmitted from brain to brain,” *Applied Mathematical Sciences*, vol.7, no.46, pp.2295–2306, 2013.
- [30] L. Weng, F. Menczer, and Y. Y. Ahn, “Predicting successful memes using network and community structure,” *arXiv preprint arXiv:1403.6199*, 2014.

- [31] L. Weng, A. Flammini, A. Vespignani, and F. Menczer, “Competition among memes in a world with limited attention,” *Scientific Reports*, vol.2, 2012.
- [32] D. Kempe, J. Kleinberg, and É. Tardos, “Maximizing the spread of influence through a social network,” in *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pp.137–146, 2003.
- [33] C. Jiang, Y. Chen, and K. J. Liu, “Evolutionary dynamics of information diffusion over social networks,” *arXiv preprint arXiv:1312.0317*, 2013.
- [34] W. Chen, Y. Yuan, and L. Zhang, “Scalable influence maximization in social networks under the linear threshold model,” in *Data Mining (ICDM), 2010 IEEE 10th International Conference on*, pp.88–97, 2010.
- [35] M. Granovetter, “Threshold models of collective behavior,” *American journal of sociology*, pp.1420–1443, 1978.
- [36] S. Bhagat, A. Goyal, and L. V. Lakshmanan, “Maximizing product adoption in social networks,” in *Proceedings of the fifth ACM international conference on Web search and data mining*, pp.603–612, 2012.
- [37] M. Richardson and P. Domingos, “Mining knowledge-sharing sites for viral marketing,” in *Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pp.61–70, 2002.
- [38] P. Rozin and E. B. Royzman, “Negativity bias, negativity dominance, and contagion,” *Personality and social psychology review*, vol.5, no.4, pp.296–320, 2001.
- [39] J. Wu and Y. Wang. *Opportunistic Mobile Social Networks*. CRC Press, 2014.
- [40] H. A. Eiselt and G. Laporte, “Competitive spatial models,” *European Journal of Operational Research*, vol.39, no.3, pp.231–242, 1989.
- [41] A. Chaintreau, P. Hui, J. Crowcroft, C. Diot, R. Gass, and J. Scott, “Impact of human mobility on opportunistic forwarding algorithms,” *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol.6, no.6, pp.606–620, 2007.
- [42] W. Chen, Y. Wang, and S. Yang, “Efficient influence maximization in social networks,” in *Proceedings of the 15th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pp.199–208, 2009.
- [43] A. M’Kendrick, “Applications of mathematics to medical problems,” *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, vol.44, pp.98–130, 1925.
- [44] W. O. Kermack and A. G. McKendrick, “Contributions to the mathematical theory of epidemics. ii. the problem of endemicity,” *Proceedings of the Royal society of London. Series A*, vol.138, no.834, pp.55–83, 1932.
- [45] H. W. Hethcote, “The mathematics of infectious diseases,” *SIAM review*, vol.42, no.4, pp.599–653, 2000.



- [46] Y. S. Kwon, S. W. Kim, S. Park, S. H. Lim, and J. B. Lee, “The information diffusion model in the blog world,” in *Proceedings of the 3rd Workshop on Social Network Mining and Analysis*, p.4, 2009.
- [47] A. Hajibagheri, A. Hamzeh, and G. Sukthankar, “Modeling information diffusion and community membership using stochastic optimization,” in *Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2013 IEEE/ACM International Conference on*, pp.175–182, 2013.
- [48] M. Broecheler, P. Shakarian, and V. S. Subrahmanian, “A scalable framework for modeling competitive diffusion in social networks,” in *Social Computing (SocialCom), 2010 IEEE Second International Conference on*, pp.295–302, 2010.
- [49] M. Kim and J. Leskovec, “Modeling social networks with node attributes using the multiplicative attribute graph model,” *arXiv preprint arXiv:1106.5053*, 2011.
- [50] H. Sotoodeh, F. Safaei, A. Sanei, and E. Daei, “A general stochastic information diffusion model in social networks based on epidemic diseases,” *International journal of Computer Networks & Communications*, vol.5, no.5, pp.161–189, 2013.
- [51] X. He, G. Song, W. Chen, and Q. Jiang, “Influence blocking maximization in social networks under the competitive linear threshold model.,” in *SIAM SDM*, pp.463–474, 2012.
- [52] C. Jiang, Y. Chen, and K. J. Liu, “Modeling information diffusion dynamics over social networks,” in *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on*, pp.1095–1099, 2014.
- [53] T. A. Snijders, G. G. van de Bunt, and C. E. Steglich, “Introduction to stochastic actor-based models for network dynamics,” *Social Networks*, vol.32, no.1, pp.44–60, 2010.
- [54] T. R. Hurd and J. P. Gleeson, “On watts’ cascade model with random link weights,” *Journal of Complex Networks*, vol.1, no.1, pp.25–43, 2013.
- [55] H. Wang, F. Wang, and K. Xu, “Modeling information diffusion in online social networks with partial differential equations,” *arXiv preprint arXiv:1310.0505*, 2013.
- [56] D. V. Lande, “Model of information diffusion,” *arXiv preprint arXiv:0806.0283*, 2008.
- [57] J. K. Lou, F. M. Wang, C. H. Tsai, S. C. Hung, P. H. Kung, S. D. Lin, K. T. Chen, and C. L. Lei, “A social diffusion model with an application on election simulation,” *The Scientific World Journal*, vol.2014, pp.1–14, 2014.
- [58] V. Y. Lou, S. Bhagat, L. V. Lakshmanan, and S. Vaswani, “Modeling non-progressive phenomena for influence propagation,” *arXiv preprint arXiv:1408.6466*, 2014.
- [59] J. J. Cheng, Y. Liu, B. Shen, and W. G. Yuan, “An epidemic model of rumor diffusion in online social networks,” *The European Physical Journal B*, vol.86, no.1, 2013.
- [60] Y. Lin, J. C. S. Lui, K. Jung, and S. Lim, “Modelling multi-state diffusion process in complex networks: theory and applications,” *Journal of Complex Networks*, 2014.



- [61] J. Lv, J. Guo, Z. Yang, W. Zhang, and A. Jocshi, “Improved algorithms OF CELF and CELF++ for influence maximization,” *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol.7, no.3, pp.32–38, 2014.
- [62] A. Goyal, W. Lu, and L. V. Lakshmanan, “SimpPath: An efficient algorithm for influence maximization under the linear threshold model,” in *Data Mining (ICDM), 2011 IEEE 11th International Conference on*, pp.211–220, IEEE, 2011.

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

Probabilistic	احتمالی
Information Diffusion	پخش اطلاعات
Process	فرایند
Mark Granovetter	مارک گرانووتر
Meme	میم
Graph	گراف
Threshold Model	مدل آستانه
Majority	اکثریت
Reducing	کاهشی
Topic	عنوان
Message	پیام
Bursty Topic	عنوان آنی
User	کاربر
Rumour	شایعه
Diffusion of Innovation	پخش نوآوری
HashTag	هشتگ

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Cascade	انتشار
Complex Network	شبکه پیچیده
Measure	اندازه
Pandemic	همه‌گیری
Epidemic Model	مدل سرایت
Probabilistic	احتمالی
Link	اتصال
Edge	یال
Node	گره
Vertex	راس
Power Law	قانون توانی
Social Network	شبکه اجتماعی
Community	اجتماع
Cluster	خوشه
NP-Complete	ان-پی تمام
Small World Phenomenon	پدیده‌ی جهان کوچک
Susceptible	مستعد بیماری
Infectious	پخش کننده‌ی بیمار
Removed	از چرخه بیماری خارج شده
Unanimous	موافق