

مقالات برتر در ژورنال های  
حله می به چاپ خواهند رسید

مهلت ارسال متن کامل مقاله: ۹۳/۷/۱  
اعلام نتایج دوری مقالات: ۹۳/۸/۱  
آخرین مهلت ثبت نام: ۹۳/۹/۱  
تاریخ برگزاری همایش: ۹۳/۹/۱۳

کمیسیون دوم

مشهد - ۱۳ آذر - ۱۳۹۳

همایش ملی علوم  
و  
مهندسی کامپیوتر

9th  
SASTech

مهندسی و توسعه پایدار



برگزارکننده:  
موسسه آموزش عالی خاوران

## کنترل پخش شایعه در شبکه های اجتماعی

امین برازنده

شرکت تحلیل گران اطلاعات کارا تحلیل شریف  
واحد تحقیقات

[amin.barazandeh@gmail.com](mailto:amin.barazandeh@gmail.com)

هویدخت عطاران

موسسه غیرانتفاعی خاوران مشهد  
گروه کامپیوتر

[hubakht@khi.ac.ir](mailto:hubakht@khi.ac.ir)

فرناد آهنگری

دانشگاه فردوسی مشهد  
گروه کامپیوتر

[ahangary@um.ac.ir](mailto:ahangary@um.ac.ir)

### خلاصه

دنیای امروز مملو از سیستم های پیچیده ای است که از اجزا مستقل از یکدیگر تشکیل شده اند. سیستم پیچیده به سیستمی گفته می شود که برآیند سیستم با مجموع برآیند های اجزا مستقل آن تفاوت کند. شبکه های پیچیده برای مدل سازی سیستم های پیچیده استفاده می شود. علوم شبکه به ما برای درک بهتر اطلاعات و ساختار شبکه کمک می کند. یکی از ویژگی های شبکه های اجتماعی قابلیت آنها در پخش اطلاعات است. این ویژگی به ما کمک می کند تا نحوه پخش شدن یک ویروس، یک شایعه یا علاقه به یک محصول خاص را در شبکه های اجتماعی بررسی کنیم. این قابلیت به ما کمک می کند تا با مطالعه بر روی این مدل ها و چگونگی پخش اطلاعات استراتژی های بهینه برای کاهش یا افزایش سرعت پخش اطلاعات ارائه کنیم.

هدف از این مقاله بررسی روش های موجود کنترل شایعه در شبکه های اجتماعی می باشد. ما در این مقاله از یک مدل تغییر یافته اپیدمی استفاده کردیم و پارامترهای مختلف را که در پخش شایعه تاثیر دارند را تعریف کردیم. سپس بر اساس ویژگی های مختلف گراف به نحوه کنترل شایعه در شبکه های اجتماعی پرداختیم. نتایج نشان می دهد در گراف های مقیاس آزاد eigenvector centrality بهترین نودها را جهت کنترل شایعه مشخص می کند ولی در گراف های دنیای کوچک betweenness می تواند انتخاب بهتری باشد.

### کلمات کلیدی

شبکه های اجتماعی، پخش اطلاعات، مدل های اپیدمی، شایعه، کنترل بیماری

### 1- مقدمه

دنیای امروز مملو از سیستم های پیچیده ای است که از اجزا مستقل از یکدیگر تشکیل شده اند. سیستم پیچیده به سیستمی گفته می شود که برآیند سیستم با مجموع برآیند های اجزا مستقل آن تفاوت کند. شبکه های پیچیده برای مدل سازی سیستم های پیچیده استفاده می شود. علوم شبکه به ما برای درک بهتر اطلاعات و ساختار شبکه کمک می کند.

شبکه های اجتماعی یکی از زیر شاخه های شبکه های پیچیده است. در این شبکه ها هر نود نمایانگر یک آدم یا گروهی از آدم ها است و هر یال، که رابطه ی بین دو نود را مشخص می کند، نمایانگر یک رابطه ی اجتماعی مانند دوستی، دشمنی، و همکاری است. سایت های اجتماعی مانند Facebook, Twitter که مثالی از شبکه های اجتماعی هستند در ساده ترین حالت بیانگر دوستی بین افراد است.

یکی از ویژگی های شبکه های اجتماعی قابلیت آنها در پخش اطلاعات است. این ویژگی به ما کمک می کند تا نحوه پخش شدن یک ویروس، یک شایعه یا علاقه به یک محصول خاص را در شبکه های اجتماعی بررسی کنیم. این قابلیت به ما کمک می کند تا با مطالعه بر روی این مدل ها و چگونگی پخش اطلاعات استراتژی های بهینه برای کاهش یا افزایش سرعت پخش اطلاعات ارائه کنیم. مثلاً در زمان پخش یک ویروس اپیدمی می توان با ارائه یک استراتژی مناسب در کمترین زمان

ممکن با استفاده از منابع محدود تا بیشترین حد ممکن از پخش ویروس جلوگیری کرد. مثال دیگری که می توان ذکر کرد در زمینه بازاریابی می باشد، در این حالت شرکت ها محصول جدید خود را به تصادف در میان تعدادی از افراد پخش می کنند یا با تخفیف ویژه ارائه می دهند. این افراد محصول را استفاده کرده و مزایای آن را منتقل می کنند در این حالت تبلیغ محصول به صورت دهان-به-دهان منتقل می شود. حال اگر ما محصولات را به جای اینکه به تصادف پخش کنیم به گروهی خاصی از افراد بدهیم به طوری که سرعت پخش اطلاعات بیشینه شود بهینه تر خواهد شد.

مدل های مختلف اپیدمی [1] برای مدل سازی چگونگی پخش ویروس استفاده می شوند. همچنین در [2] از اتوماتا یادگیر سلولی برای مدل سازی پخش شایعه استفاده شده است. در [3] نویسندگان یک مدل کلی برای پخش شایعه ارائه کردند که قابلیت مدل سازی خاموش کردن شایعه یا فراموشی توسط عامل ها را دارد، این مدل بر روی گراف های تصادفی و نوعی از Scale-Free ها آنالیز شده است. مدل SIR [4] یک از مدل های اپیدمی است که در بسیاری از موارد مورد استفاده قرار گرفته است. SIS [5] مدل دیگری است که در بسیاری از تحقیقات به عنوان مدل پایه پخش اطلاعات استفاده می شود.

به صورت کلی در یک شبکه اجتماعی تمام افرادی که هنوز شایعه را نشنیده اند مستعد دریافت شایعه هستند و زمانی که شایعه را دریافت کنند تحت تاثیر قرار می گیرند. اما تمام افراد لزوماً شایعه را قبول نکرده و اگر هم قبول کنند اقدام به پخش آن نمی کنند.

مدل Daley-Kendal [6] یکی از مدل هایی است که برای مدل سازی پخش شایعه استفاده شده است. در این مدل افراد را به سه گروه متمایز از هم تقسیم می کنند. گروه اول افرادی هستند که شایعه را دریافت کرده و آنرا رد می کنند. گروه دوم افرادی هستند که شایعه را دریافت کرده و به پخش آن مبادرت می کنند و گروه آخر افرادی هستند که شایعه را دریافت و قبول کرده ولی آنرا پخش نمی کنند. در این مدل افراد جمعیت را ثابت در نظر می گیرند.

به صورت کلی زمانی که یک اطلاعات - که می تواند ویروس، شایعه و... - باشد، پخش می شود دارای یک الگو می باشد که این الگو به دو نوع ویژگی وابسته است. اول ویژگی های مربوط به خود اطلاعات مثلاً اگر قرار است یک ویروس پخش شود، ویژگی هایی مانند زمان مخفی بودن ویروس، جامعه هدف و موارد دیگر تاثیر گذار خواهد بود دسته دوم ویژگی های مربوط به ساختار شبکه می باشد. مواردی مانند نوع گراف، میانگین درجه، clustering coefficient تاثیر زیادی بر روی الگو پخش ویروس می گذارند.

در این مقاله ما ساده ترین مدل اپیدمی یعنی مدل SI را با کمی تغییر که در شکل (1) به صورت یک دیاگرام تغییر حالت مشاهده می کنید را در نظر می گیریم. در این مدل هر عامل می تواند در یکی از دو حالت قرار بگیرد. حالت اول افرادی هستند که هنوز شایعه را دریافت نکردند و در صورت دریافت شایعه به وضعیت تحت تاثیر تغییر خواهند کرد. هدف ما در این مقاله بررسی این مدل بر روی مدل های مختلف شبکه می باشد.

این مقاله به صورت زیر تقسیم بندی شده است: در بخش 2 ما پیش نیاز های مورد نیاز را که شامل مروری بر روی انواع شبکه ها می باشد را بررسی می کنیم. در بخش 3 مدل مورد نظر را بررسی کرده و در بخش 4 نتایج بررسی بر روی شبکه های مختلف را آنالیز می کنیم و در پایان بخش 5 به جمع بندی می پردازد.

## 2- پیش نیاز

در این بخش به مرور مدل های مختلف شبکه می پردازیم. اولین مورد که توسط ارودش ارائه شد [7]. این مدل که به نام random graph شناخته می شود دارای تعدادی نود می باشد که بین هر دو نود به احتمال  $p$  یک یال بوجود می آید. در این حالت تعداد گراف های که با  $n$  نود و  $m$  یال می توان ساخت دارای احتمال برابر می باشد که فرمول (1) آنرا نشان می دهد.

$$p^m (1-p)^{\binom{n}{2}-m} \quad (1)$$

در این نوع گراف احتمال اینکه درجه یک نود به اندازه  $v$  باشد به صورت تابع توزیع باینمیل می باشد. مطالعات بسیاری [4, 8-11] نشان داد که بسیاری از گراف های دنیای واقعی از نوع گراف های تصادفی نمی باشند. این گراف ها [11] قاعداً ویژگی scale-free را دارند یعنی تابع توزیع آنها بر اساس یکی از توابع power-law می باشد. بسیاری از گراف های دنیای واقعی از این نوع می باشند. مثلاً در شبکه WWW که لینک بین صفحات وب را مشخص می کند، تعداد کمی صفحه وجود دارند که لینک های زیادی دارند و ما بقی صفحات که بخش اعظم شبکه را تشکیل می دهند دارای لینک های کمی می باشد. هاب یکی از ویژگی های جالب در این نوع شبکه ها می باشد. به گروهی از نود ها که دارای درجه زیادی باشند هاب گفته می شود. ویژگی هاب ها برای طراحی سیستم های تحمل پذیر اشکال می باشد. از طرف دیگر اگر هاب را از شبکه جدا کنیم شبکه به چند زیر گراف مجزی تقسیم می شود پس هاب هم می تواند به عنوان قدرت این نوع شبکه های تلقی شود و هم به عنوان نقطه ضعف شبکه.

مدل BA یکی از مدل های معروف برای ساخت شبکه های scale-free می باشد [10]. در این الگوریتم ابتدا با یک مجموعه نود اولیه آغاز می کنیم که اعضای این مجموعه حداقل باید دارای یک لینک باشند در غیر اینصورت تا انتهای الگوریتم مجزا خواهند بود. سپس تا رسیدن به تعداد مشخص شده نود، در هر مرحله یک نود اضافه می کنیم و این نود با یک احتمالی به ما بقی نود های موجود متصل می شود. این احتمال برابر است با:

$$p_i = \frac{k_i}{\sum_j K_j} \quad (2)$$

این مدل بر اساس دو ویژگی رشد و preferential attachment که در دنیای واقعی دیده می شود کار می کند. ویژگی اول به رشد شبکه به مرور زمان اشاره می کند و ویژگی دوم به اینکه در صورتی که یک نود تعداد لینک بیشتر داشته باشد احتمالی بزرگتری برای دریافت لینک جدید خواهد داشت، اشاره می کند.

در این مدل میانگین طول مسیر بین دو نود با افزایش جمعیت به صورت تابع لگاریتمی از جمعیت افزایش پیدا می کند مقدار clustering-coefficient در این مدل هم به صورت یک تابعی از جمعیت افزایش پیدا می کند.

در دهه 60 آزمایشی توسط میلگرام انجام شد [8] نتیجه این آزمایش که در یکی از ایالت های آمریکا انجام شد به نام قانون 6-درجه مشهور شد. [12]. این قانون بیان می کند بین هر دو فرد در دنیا مسیری وجود دارد که به صورت میانگین طول این مسیر 6 می باشد.

شبکه های Small-World [13] نوعی از شبکه ها هستند که در آنها هر نود با تعداد کمی از نود های دیگر همسایه است ولی بین هر دو نود مسیری با حداقل تعداد گام وجود دارد. به صورت کلی در این نوع شبکه ها بین هر دو نود تصادفی مسیر [13]:

$$L \propto \log N \quad (3)$$

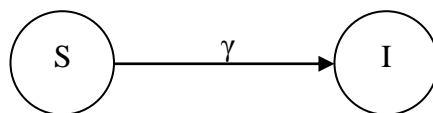
این شبکه ها کاربرد های زیادی از علوم زمین شناسی تا محاسبات و علوم زیستی دارند. در [14] تاثیر خطا و یا حمله در شبکه های small-world مورد بررسی قرار گرفته است. در [15] نویسندگان بر روی چگونگی طراحی و نگهداری یک شبکه P2P با استفاده از ماهیت Small-World مطالعه می کنند. هدف آنها طراحی شبکه با میانگین فاصله کم بین دو نود تصادفی و clustering coefficient بالا می باشد.

مدل [13] یکی از الگوریتم های مشهور برای طراحی شبکه های small-world می باشد. این مدل سه پارامتر  $N$  به عنوان تعداد جمعیت،  $K$  به عنوان میانگین درجه و پارامتر ویژه ای به نام  $\beta$  برای سیم کشی مجدد گراف را دریافت می کند.

در این مدل اگر پارامتر  $\beta=1$  تنظیم شود مدل ایجاد شده مانند مدل Erdos-Renyi خواهد شد.

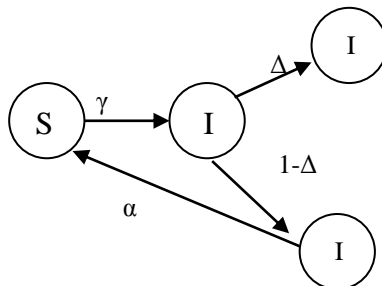
### 3- مدل پخش شایعه

ما در این مقاله مدل SI [4] را به عنوان مدل پایه در نظر میگیریم این مدل که ساده ترین مدل اپیدمیک می باشد در شکل (1) به صورت یک اتوماتا نمایش داده شده است.



شکل (1): نمودار تغییر حالت مدل SI

در این حالت برای پخش شایعه ما در نظر می گیریم که افرادی که این شایعه را شنیده اند در حالت S قرار می گیرند و اگر فردی شایعه را شنیده باشد به حالت I منتقل می شود. در هنگام پخش شایعه افراد پس از شنیدن شایعه به پخش آن کمک می کنند یا شایعه را قبول نکرده و آن را رد می کنند. در واقع مدلی که ما در نظر گرفتیم به صورت شکل (2) است.



شکل (2): مدل در نظر گرفته شده برای پخش شایعه

در این مدل یک فرد در صورتی که فردی که شایعه را شنیده برخورد داشته باشد به احتمال  $\gamma$  شایعه را دریافت می کند و به وضعیت I منتقل می شود. هر فرد که در لحظه  $t$  شایعه را دریافت کند در لحظه  $t+1$  بلافاصله با احتمال  $\alpha$  به II منتقل می شود، یعنی شایعه را قبول کرده و پخش آن کمک می کنند یا با احتمال  $1-\alpha$

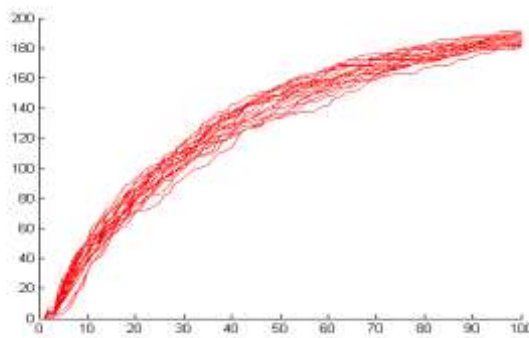
به  $I_2$  منتقل شده و شایعه را رد می کند. از آنجاییکه یک فرد ممکن است شایعه را چند بار شنیده و سپس تحت تاثیر قرار بگیرد، به احتمال  $\alpha$  فرد پس از رد شایعه مجدداً در وضعیت  $I_2$  قرار می گیرد و ممکن است تحت تاثیر قرار بگیرد.

در این مقاله ما به بررسی این مدل برای پخش شایعه در شبکه های مختلف می پردازیم و همچنین استراتژی های مختلف بر اساس Centrality measurement ها را برای کنترل پخش شایعه مورد بحث قرار می دهیم.

#### 4- نتایج

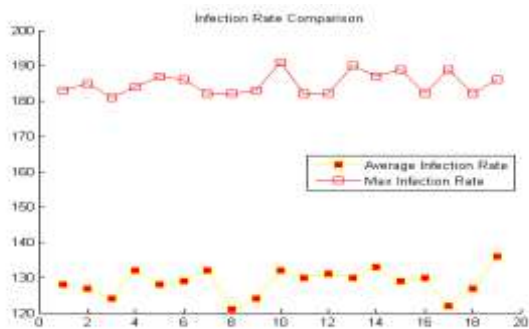
در ابتدا از مدل Erdos-Renyi برای شبیه سازی گراف های تصادفی استفاده کردیم. در این نوع گراف پارامتر  $p$  مشخص کننده احتمال برقراری لینک بین دو نود می باشد. برای پخش شایعه و استراتژی کنترل با پارامتر های مختلف  $p$  بررسی کردیم. فرضیاتی که برای آزمایش انتخاب کردیم به صورت زیر می باشد. احتمال اینکه یک نود، شایعه را دریافت کند 0.13 است و احتمال اینکه نود پس از دریافت شایعه آن را قبول کند 0.35 و به احتمال 0.65 آن را رد می کند. همچنین احتمال اینکه فردی که شایعه را رد کرده است مجدداً آن را دریافت کند 0.15 می باشد.

همانطور که در شکل (3) می بینیم ابتدا این مدل را بر روی گراف های تصادفی با  $p$  های متفاوت - مقادیر را بین 0.1 تا 1 با گام افزایشی 0.05 در نظر گرفتیم - اجرا کردیم. با فرض اینکه فقط افراد در وضعیت  $Infected I$  می توانند همسایه های خود را تحت تاثیر قرار بدهند، نمودار مقایسه بر روی این وضعیت می باشد.



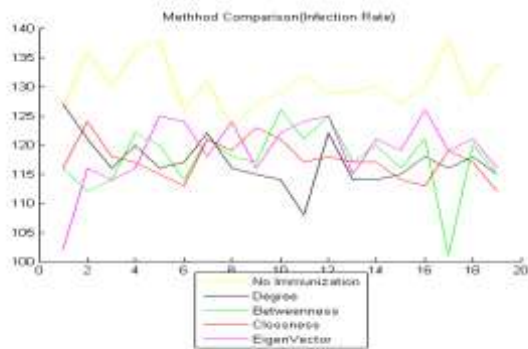
شکل (3): مقایسه ضریب تاثیر در گراف های تصادفی با مقادیر  $p$  متفاوت

همانطوری که در شکل مشاهده می کنید در گراف های تصادفی نمی توان الگوی خاصی برای تاثیر ساختار گراف بر ضریب تاثیر مشخص کرد. شکل (4) به مقایسه میانگین ضریب تاثیر و حداکثر ضریب تاثیر در بازه های زمانی مختلف می پردازد.



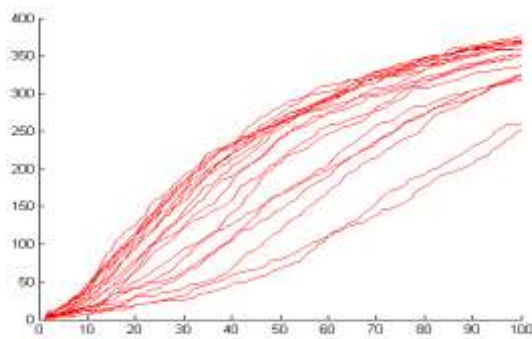
شکل (4): مقایسه بین حداکثر نرخ تحت تاثیر قرار گرفتن و میانگین آن

شکل (5) به مقایسه تاثیر متد های مختلف centrality برای کنترل شایعه می پردازد. با فرض اینکه می توانیم حداکثر 10% جمعیت را قرنطینه کنیم، تاثیر متد های degree, betweenness, closeness, eigenvector را برای مشخص کردن نود ها بررسی می کنیم.



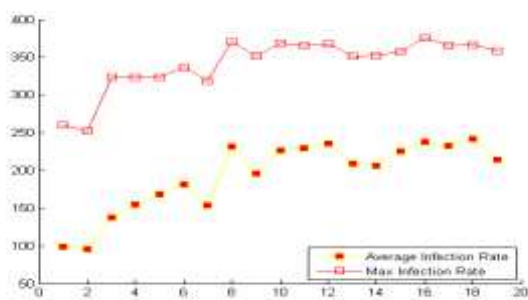
شکل (5): تاثیر متد های مختلف بر کنترل شایعه در گراف های تصادفی

در این قسمت به مطالعه بر روی شبکه های Small-World می پردازیم. در شکل (6) نحوه رشد تعداد افرادی که شایعه را قبول کردند مشاهده می شود. این اطلاعات بر روی شبکه ای با 400 نود و میانگین 5 و پارامتر  $\beta$  بین 0.1 تا 1 شبیه سازی شده است. همانطور که اطلاعات شکل (6) نشان می دهد با افزایش مقدار  $\beta$ ، نمودار رشد نیز تغییرات محسوسی نسبت به گراف های تصادفی دارد.

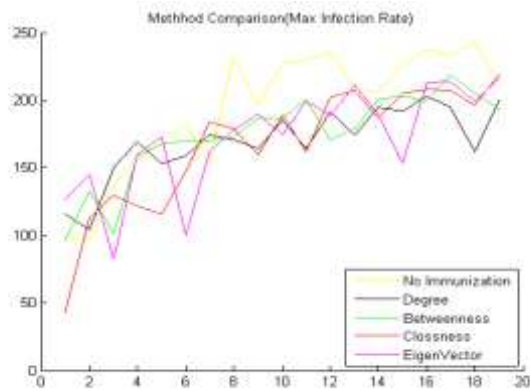


شکل (6): رشد افرادی که شایعه را قبول کرده اند در شبکه Small-World

شکل (7) به مقایسه میانگین ضریب تاثیر و حداکثر ضریب تاثیر در بازه های زمانی مختلف می پردازد. همانطوری که مشاهده می کنید میانگین نرخ رشد به ازای مقادیر مختلف  $\beta$ ، بصورت کلی رشد دارد.

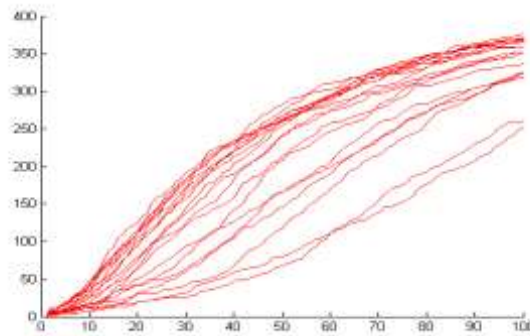


شکل (7): مقایسه میانگین و حداکثر نرخ رشد به ازای مقادیر مختلف  $\beta$



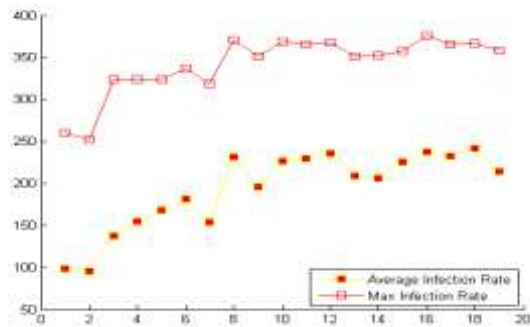
شکل (8): تاثیر متد های مختلف بر کنترل شایعه در گراف های *small-world*

در مرحله آخر شبیه سازی بر روی گراف های *small-world* با تعداد 200 نود و مقدار اولیه یال برابر با 4 و ضریب  $\alpha$  بین 0.1 تا 1 انجام شده است. شکل (9) رشد افراد در این نوع گراف ها نمایش داده شده است.



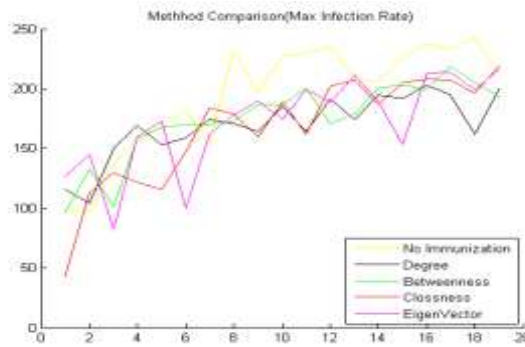
شکل (9): رشد افرادی که شایعه را قبول کرده اند در گراف *small-world* با 400 نود و ضرایب  $\alpha$  بین 0.1 تا 1

اطلاعات شکل (10) نشان می دهد که میانگین نرخ رشد در این نوع شبکه ها با افزایش ضریب  $\alpha$  افزایش پیدا می کند.



شکل (10): مقایسه میانگین رشد و حداکثر رشد در شبکه های *small-world*

شکل (11) تغییرات میانگین نرخ رشد را به ازای مقادیر مختلف  $\alpha$  نشان می دهد. این اطلاعات نشان می دهد در بیشتر مواقع نرخ رشد کاهش محسوسی دارد.



شکل (11): مقایسه میانگین نرخ رشد برای کنترل شایعه در شبکه های scale-free

### 5- نتیجه گیری

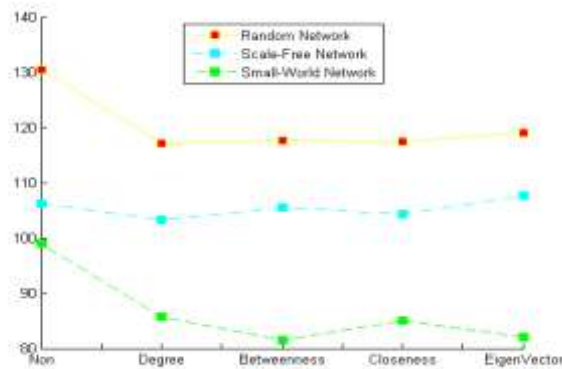
در این مقاله ابتدا یک مدل برای پخش شایعه تعریف کردیم. برای طراحی این مدل، مدل SI را به عنوان مدل پایه در نظر گرفته و با فرض اینکه افراد پس از دریافت شایعه، با آن را قبول کرده و به پخش آن کمک می کنند یا آن را رد می کنند، مدل را تغییر داده و دو وضعیت جدید ایجاد کردیم. همچنین فرض کردیم در صورتی که فردی شایعه را رد کند ممکن است مجدداً شایعه را دریافت کرده و تحت تاثیر آن قرار بگیرد.

سپس این مدل را برای شبیه سازی پخش شایعه در شبکه های مختلف مورد بررسی قرار دادیم و همچنین متد های مختلف برای محاسبه centrality های شبکه را برای قرنطینه کردن نود ها آزمایش کردیم.

نتایج به ما نشان داد که با رشد مقدار  $p$  در شبکه های تصادفی، افزایش نرخ رشد طبق الگوی خاصی خواهد بود ولی در شبکه های scale-free و small-world با افزایش مقادیر  $\beta$  و  $\alpha$  میانگین نرخ رشد نیز افزایش پیدا می کند.

شکل (12) از شبیه سازی این متد بر روی گراف های تصادفی، scale-free و small-world بدست آمده است. در هر مورد میانگین میانگین ها بر روی شبکه های مختلف را با استفاده از حالت های مختلف قرنطینه محاسبه می کنیم.

همانطور که در شکل (12) مشاهده می کنید در حالت گراف تصادفی متد های مختلف تقریباً معادل یکدیگر می باشند و از آنجاییکه بار محاسباتی متد ها با یکدیگر فرق می کند لذا متد degree centrality که زمان محاسباتی کمتری دارد بهتر خواهد بود. در حالت scale-free متد closeness centrality تاثیر زیادی دارد و در حالت small-world متد betweenness centrality بیشترین تاثیر را دارد.



شکل (12): مقایسه متد های مختلف کنترل شایعه

بر اساس تعریف و نیاز مساله می توانیم از این روش برای کمتر کردن سرعت پخش شایعه یا افزایش سرعت آن استفاده کنیم. برای مثال در بازاریابی می توانیم با انتخاب افراد که ضریب نفوذ بالایی دارند و ارائه محصول جدید به آنها، قابلیت های محصول را با استفاده از بازاریابی ویروسی و در کمترین زمان ممکن در میان افراد جامعه پخش کنیم.

- .1 LEWIS, T.G., *NETWORK SCIENCE Theory and Practice*. 2009: WILEY. 513
- .2 طاهرخانی، م.م.م.، کاربرد اتوماتا یادگیر سلولی در مدل‌سازی انتشار شایعه، *in 9th Iranian conference in Electrical Engineering 2001*: Tehran-Iran
- .3 M. Nekoveea, Y.M., G. Bianconic, M. Marsilic, *Theory of rumour spreading in complex social networks*. *Physica A*, 2006. **374**
- .4 Newman, M.E.J., *Network: An Introduction*. 2010: OXFORD Press. 1042
- .5 David Easley, J.K., *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*. 2010: Cambridge University Press. 833
- .6 D.J. Daley, J.G., *Epidemic Modelling*, . 2000, Cambridge, UK: Cambridge University Press
- .7 Erdős, P.A.R., *On the evolution of random graphs*. *Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences* 5, 1960: p. 61-17
- .8 Milgram, S., *Behavioral Study of Obedience*. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 1963. **67**: p. 371-378
- .9 Barabási, A.-L.A., Réka., "Emergence of scaling in random networks. *Science*, 1999. **286**: p. 509-512
- .10 takeover. *Nat Phys*, 2012. **8**(1): p. 14-16 Barabasi, A.-L., *The network*
- .11 Newman, M.E.J., *Power Laws, Pareto distribution, Zipf's law*. *Phys*, 2005. **46**: p. 323-351
- .12 Barabasi, A.-L., *Linked: How Everything is Connected to Everything Else*. 2004
- .13 dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 1998. **393**: p. 409 D.J.; Strogatz, S.H., *Collective*
- .14 M.Jalili, *Error and attack tolerance of small-worldness in complex networks*. *Journal of Informetrics* 2011. **5**: p. 422-430
- .15 Ken Y.K. Hui, J.C.S.L., David K.Y. Yau, *Small-world overlay P2P networks: Construction, management and handling of dynamic flash crowds*. *Computer Networks*, 2006. **50**(15): p. 2727-2746