مروری بر معیارهای مختلف مرکزیت در شبکه‌های اجتماعی و چالش‌های موجود

کبری رحمتی[۱]،حسن نادری[۲]، آسیه قنبرپور[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران،
K_Rahmati@comp.iust.ac.ir

[۲] استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران،
naderi@iust.ac.ir

[۳] دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران،
ghanbarpour@iust.ac.ir

Archive of SID

چکیده

چگونگی محاسبه اهمیت گره به منظور پیدا کردن گره مهم در شبکه یک مساله اساسی است. در زمینه‌ی شبکه‌های اجتماعی، اهمیت گره‌ها به وسیله‌ی معیارهای مرکزیت محاسبه می‌شود. کلمه اهمیت، معانی گسترده‌ای داردکه منجر به تعاریف متعددی برای مرکزیت می‌شود و در محیط‌ها و کاربردهای متفاوت به روش‌های مختلفی محاسبه می‌شود. درواقع، مرکزیت یک معیار کمی با هدف آشکار-سازی اهمیت گره‌ها است. هرکدام از پارامترهای مرکزیت در شبکه‌های اجتماعی نقش خاصی دارند. درواقع، این معیارها مبتنی بر جنبه‌های متفاوتی از خصوصیات گره‌ها هستند و اغلب با یکدیگر در تضاد هستند. هر شبکه با توجه به روابط موجود در شبکه از خصوصیات خاصی برخوردار است. به دلیل این تفاوت‌ها در شبکه‌های اجتماعی، شاخص‌های ارائه شده و نتیجه‌گیری‌ها همواره برای همه‌ی انواع شبکه‌ها صادق نیستند. درنتیجه، با توجه به نوع مسئله، نحوه انتشار و همچنین احتمال تأثیرگذاری، بهترین معیار در هر محیط متفاوت است. داشتن دانش در مورد انواع مرکزیت برای انتخاب یک مرکزیت مناسب به منظور حل یک مسئله جاری نوعی از حداقل ها می‌باشد. به همین منظور در این مقاله انواع شاخص‌های مرکزیت مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کلمات کلیدی

معیار مرکزیت، اهمیت گره، گلوگاه، گره، گراف.

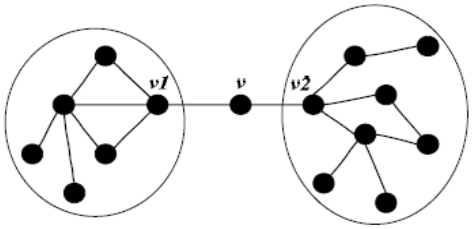
www.SID.ir

۱- مقدمه

با مطالعه‌ی عمیق شبکه‌های پیچیده، بررسی قابلیت اطمینان و بقای شبکه-های پیچیده به یک موضوع مهم پژوهشی تبدیل شده است. تحلیل شبکه های پیچیده یک کار بسیار مهم در سیستم شبکه برق، مخابرات، امنیت ملی، جامعه شناسی و غیره است. دو جنبه‌ی مهم این تحلیل‌ها عبارتنداز چگونگی ایجاد و پایداری شبکه‌ها. تحقیقات نشان می‌دهد که وضعیت گره‌ها در شبکه-ها یکسان نیست و تفاوت زیادی بین اهمیت آن‌ها وجود دارد. درعین‌حال، گره ها در وضعیت‌های مختلف، سطوح مختلفی از نفوذ در بقای شبکه دارند. به طور کلی، گره‌های مهم نقش کلیدی در عملکرد شبکه بازی می‌کنند. درنتیجه، بررسی تاثیر اهمیت گره در شبکه جهت تحلیل گره‌ها از دیدهای مختلف از جمله مراقبت و اهمیت به شدت مورد توجه است و به طور گسترده-ای مورد بررسی قرار می‌گیرد، زیرا مربوط به موضوعات مهمی مثل تعیین گلوگاه‌ها، بررسی آسیب پذیری و یا انعطاف پذیری شبکه در برابر حملات، ایمن‌سازی در برابر بیماری‌های همه‌گیر، هماهنگ‌سازی شبکه، ناوبری ترافیک تشخیص مکان پل‌ها و غیره می‌باشد. در واقع، زمانی که گره (یا گره های) هسته مورد حمله قرار می‌گیرد، استحکام شبکه به‌طور جدی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. در نتیجه، با شناسایی گره‌های مهم و درنظر

گرفتن استراتژی‌های حفاظتی قبل از حمله، می‌توان به قابلیت اطمینان و بقای شبکه کمک کرد و ضریب فعال بودن شبکه را افزایش داد. بنابراین ارزیابی اهمیت گره در شبکه‌های پیچیده نه تنها مفید بلکه حیاتی است. در واقع، چالش اصلی برای تحلیل شبکه‌های اجتماعی، شناسایی افراد کلیدی در شبکه اجتماعی است.

در شبکه‌های پیچیده‌ی بزرگ، همه‌ی گره‌ها معادل نیستند. به عنوان مثال اگر گره در یک بن‌بست باشد، حذف آن هیچ تأثیری بر روی کل شبکه ندارد. درحالی‌که در حالت متضاد، با برش گرهی مانند گره vدر شکل (۱)، این حذف ممکن است باعث قطع مؤلفه‌های شبکه شود. درزمینه‌ی شبکه‌های اجتماعی، اهمیت گره‌ها به «مرکزیت[1]» وابسته است. با توجه به این‌که همه‌ی این تعریف‌ها بسیار متفاوت هستند، وقتی افراد با برخی کاربردهای خاص مواجه می‌شوند، ممکن است زیرمجموعه‌ای از این تعریف‌ها برای آن‌ها مفید باشد **Error! Reference source not found.**[1].



شکل (۱) : اهمیت گره v در قطع گراف Error! Reference source not found.**[1]**

هر معیار در یک شبکه به‌منظور مقابله با یک دسته از مسائل، بر اساس یک معیار مجزا ارائه‌شده است. بااین‌حال، گاهی اوقات، باید اهمیت گره را به‌طور کامل بر اساس معیارهای مختلف در نظر بگیریم **Error! Reference source not found.**[2][2].

به‌طورکلی، ارتباط اعضای مختلف یک شبکه‌ی اجتماعی به‌طورقابل‌توجهی متفاوت است. به‌منظور شناسایی کسانی که نقش محوری در یک شبکه اجتماعی بازی می‌کنند استفاده از معیارهای مرکزیت[2] مناسب است. بنابراین در این مقاله وضعیت تحقیقات انجام شده تاکنون در مورد معیارهای مرکزیت در شبکه‌های پیچیده همچون شبکه های اجتماعی بررسی می‌شود. در بخش ۲ سه اصل مرکزیت بیان خواهند شد. در بخش ۳ یک دسته بندی سطح بالا برای معیارهای مرکزیت ارائه داده‌ایم. در بخش ۴ لیست تقریبا کاملی از حدود نوزده مهمترین معیار مرکزیت توضیح داده خواهند شد.

۲- اصول مرکزیت

از آنجا که هرکدام از شاخص‌ها اهداف متفاوتی را ارائه می دهند، تعریف مجموعه اصولی که تعیین کند مرکزیت چیست، معقول نیست. درواقع، معقول است که اصول ضروری که یک شاخص باید برای رفتار قابل پیش‌بینی رعایت کند را تعیین کنیم. تعریف چنین اصولی یک موضوع حساس و مهم است. در تعریف این اصول فرض می‌کنیم که معیارهای مرکزیت به برچسب خاص انتخاب شده برای هر گره وابسته نیستند بلکه فقط به ساختار گراف وابسته هستند ***Error! Reference source not found.***.

اگر یک گراف k-cliqueو یک گراف p-cycleرا مانند شکل (۳) در نظر بگیرید، اصول مرکزیت به صورت زیر قابل تعریف است:

شکل (۲) : نمونه گراف‌های clique و cycle Error! Reference source not found.**[3]**

تعریف ۱ (اصل اندازه): گراف $S_{k,p}$را در نظر بگیرید که از یک k-cliqueو یک p-cycleجهت‌دار ساخته‌شده است. یک معیار مرکزیت، اصل اندازه را رعایت می‌کند اگر برای هر kیک P_k وجود داشته باشد به‌طوری‌که برای هر $p \geq P_k$ در $S_{k,p}$مرکزیت یک گره در p-cycleبه‌شدت بزرگ‌تر از مرکزیت یک گره در k-cliqueاست و اگر برای هر pیک k_pوجود داشته باشد به‌طوری‌که برای هر $k \geq K_p$ در $S_{k,p}$ مرکزیت یک گره در k-cliqueبه‌شدت بزرگ‌تر از مرکزیت گره در p-cycle است. [3].

تعریف ۲ (اصل تراکم): گراف $D_{k,p}$ را که از یک k-cliqueو یک p-cycle(p , k ≥ 3)ساخته‌شده و به‌وسیله‌ی یک پل دوطرفه $x \leftrightarrow y$ متصل شده‌اند را در نظر بگیرید، به‌طوری‌که xیک گره در دسته و yیک گره در چرخه است. یک معیار مرکزیت اصل تراکم را ارضا می‌کند اگر برای k = pمرکزیت xبه‌شدت بزرگ‌تر از مرکزیت yباشد.

تعریف ۳ (اصل یکنواختی-امتیاز): یک معیار مرکزیت اصل یکنواختی امتیاز را رعایت می‌کند اگر برای هر گراف Gو هر جفت گره xو yبه‌طوری‌که $x \nrightarrow y$، وقتی‌که $x \rightarrow y$ را به Gاضافه می‌کنیم، مرکزیت

Archive of SID

yافزایش می‌یابد. این اصل اساساً توسط همه‌ی معیارهای مرکزیت بـر روی گراف‌های متصل قوی رعایت می‌شود [3].
طبق بررسی‌های انجام شده بر روی معیارهای مرکزیت از نظر رعایت اصول مرکزیت، باید گفت فقط مرکزیت هارمونیکهمه‌ی اصول فوق را رعایت می-کند[3].

۳- دسته‌بندی معیارهای مرکزیت

معیارهای مرکزیت را می‌توان به سه دسته‌ی کلی دسته‌بندی کرد، که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

۳-۱- معیارهای هندسی

در معیارهای هندسی، اهمیت تابعی از فاصله است، به‌طـور دقیـق‌تـر، اهمیـت هندسی فقط به تعداد گـره‌هـای موجـود در هـر فاصـله بسـتگی دارد. برخـی معیارهای هندسی عبارتند از: مرکزیـت درجـه، مرکزیـت نزدیکـی، مرکزیـت هارمونیک، شاخص لین.

۳-۲- معیارهای طیفی

معیارهای طیفی، بردار ویژه‌ی مسلط چپ[۲] ماتریس‌بـه‌دسـت‌آمـده از گـراف را محاسبه می‌کنند و بر اساس اینکه ماتریس چگونه قبل از محاسـبات اصـلاح می‌شود، می‌توانیم تعدادی معیار مختلف به دست آوریم. برخی معیارهای

طیفی عبارت‌اند از: بردار ویـژه مسـلط چـپ، شـاخص سـلی، شـاخص کـاتز، PageRank، HITS، SALSA.

۳-۳- معیارهای مبتنی بر مسیر

معیارهای مبتنی بر مسیر در واقع همه‌ی مسیرها یا کوتاه‌ترین مسـیرهای وارد شونده به یک گره را بررسی می‌کنند. درجه‌ی ورودی می‌تواند به عنوان یـک معیار مبتنی بر مسیر نیز در نظر گرفته شود، به‌طوری‌که معادل با تعداد کوتاه-ترین مسیرهای ورودی به طول یک است. با یک دید کلی همه‌ی معیارهـای طیفی می‌توانند به‌عنوان معیارهای مبتنی بر مسیر در نظر گرفته شـوند. معیـار مرکزیت بینابینی، یک نوع معیار مبتنی بر مسیر می‌باشد.

٤- انواع معیارهای مرکزیت

در این بخش انواع معیارهای مرکزیت و ویژگی‌های آن‌ها مورد بررسـی قـرار می‌گیرد.

٤-۱- معیار مرکزیت درجه[٤]

اولین و ساده‌ترین مفهوم مرکزیت، درجه است، که به‌عنوان تعداد لینک‌هـای حادث بر یک گره تعریف می‌شود. در یک شبکه‌ی جهت‌دار، معمولاً دو معیار متمایز از مرکزیت درجه تعریف‌شده است، کـه عبارتنـد از درجـه‌ی ورودی و درجه‌ی خروجی. مرکزیت درجه رأسv، برای گراف G=(V,E)بـا |V|رأس و |E|یال، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_D(v) = deg(v) \quad (۱)$$

نقطه ضعف عمده DCاین است که تماس‌های غیـر مسـتقیم اصـلاً در نظر گرفته نمی‌شوند **.Error! Reference source not found**

٤-۲- معیار مرکزیت نزدیکی[٥]

طبق این معیار، گرهی کـه مرکزیـت نزدیکـی بیشـتری داشـته باشـد، گـره مرکزی‌تر و مهم‌تری در شبکه خواهد بود. در واقع، اگر گره در مرکزی‌تـرین مکان شبکه قرارگرفته باشد، اطلاعات از طریق آن در کوتـاه‌تـرین زمـان در کل شبکه منتشر خواهند شـد ***Error! Reference source not found.***[5]. درواقع گرهی به‌عنوان گره مرکزی در نظر گرفته می‌شود که برای ارتباط با دیگر گره‌ها به تعداد کمی واسط نیاز داشـته باشـد ***Error! Reference source not found.***[6]فرض کنید d(i,j)طول کوتاه‌ترین مسیر از گره v_iبه گره v_jباشد. معادله مرکزیت نزدیکی به‌صـورت زیر است:

$$C_C(v_i) = (N-1)/\sum_{j=1}^{N} d(i,j) \quad (۲)$$

بزرگ‌ترین مقدار $C_C(v_i)$، یعنی vi نزدیک‌ترین گره بـه مرکـز شـبکه است، که نشان می‌دهد گره vi یک موقعیت مهم در شـبکه دارد. بـرای ایـن معیار گراف باید قویاً متصل باشد. در غیر این صورت، برخـی از مخـرج‌هـا ∞ خواهند بود و در نتیجه برای همه‌ی گره‌هایی که قابل دسترس نیستند امتیـاز صفر به دست می‌آید[3].روشی که برای استفاده از مرکزیت نزدیکی در گراف های غیر متصل پیشنهاد شده است، فقط در نظر گرفتن فاصله هـای کمتـر از ∞ می باشد، به صورت زیر:

$$\frac{1}{\sum_{d(y,x)<\infty} d(y,x)} \quad (۳)$$

در این روش مرکزیت گره‌هایی که هیچ گرهی به آن‌ها دسترسی نـدارد برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. ولی مشکلی که این روش دارد این است که به سمت گره‌هایی که تعداد گره‌های کمتری به آن‌ها دسترسی دارند، جهـت-گیری شدیدی دارد.

٤-۳- شاخص لین[٦]

شاخص لین تعریف مرکزیت نزدیکی را برای گراف‌هایی با فاصـله‌ی بینهایـت اصلاح می‌کند. این شاخص با استفاده از مربع تعداد گـره‌هـایی کـه بـه گـره دسترسی دارند، به گره‌هایی که تعداد بیشتری گره بـه آن‌هـا دسترسـی دارنـد اهمیت بیشتری می‌دهد، تعریف لین برای مرکزیت گره xعبارت است از:

$$\frac{|\{y|d(y,x)<\infty\}|^2}{\sum_{d(y,x)<\infty} d(y,x)} \quad (۴)$$

منطق پشت این تعریف به این صورت است که ابتدا، فـرض مـی‌کنـیم مرکزیت نزدیکی معکوس متوسط فاصله‌ها است، که مستلزم یـک ضـرب در تعداد گره‌هایی است که به گره دسترسی دارند. این تغیر،مرکزیت نزدیکی را در گراف نرمال‌سازی می‌کند. در واقع، می‌خواهیم بـه گـره‌هـایی کـه گـره‌هـای بیشتری به آن‌ها دسترسی دارند اهمیت بیشتری داده شود، درنتیجه دوبـاره در تعداد گره‌هایی که به گره دسترسی دارند ضرب می‌کنیم. همچنین، گره‌هـایی که هیچ گره‌ای به آن‌ها دسترسی ندارد دارای مرکزیت ۱ هستند. شاخص لین

Archive of SID

www.SID.ir

برای ارائه‌ی یک راه‌حل برای مسائل ناشی از تعریف مرکزیت نزدیکی مناسب به نظر می‌رسد[7].

٤-٤- معیار مرکزیت هارمونیک[۷]

مرکزیت هارمونیک تصحیح شده‌ی مرکزیت نزدیکی سنتی است، که برای دسترسی به گره‌های غیرقابل دسترس طراحی شده است. علاوه بر این، مرکزیت هارمونیک به‌عنوان یک شاخص مرکزیت همه‌منظوره‌ی عالی برای گراف‌های جهت‌دار دلخواه استفاده می‌شود. در واقع این معیار برای مقابله با مشکل مرکزیت نزدیکی، برای یک شبکه جهت‌دار عمومی میانگین فاصله‌ها را با میانگین هارمونیک همه‌ی فاصله‌ها جایگزین می‌کند. بنابراین مرکزیت هارمونیک xرا با این فرض اینکه $\infty^{-1} = 0$ به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$\sum_{y \neq x} \frac{1}{d(y,x)}$ (۵)

ممکن است تفاوت این فرمول با فرمول (۲) جزئی به نظر برسد، اما درواقع این یک تغیر اساسی است. مرکزیت هارمونیک همبستگی قوی با مرکزیت نزدیکی در شبکه‌های ساده دارد. اما، می‌تواند برای اعمال روی گراف‌هایی که متصل قوی نیستند سودمند باشد [8][8][8].

٤-٥- معیار مرکزیت بینابینی[۸]

معیار مرکزیت بینابینی تعداد دفعاتی که یک گره به‌عنوان پل در طول کوتاه‌ترین مسیر بین دو گره دیگر عمل می‌کند را مشخص می‌کند و به‌عنوان معیاری برای تعیین کمیت کنترل یک فرد روی ارتباط موجود بین دیگر افراد در یک شبکه معرفی شده است. در BCیک گره که متصل‌تر باشد در بسیاری از کوتاه‌ترین مسیرهای ممکن بین جفت گره‌های دیگر وجود خواهد داشت.

$C_B(v_i) = \sum_{i \neq j \neq r \in V}^{N} \frac{k_{jr}(v_i)}{k_{jr}}$ (۶)

k_{jr} تعداد کوتاه‌ترین مسیرها از گره vj به گره vr در شبکه است، $k_{jr}(v_i)$ تعداد کوتاه‌ترین مسیرها از طریق گره vi است. مرکزیت بینابینی یک گره، ظرفیت بار آن گره بین گره‌های دیگر است و مقدار بینابینی بیشتر، تأثیرگذاری بیشتر گره vi در شبکه را نشان می‌دهد **Error! Reference source not found.**0[13]، **Error! Reference source not found.**[12]. BC یکی از معیارهای استاندارد مرکزیت گره است، که در اصل برای تعیین اهمیت یک گره (فرد) در یک شبکه (اجتماعی) معرفی شده است. گره‌هایی با BCبالا در اتصال و انتشار اطلاعات مهم هستند[9].BCمناسب‌ترین مرکزیت برای تعیین اهمیت گره و تأثیر آن بر روی اتصال کلی گراف است[10][10].یکی از معایب BC این است که فقط گره‌هایی را در نظر می‌گیرد که درگیر کوتاه‌ترین مسیرها هستند[10][10].

٤-٦- معیار مرکزیت بردار ویژه[۹]

ایده اصلی مرکزیت بردار ویژه این است که اهمیت یک گره نه تنها به‌وسیله خودش تعیین می‌شود (خصوصیت خودش است)، بلکه اغلب تحت تأثیر خصوصیت اهمیت همسایگانش است. یک گره که به گره‌های مهم متصل شده باشد، بر اهمیت خودش نیز تحت تاثیر این ارتباط افزوده خواهد شد***Error! Reference source not found.***[5]. با این ایده، مرکزیت بردار ویژه رأس xبه‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$C_E(v_i) = v_x = \frac{1}{\lambda_{max(A)}} . \sum_{j=1}^{N} a_{jx} . v_j$ (۷)

$v = (v1, v2, \dots, vn)^T$ به یک بردار ویژه برای مقدار ویژه ماکسیمم $\lambda_{max}(A)$ ماتریس همسایگی A اشاره می‌کند **Error! Error! Reference source not found. Reference source not found.**[10].

٤-٧- معیار مرکزیت گریز از مرکز[۱۰]

مفهوم گریز از مرکز، مفهوم حداکثر فاصله بین جفت گره‌ها را در نظر می‌گیرد:

$C_e(v_i) = \frac{1}{max_{j \in V} d(i.j)}$ (۸)

یک گره مرکزی است اگر هیچ گره‌ای دور از آن نباشد. این معیار مرکزیت در واقع مختص گراف‌های متصل است و گره‌های مهم در انتشار اطلاعات را مشخص می‌کند[10][10].

٤-٨- معیار مرکزیت نفوذ[۱۱]

مرکزیت نفوذ با این ایده ارائه شد که به‌طور خاص اهمیت گره از نظر کمک به نفوذ در شبکه را اندازه‌گیری کند. مرکزیت نفوذ برای یک گره در یک‌زمان، به‌عنوان احتمال مسیر نفوذ[۱۲] از طریق گره تعریف می‌شود. یک مسیر نفوذ، کوتاه‌ترین مسیر بین یک جفت گره است، که به گره مبدأ نفوذ شده است. گره هدف می‌تواند در وضعیت نفوذ شده، نفوذ نشده و نفوذ جزئی باشد.

$C_P^t(v) = \frac{1}{N-2} \sum_{s \neq v \neq r}^{N} \frac{\sigma_{sr}(v)}{\sigma_{sr}} \frac{x_s^t}{\sum[x_i^t] - x_v^t}$ (۹)

به‌طوری‌که σ_{sr} تعداد کل کوتاه‌ترین مسیرها از گره s به گره r است و $\sigma_{sr}(v)$ تعدادی از این مسیرها است که از v می‌گذرد. وضعیت نفوذ گره i در زمان t با x_i^t نشان داده می‌شود و دو حالت خاص دارد، $x_i^t = 0$ که نشان دهنده‌ی وضعیت نفوذ نشده در زمان t است و $x_i^t = 1$ که نشان‌دهنده ی وضعیت نفوذ کامل در زمان t است. مقادیر بین صفر و یک وضعیت نفوذ جزئی را نشان می‌دهد 00.

٤-٩- معیار مرکزیت cross-clique

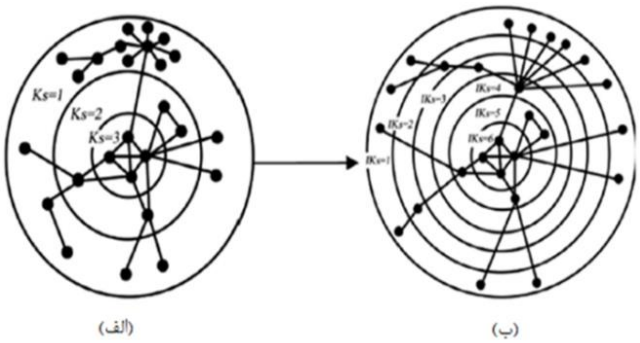
مرکزیت cross-clique یک گره، در یک گراف پیچیده اتصال گره به دسته‌های مختلف را مشخص می‌کند. یک گره با اتصال cross-cliqueبالا انتشار اطلاعات یا بیماری در یک گراف را تسهیل می‌کند. دسته ها زیر گراف‌هایی هستند که در آن‌ها، هر گره به همه‌ی گره‌های دیگر موجود در آن متصل است. اتصال cross-cliqueگره vدر گراف G(V,E)، به‌صورت X(v) تعریف می‌شود به‌طوری‌که X(v)تعداد دسته‌هایی است که رأس vبه آن‌ها متعلق است[12][12].

٤-١٠- معیار مرکزیت تجزیه K-shell

تجزیه k-shellبه‌طور بازگشتی گره‌هایی که درجه کمتر یا مساوی kدارند را هرس می‌کند. اگر فرض کنیم(S=(G,E|G، زیر شبکه‌ی حاصل از تجزیه

Archive of SID

k-shellبر روی گراف Gاست. زیرگراف S، یک k-coreاز گراف Gنامیده می‌شود، اگر و فقط اگر درجه‌ی همه‌ی گره‌های باقیمانده در آن بزرگ‌تر از kباشد و Sبزرگ‌ترین زیر شبکه باشد. زیر شبکه‌ای که مقدار Ks گره‌های آن برابر با kاست، k-shellگراف Gنامیده می‌شود. یک نمودار از تجزیه k-shellدر شکل (۴) (الف) نشان داده‌شده است، شبکه به ۳ تا shellمتفاوت تقسیم‌شده است، با Ks=1و Ks=2و Ks=3. هر گره یک مقدار Ksمی‌گیرد [13]*Error! Reference source not found.*[13].



شکل (۳) : مثالی از تجزیه k-shell و تجزیه k-shell بهبودیافته[13][13]

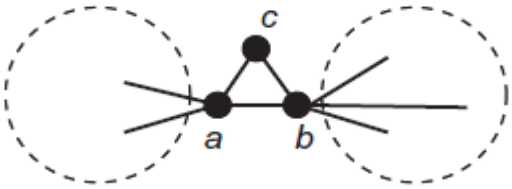
٤-١١- تجزیه k-shell بهبود یافته

فرض کنید شبکه اولیه G_0است، ابتدا گره‌هایی را پیدا می‌کنیم که درجه آن‌ها در G_0مینیمم است و مقدار Iksآن‌ها را به‌عنوان $Ks_1=1$تعریف می‌کنیم، سپس زیر شبکه‌ی جدید G_1را با حذف این گره‌ها به دست می‌آوریم. به‌طور مشابه، گره‌هایی که درجه آن‌ها در G_1مینیمم است را پیداکرده و مقدار Iksآن‌ها را به‌صورت $Ks_2=Ks_1+1$تعریف می‌کنیم و به‌طور مداوم و بازگشتی تا زمانی که همه‌ی گره‌ها حذف شوند ادامه می‌دهیم. اگر درجه‌ی یک گره در kامین حذف صفر شود، مقدار Iksآن به‌صورت (K+1)تعریف می‌شود. هر گره می‌تواند با استفاده از تجزیه k-shellیک مقدار Iksمنحصربه‌فرد داشته باشد، همان‌طور که در شکل (۴) (ب) نشان داده‌شده

است. در اینجا تمایز دقیق‌تری از خصوصیات محلی متفاوت بین گره‌ها ارائه می‌شود [13].

٤-١٢- معیار مرکزیت Random Walk Betweenness

یکی از معایب BCاین است که فقط گره‌هایی را در نظر می‌گیرد که درگیر کوتاه‌ترین مسیرها هستند. در شکل (۵)، گره c، که خارج از کوتاه‌ترین مسیرهای متصل‌کننده‌ی خوشه‌های چپ و راست است، باوجود اهمیت واضح آن برای مسیرهای جایگزین، امتیاز مرکزیت بینابینی بسیار کمی می‌گیرد. این گونه گره‌های کنار گذاشته شده می‌توانند اهمیت حیاتی برای انعطاف‌پذیری شبکه در موازنه بار یا در آستانه شکست گره‌های کوتاه‌ترین مسیر داشته باشند. random walk betweenness برای حل این مشکل معرفی شد، ایده این است که یک فرایند تصادفی اغلب مسیرهای غیر بهینه را محاسبه می‌کند. با فرض داشتن دانش در مورد کل گراف، این روش از ماتریس همسایگی استفاده می‌کند و شامل راه‌اندازی یک پیاده‌روی تصادفی از هر گره sبه هر گره دیگر tاست. random walk betweenness گره iبرابر است با تعداد دفعاتی که، به‌طور متوسط با همه‌ی جفت‌های ممکن (s,t)، یک پیاده‌روی تصادفی شروع‌شده از sو پایان‌یافته در tدر طول راه از iعبور می‌کند. مشکل این روش این است که نیاز به دانش عمومی دارد و این مانع استفاده از آن در یک محیط توزیع‌شده می‌شود[10][14][14]،.



شکل (٤) : یک نمونه که در آن betweenness centrality علارقم اهمیت گره c به آن امتیاز کمی می‌دهد[10][10]

٤-١٣- معیار مرکزیت محلی[١٣]

معیار مرکزیت محلی، هم نزدیک‌ترین همسایه و هم نزدیک‌ترین همسایه‌های بعدی را در نظر می‌گیرد. مرکزیت محلی گره vبه‌صورت زیر تعریف می‌شود، $C_L(v)$:

$$Q(u) = \sum_{w\in\Gamma(u)} N(w) \quad (۱۰)$$
$$C_L(v) = \sum_{u\in\Gamma(v)} Q(u) \quad (۱۱)$$

به‌طوری‌که $\Gamma(u)$ مجموعه‌ی نزدیک‌ترین همسایه‌های گره u و $N(w)$ تعداد نزدیک‌ترین و نزدیک‌ترین همسایه‌های بعدی گره w است.

به‌طورکلی، در مقایسه با سه معیار مرکزیت شناخته‌شده‌ی درجه، نزدیکی و بینابینی، معیار مرکزیت محلی عملکرد خیلی بهتری نسبت به مرکزیت‌های درجه و بینابینی دارد و تقریباً به‌خوبی معیار مرکزیت نزدیکی است درحالی‌که پیچیدگی محاسباتی بسیار کمتری دارد[13].

٤-١٤- معیار مرکزیت Second order

مرکزیت second orderبه روش توزیع‌شده قابل محاسبه است. این روش

متکی بر ملاقات با پیاده‌روی تصادفی بی‌طرفانه است و به‌صورت محلی برای هر گره مقداری را فراهم می‌کند که منعکس‌کننده‌ی اهمیت آن گره است. درواقع هر گره باید از محله‌ی مستقیم خودآگاه باشد و نیاز به هرگونه اطلاعات عمومی ندارد. برای این منظور، هر گره زمان سپری‌شده بین ملاقات‌های پیاده‌روی تصادفی که زمان بازگشت نامیده می‌شود و انحراف استاندارد زمان‌های بازگشت را ثبت می‌کند.

نکته‌ی کلیدی این است که در پیاده روی تصادفی گره‌های مرکزی در مقایسه با دیگر گره‌ها به‌طور منظم ملاقات می‌شوند. درواقع، برای تعیین دقیق گره‌های مهم از انحراف استاندارد زمان‌های بازگشت استفاده می‌شود[10][14].

٤-١٥- معیار مرکزیت بردار ویژه مسلط چپ[١٤]

اولین و بارزترین معیار طیفی، بردار ویژه‌ی مسلط چپ ماتریس مجاورت است. درواقع، بردار ویژه‌ی مسلط می‌تواند به‌عنوان نقطه ثابت یک محاسبه تکرارشونده باشد که در آن هر گره با امتیاز مشابهی شروع می‌شود و سپس آن امتیاز را با مجموع امتیازات گره‌های ماقبل خود جایگزین می‌کند. سپس

Archive of SID
www.SID.ir

بردار نرمال‌سازی شده و فرایند تا زمان همگرایی تکرار می‌شود. بردارهای ویژه‌ی مسلط در عمل روی گراف‌هایی که متصل قوی نیستند شکست می خورند**Error! Reference source not found.**[15][15].

۱۶-٤- شاخص کاتز[۱۵]

شاخص کاتز نفوذ نسبی یک گره را با اندازه‌گیری تعداد همسایه‌های مستقیم و غیرمستقیم گره محاسبه می‌کند. اتصالات غیر مستقیم با ضریب کاهش αجریمه می‌شوند. در واقع، به هر اتصال یک وزن αاختصاص داده می‌شود. شاخص کاتز به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$C_{Katz}(i) = \sum_{k=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{n} \alpha^k (A^k)_{ji}$ (۱۲)

با توجه به فعل و انفعالات بین قدرت ماتریس همسایگی و تعداد مسیرهای اتصال بین دو گره، برای اینکه حاصل جمع بالا محدود شود، ضریب کاهش α باید کمتر از $1/\lambda$ باشد، به‌طوری‌که λ مقدار ویژه مسلط ماتریس A است **Error! Unknown switch argument.**[3,4,**Error! Unknown switch argument.Error! Unknown switch argument.**.

۱۷-٤- PageRank

PageRank یکی از شاخص‌های طیفی است که امروزه عمدتاً به دلیل استفاده در الگوریتم رتبه‌بندی گوگل بیشتر بحث و نقل می‌شود. این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$p = \alpha p\bar{A} + (1-\alpha)v$ (۱۳)

به‌طوری‌که $\bar{A}$ ماتریس مجاورت li-normalized شده گراف است، $\alpha \in [0..1)$ یک عامل تعدیل است و v یک بردار اولویت است. ادعا می‌شود که امتیاز PageRank یک احتمال توزیع صفحات وب است، که دارای norm l1 است، اما اگر A دارای سطرهای خالی باشد، ضرورتاً درست نیست. مقالات علمی چندین راه برای این مشکل پیشنهاد می‌کنند تا ماتریس $\bar{A}$ را تصادفی۱۶ کنند. یک راه‌حل مشترک جایگزین کردن سطرهای خالی با بردار اولویت v خودش است، اما راه‌حل‌های دیگری نیز ارائه شده است**Error! Error! Reference source not found.**[16][17]**Reference source not found.**.

۱۸-٤- HITS

الگوریتم HITSاز استعاره وب از "تقویت متقابل" استفاده می‌کند. یک صفحه وب معتبر است اگر به وسیله‌ی هاب‌های بسیار خوبی به آن اشاره شود (صفحاتی که شامل لیست خوبی از صفحات معتبر هستند) و یک هاب خوب است اگر به صفحات معتبری اشاره کند. این یک فرایند تکراری را نشان می‌دهد که در یک زمان امتیاز معتبر بودن a_iو امتیاز هاب بودن h_iرا با شروع از $a_0=1$محاسبه می‌کند و سپس قوانین به‌روزرسانی را اعمال می‌کند.

$h_{i+1} = a_i A^T$ (۱۴)

$a_{i+1} = h_{i+1} A$ (۱۵)

این فرایند به بردار ویژه سمت چپ ماتریس ATA همگرا می‌شود، و امتیاز Authority نهایی را می‌دهد. به‌طور عکس، با در نظر گرفتن بردار ویژه مسلط سمت چپ AAT، امتیاز hubbiness نهایی را می‌دهد **Error! Reference source not found.**[18][18]**source not found.**.

۱۹-٤- SALSA

این معیار از استعاره تقویت متقابل بین authoritativenessوhubbiness استفاده می‌کند، اما L1-normalizingماتریس‌های Aو A^Tرا در نظر می‌گیرد. با $a_0=1$شروع می‌کنیم و به‌صورت زیر ادامه می‌دهیم ***Error!*** ***Reference source not found.***0 0:

$h_{i+1} = a_i \overline{A^T}$ (۱۶)

$a_{i+1} = h_{i+1} \bar{A}$ (۱۷)

۵- نتیجه

هر شبکه با توجه به روابط موجود در شبکه از خصوصیات خاصی برخوردار است. به همین دلیل در شبکه‌های اجتماعی، شاخص‌های ارائه شده و نتیجه گیری‌ها همواره برای همه‌ی انواع شبکه‌ها صادق نیستند. در نتیجه برای هر محیط، با توجه به نوع مسئله، نحوه انتشار و همچنین احتمال تاثیر گذاری، بهترین معیار متفاوت است. اهمیت گره یک مفهوم مبهم است، اگرچه بسیاری از مقالات علمی برای توصیف خواص شبکه‌ها از آن استفاده می‌کنند. برخی مقالات ایده‌های جدیدی را برای تعریف اهمیت گره ارائه می‌دهند، به منظور ارزیابی اهمیت جامع گره، گاهی از معیارهایی استفاده می‌شود که از ترکیبی از معیارهای مرکزیت برای ارزیابی اهمیت گره استفاده می کنند. به طور کلی، در هر محیط با توجه به نوع مسئله و شاخص‌های اهمیت مورد نظر، معیار مرکزیت مورد استفاده و روش محاسبه‌ی اهمیت گره‌های متفاوت است.

ضمیمه

در جدول (۱) فرمول (در صورت وجود)، مزیت، عیب و کاربردهای معیارهای ارائه شده در این مقاله به صورت فشرده در یک جدول ارائه شده‌اند. توضیحات مختصری نیز در مورد هر کدام از معیارها به همراه مراجع آن‌ها نیز آورده شده است.

مراجع

[1] Bojin Zheng, Deyi Li, Guisheng Chen, Wenhua Du, Jianmin Wang, "Ranking the Importance of Nodes of Complex Networks by the Equivalence Classes Approach", Elsevier, (2012)

[2] Jianwei Wang, Lili Rong, Tianzhu Guo, "A new measure of node importance in complex networks with tunable parametrs", 4th International Conference on IEEE, Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, pp-1-4, (2008)

[3] Duanbing Chen, Linyuan Lu, Ming-Sheng Shang, Yi-Cheng Zhang,Tao Zhou, "Identifying influential nodes in complex networks", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 391, pp-1777-1787, (2011)

[4] Andrea Landherr, Bettina Friedl, Dr. Julia Heidemann, "A Critical Review of Centrality Measures in Social Networks", Business &Information Systems Engineering, Vol. 2, pp-371-385, (2010)

[5] Yi Yu, Suohai Fan, "Node Importance Measurement Based on the Degree and Closeness Centrality", Journal of Information & Commputational Science, pp-1281-1291, (2015)

Archive of SID
www.SID.ir

[6] G. Sabidussi, The centrality index of a graph, Psychometrika, Vol (31), pp-581-603, (1966)
[7] Nan Lin. Foundations of Social Research. McGraw-Hill,New York, (1976)
[8] Massimo Marchiori and Vito Latora. Harmony in the small-world. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, pp-539-546, (2000)
[9] Paolo Boldi, Sebastiano Vigna, "Axioms for Centrality" , Social and Information Networks, (2013)
[10] Anne-Marie Kermarrec, Erwan le Merrer, Bruno Sericola, Gilles Tredan, "Second order centrality: Distributed assessment of nodes criticity in complex networks", Computer Communications, Vol. 34, pp-619-628, (2011)
Mahendra piraveenan, Mikhail Prokopenko, Liaquat Hossain, "percolation centrality: Quantifying Graph-

جدول (۱): مرور کلی معیارهای مرکزیت

معیار مرکزیت	فرمول	مزیت- عیب	کاربرد	توضیحات
درجه (Degree)	$C_D(v) = \deg(v)$	مزیت: پیچیدگی محاسباتی کمی نسبت به بقیه معیارها دارد **Error! Reference source not found.**00 عیب: اتصال‌های غیرمستقیم در نظر گرفته نمی‌شوند **Error! Reference source not found.**[4] عیب: مبتنی بر خصوصیت محلی گره است و اطلاعات کمی از ساختار شبکه به ما می‌دهد **Error! Reference source not found.**[13][13]	برای اندازه‌گیری فعالیت‌های ارتباطی در شبکه استفاده می‌شود **Error! Reference source not found.**[2][1]	این معیار اهمیت محلی گره را در نظر می‌گیرد و موقعیت گره در شبکه را در نظر نمی‌گیرد[5] گره‌هایی با درجه بالا تأثیری در اتصال گراف ندارد10]][10]
نزدیکی (Closeness)	$C_C(v_i) = (N-1)/\sum_{j=1}^{N} l_{ij}$	عیب: فقط مختص گراف‌های متصل است **Error! Reference source not found.**[3] عیب: پیچیدگی محاسباتی بالا برای شبکه‌های اجتماعی آنلاین10]]	برای تعیین گره‌هایی که در انتشار اطلاعات مؤثر هستند استفاده می‌شود[5] برای نمایش استقلال یا بهره‌وری ارتباطات استفاده می‌شود **Error! Reference source not found.** نفوذ روی همه‌ی گره‌های شبکه را در نظر می‌گیرد[5]	در شناسایی نفوذ گره نسبت به مرکزیت درجه بهتر عمل می‌کند اما پیچیدگی محاسباتی بالاتری دارد[9] تأثیری در اتصال گراف ندارد10]]
شاخص لین (Lin's Index)	$\frac{\lvert\{y \mid d(y,x) < \infty\}\rvert^2}{\sum_{d(y,x)<\infty} d(y,x)}$	مزیت: اصلاح‌شده‌ی مرکزیت نزدیکی برای گراف‌های غیر متصل است **Error! Reference source not found.**[7]	قابل‌استفاده برای گراف‌های غیر متصل **Error! Reference source not found.**	مانند مرکزیت نزدیکی است ولی در آن گره‌هایی که تعداد گره‌های بیشتری به آن‌ها دسترسی دارند مهم‌تر می‌باشند **Error! Reference source not found.**
هارمونیک (Harmonic)	$\sum_{y \neq x} \frac{1}{d(y,x)}$, $(\infty^{-1} = 0)$	مزیت: اصلاح‌شده‌ی مرکزیت نزدیکی برای گراف‌های غیر متصل است **Error!**	شاخص مرکزیت همه‌منظوره‌ی عالی برای گراف‌های جهت‌دار دلخواه **Error!**	در گراف‌های با فاصله‌ی بینهایت میانگین هارمونیک بهتر از میانگین حسابی عمل می‌کند **Error! Reference source not**

Archive of SID

www.SID.ir

		Reference source not found.[8]	**Reference source not found.** مناسب برای استفاده در بازیابی اطلاعات **Error! Reference source not found.**	**found.**
بردار ویژه‌ی مسلط چپ (Left Dominant Eigenvector)	توضیح در (۵-۱۵)	عیب: در عمل روی گراف‌هایی که متصل قوی نیستند شکست می‌خورد15][15]		اولین و بارزترین معیار طیفی است [15]
شاخص کاتز (Katz's Index)	$C_{Katz}(i) = \sum_{k=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{n} \alpha^k (A^k)_{ji}$	مزیت: اتصالات مستقیم و غیرمستقیم را در نظر می‌گیرد، برخلاف مرکزیت درجه که فقط اتصالات مستقیم را در نظر می‌گیرد **Error! Reference source not found.**[16]	برای محاسبه‌ی مرکزیت در گراف‌های بدون چرخه‌ی جهت‌دار مناسب است[16]	یک تعمیم از مرکزیت درجه است[16] مرکزیت کاتز یک نوع مرکزیت بردار ویژه است16][16]
رتبه بندی صفحه (PageRank)	$p = \alpha p\bar{A} + (1-\alpha)v$	در شناسایی گره‌های بانفوذ مؤثر است ولی پیچیدگی بالایی دارد[17]	بر روی گراف‌های جهت‌دار تمرکز دارد **Error! Reference source not found.**[16] به‌طور خاص در جهت گراف‌های وب ایجادشده است **Error! Reference source not found.**[17] با هدف پیاده‌سازی در موتورهای جستجو ایجادشده است **Error! Reference source not found.**[16]	نسبت به HITS سرعت بالاتری دارد[16]
HITS	$h_{i+1} = a_i A^T$ $a_{i+1} = h_{i+1} A$	مزیت: قابلیت ترکیب با دیگر رتبه‌بندی‌های مبتنی بر بازیابی اطلاعات18][18] عیب: زمان پرس و جوی بالا[18] عیب: به علت سرعت کم	بر روی گراف‌های جهت‌دار تمرکز دارد به‌منظور رتبه‌بندی داده‌های بازیابی شده استفاده می‌شود[18]	نسبت به PageRank به query کاربر حساس است و دقت بالاتری دارد[18] برخلاف PageRank که اهمیت صفحات را فقط از یک بعد در نظر می‌گیرد، این روش برای صفحات اهمیت را از دو بعد در نظر

Archive of SID

		محاسبه HITS امکان پذیری کمی دارد [18][18]		می‌گیرد[18]
سالسا (SALSA)	$h_{i+1} = a_i\overline{A^T}$ $a_{i+1} = h_{i+1}\overline{A}$	مزیت: قابلیت ترکیب با دیگر رتبه‌بندی‌های مبتنی بر بازیابی اطلاعات را دارد00	در تجزیه‌وتحلیل ساختار لینک کاربرد دارد0	بهبود دهنده روش HITS با نرمال‌سازی ماتریس[19]
بینابینی (Betweenness)	$C_B(v_i) = \sum_{i\neq j\neq r\in V}^{N} \frac{k_{jr}(v_i)}{k_{jr}}$	عیب: پیچیدگی محاسباتی بالا برای شبکه‌های اجتماعی آنلاین [9] عیب:فقط گره‌هایی را در نظر می‌گیرد که درگیر کوتاه‌ترین مسیرها می‌باشند10]] عیب: نیاز به دانش عمومی از کل گراف دارد10]]	برای تعیین نفوذ و نقش واسطه‌گری گره‌ها در تعامل بین گره‌های دیگر استفاده می‌شود **Error! Reference source not found.**[2] جهت تعیین گره‌هایی که حذف آن‌ها باعث اختلال سریع در شبکه می‌شوند و در اتصال و انتشار اطلاعات مهم هستند کاربرد دارد[9][3] برای نمایش پتانسیل کنترل ارتباطات استفاده می‌شود **Error! Reference source not found.**	در شناسایی نفوذ گره نسبت به مرکزیت درجه بهتر عمل می‌کند اما پیچیدگی بالاتری دارد [9] قابل‌محاسبه به‌صورت توزیع‌شده نیست10]] مناسب‌ترین معیار برای بررسی اتصال کلی گراف است10]]
پیاده روی تصادفی بینابینی (Random Walk Betweenness)	توضیح در (۵-۱۲)	نیاز به دانش عمومی از کل گراف دارد[14] قابل محاسبه به‌صورت توزیع‌شده نیست[14]	برای تعیین گره‌های بانفوذ در انتشار اطلاعات استفاده می‌شود[14]	اصلاح‌شده‌ی مرکزیت بینابینی است و برخلاف آن اهمیت کلیه گره‌ها را بررسی می‌کند[14]
بردار ویژه (Eigenvector)	$C_E(v_i) = v_x = \frac{1}{\lambda_{max}(A)} \cdot \sum_{j=1}^{N} a_{jx} \cdot v_j$	مزیت: اطلاعات محلی گره را در نظر می‌گیرد [5]	تمایل به شناسایی مراکز cliqueهای بزرگ دارد [10]	تأثیری در اتصال گراف ندارد10]] مرکزیت بردار ویژه یک گره تابعی از مرکزیت همسایه‌های آن گره است[10]

Cross-clique	$X(v) = numberofcliques towhichvertexvbelongs.$	مزیت: کارایی خوب 12]][12]	در پیدا کردن گره‌هایی که تأثیر بیشتری در انتشار اطلاعات دارند کاربرد دارد12]]	
محلی (Local)	$Q(u) = \sum_{w\in\Gamma(u)} N(w)$ $C_L(v) = \sum_{u\in\Gamma(v)} Q(u)$	مزیت: پیچیدگی زمانی پایین **Error! Reference source not found.**	پیدا کردن گره‌هایی که تأثیر بیشتری در انتشار اطلاعات دارند[9] برای اعمال در شبکه‌های ناهمگن مناسب‌ترین است[9]	به‌خوبی مرکزیت نزدیکی عمل می‌کند ولی پیچیدگی زمانی بهتری دارد[9]

Archive of SID

www.SID.ir

مرتبه دوم (Second order)	توضیح در (۵-۱۴)	مزیت: قدرت این الگوریتم در سادگی آن نهفته است که متکی بر ملاقات با random walk ساده است[10] مزیت: نیاز به اطلاعات عمومی از گراف ندارد[10]	برای مقابله با توزیع ناهمگن درجه از Second order توزیع‌شده استفاده می‌شود[10] برای تعیین میزان تأثیر گره‌ها در کوتاه کردن طول مسیرها استفاده می‌شود[10]	به روش توزیع‌شده محاسبه می‌شود [10] برای قطع مؤلفه‌های گراف قابل‌استفاده نیست [10]
نفوذ (Percolation)	$C_P^t(v) = \frac{1}{N-2} \times \sum_{s\neq v\neq r}^{N} \frac{\sigma_{sr}(v)}{\sigma_{sr}} \frac{x_s^t}{\sum[x_i^t] - x_v^t}$	مزیت: پیچیدگی محاسباتی کم 00	اهمیت گره در کمک به نفوذ در شبکه را تعیین می‌کند **Error! Reference source not found.**	
K-shell	توضیح در (۵-۱۱)	مزیت: پیچیدگی زمانی پایینی دارد **Error! Reference source not found.**[10] عیب: با گره‌های موجود در یک لایه یکسان به‌طور برابر و بدون تمایز برخورد می‌کند **Error! Reference source not found.**	برای شبکه‌های بزرگ مناسب است[5]	نشان‌دهنده‌ی ویژگی‌های عمومی شبکه است **Error! Reference source not found.**[13]
گریز از مرکز (Eccentrality)	$C_e(v_i) = \frac{1}{\max_{j\in V} d(i.j)}$	عیب: فقط مختص گراف‌های متصل است [10]	گره‌های مهم در انتشار اطلاعات را مشخص می‌کند[10]	تأثیری در اتصال گراف ندارد[10]

[11] Theoretic Impact of Nodes during Percolation in Networks", Vol. 8, (2013)
[12] Mohammad Reza Faghani, "A Study of XSS Worm propagation and Detection Mechanisms in online Social Networks", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION FORENSICS AND SECURITY, Vol. 8, pp-1815-1826, (2013)
[13] Zhonghua Liu, Cheng Jiang, Juyun Wang, Hua Yu, "The node importance in actual complex networks based on a multi-attribute ranking method", Knowledge-Based Systems, Vol. 84, pp-56-66, (2015)
[14] Newman, A measure of betweenness centrality based on random walks, Social Netw. pp-39-54, (2005)
[15] Abraham Berman and Robert J. Plemmons. Nonnegative Matrices in the Mathematical Sciences. Classics in Applied Mathematics. SIAM, (1994)
[16] Leo Katz, A new status index derived from sociometric analysis, Psychometrika, pp-39-43, (1953)
[17] Nick Craswell, David Hawking, and Trystan Upstill, Predicting fame and fortune: Pagerank or indegree. In Proceedings of the Australasian Document Computing Symposium, ADCS2003, pp-31-40, (2003)
[18] Jon M. Kleinberg, Authoritative sources in a hyperlinked environment. Journal of the ACM, Vol (5), pp-604-632, (1999)
[19] Ronny Lempel and Shlomo Moran, SALSA: the stochastic approch for link-structure analysis, ACM Trans. Inf. Syst. , Vol (2), pp-131-160, (2001)

[1] centrality
[2] centrality measures
[3] left dominant eigenvector
[4] degree
[5] closeness
[6] Lin's Index
[7] harmonic
[8] betweenness
[9] dominant eigenvector
[10] eccentricity
[11] percolation centrality
[12] percolation path
[13] local centrality
[14] left dominant eigenvector
[15] katz index
[16] stochasic

Archive
www.SID.ir