دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

دانشکده‌ی مهندسی کامپیوتر و فن‌آوری اطلاعات

گزارش تحقیقی-عملی درس یادگیری ماشین

آموزش گام‌به‌گام تحلیل شبکه‌اجتماعی در زبان R

نسخه ۱.۰

نگارش

محسن رئیسی

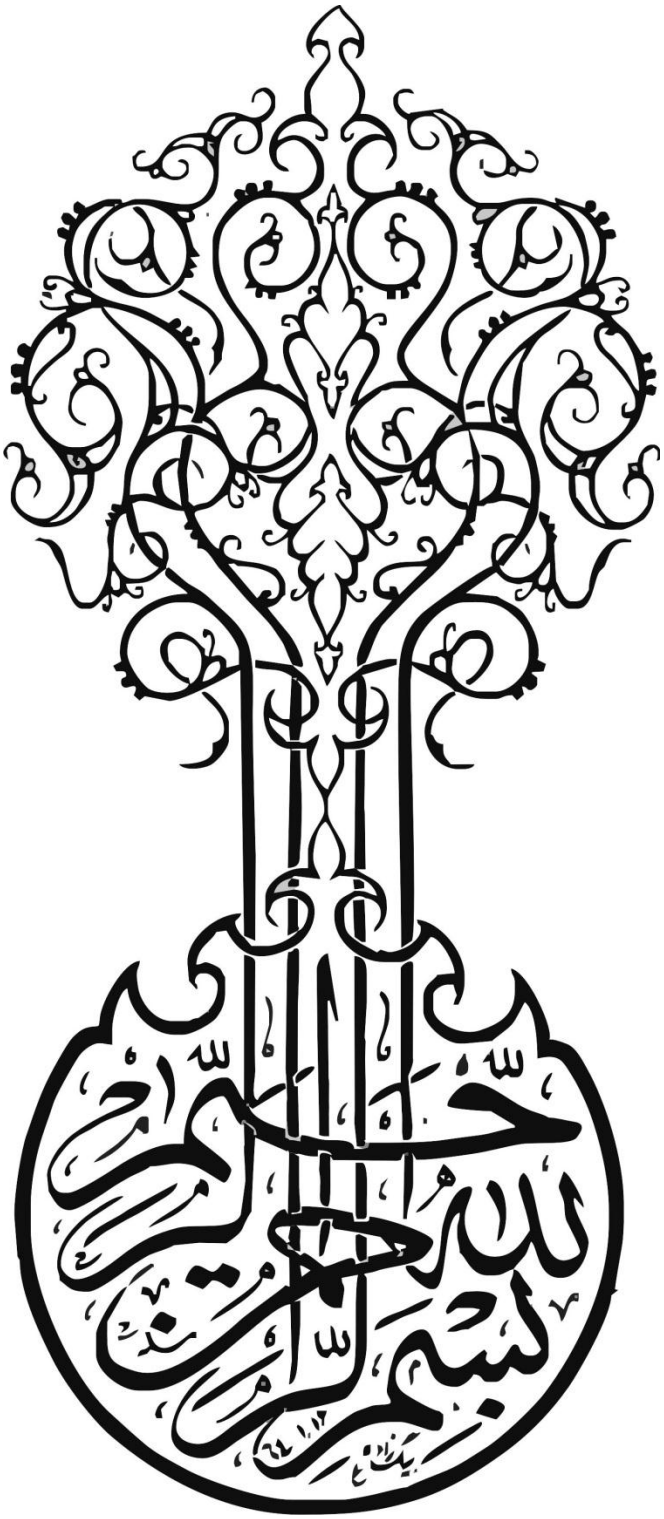
(Raeesi@aut.ac.ir, ceit.aut.ac.ir/~raeesi)

استاد درس

جناب آقای دکتر شیری

تابستان ۱۳۹۰

http://ceit.aut.ac.ir/~shiry/lecture/machine-learning/ml.html


بسم الله الرحمن الرحيم

پیش‌گفتار

(توصیه می‌شود حتما قبل از مطالعه متن مستند، این قسمت را مطالعه نمایید.)

مستند پیش رو، قصد دارد به دانش‌پژوهان را با تحلیل شبکه‌اجتماعی در R آشنا کند. در این گزارش فرض شده، خواننده محترم تا حدی با زبان R و نحوه کد نویسی در آن آشنا می‌باشد. از این رو به مقدماتی چون انواع متغیرها، ساختار داده‌ای، شرط، حلقه و ... نپرداخته‌است. برای آشنایی بیشتر با این مباحث به *"آشنایی با زبان محاسبات آماری R"*، نوشته سید سعید موسوی‌ندوشنی مراجعه نمایید [1].

فصل اول این گزارش در مورد R، تاریخچه و امکانات آن می‌باشد. محیط مورد استفاده در تهیه این گزارش، محیط نرم‌افزار داده‌کاوی Rapidminer می‌باشد. این نرم‌افزار از نسخه ۵ به بعد، افزونه‌ای را برای اجرای دستورات R و استفاده آن در محیط خود ارائه داد. از این‌رو فصل دوم گزارش، به نحوه نصب افزونه R در Rapidminer و چگونگی استفاده از آن اختصاص دارد.

تاکنون چندین کتابخانه برای تحلیل شبکه‌اجتماعی در R، ارائه شده‌است. یکی از قوی‌ترین این کتابخانه‌ها igraph می‌باشد. در این مستند، ما از این کتابخانه برای تعریف گراف و تحلیل شبکه‌اجتماعی استفاده می‌نماییم. از این رو اسکریپ‌ها و کدهای ارائه شده در فصل سوم و چهارم بر اساس این کتابخانه ارائه شده‌اند. منبع اصلی استفاده شده برای این فصول نیز، مستندات و آموزش‌های ارائه شده برای igraph [۱،۲،۳] می‌باشند که سعی شده با توضیحات مناسب در این مستند ارائه شود.

به منظور تسهیل پیمایش متن گزارش، بخش‌های مختلف در فایل PDF، به صورت Bookmarked در آمده‌اند. همچنین برخی منابع کمکی –مثل کدهای فصل سوم و چهارم- به فایل الصاق شده‌است. خوانندگان محترم توجه داشته‌باشند که استفاده از مستند پیش رو برای مصارف تجاری مجاز نمی‌باشد.

آرزومند دعای خیر خوانندگان عزیز

محسن رئیسی

---

[1] http://cran.r-project.org/doc/contrib/Mousavi-R-lang_in_Farsi.pdf

فهرست مطالب

۱ مقدمه ای بر R ۱

۱-۱ تاریخچه پروژهR ۱

۱-۲ مروری بر امکانات R ۲

۱-۳ تحلیل شبکه‌اجتماعی در R ۲

۲ نصب R و تعبیه آن در نرم‌افزار RapidMiner ۳

۲-۱ مراحل نصب هسته اصلی R ۳

۲-۲ نصب افزونه R در Rapidminer ۴

۲-۳ محیط اسکریپت‌نویس افزونه R ۷

۲-۴ استفاده از R در Rapidminer ۸

۳ مدلسازی گراف ۱۲

۳-۱ ساخت گراف ۱۴

۳-۲ ایجاد گراف از روی فایل بیرونی ۱۶

۳-۳ دستکاری در ساختار گراف ۱۷

۳-۴ استخراج همسایگی یال‌ها ۱۷

۳-۵ رسم گراف ۱۸

۳-۶ دسترسی و تغییر صفات گراف، گره‌ها و یال‌ها ۲۱

۴ تحلیل شبکه‌اجتماعی ۲۴

۴-۱ محاسبه انواع تعاریف مرکزیت گره ۲۴

۴-۲ تحلیل یک گراف نسبتا بزرگ ۲۷

۴-۳ ساختاریابی اجتماع ۳۰

۴-۴ بلوک‌های چسبنده ۳۳

۵ مراجع ۳۵

فهرست اشکال و جداول

شکل ۱. لوگوی پروژه R ۲

شکل ۲ . نمایی از یکی از مراحل نصب نرم‌افزار R ۳

شکل ۳. محیط کنسول نرم‌افزار R ۴

شکل ۴. روشن کردن افزونه R در Rapidminer ۵
شکل ۵. اضافه کردن متغیرهای محیطی مرتبط به تنظیمات افزونه R ۶
شکل ۶. اضافه شدن آیکن R در نوارابزار فوقانی ۷
شکل ۷. نمای کلی افزونه R در Rapidminer ۸
شکل ۸. عملگرهای R در نوارابزار ۸
شکل ۹. آیکن فضای کاری‌های محتلف در Rapidminer ۹
شکل ۱۰. مراحل ذخیره داده‌های R درRepository ۹
شکل ۱۱. نحوه تعریف خروجی عملگر Execute Script (R) ۱۰
شکل ۱۲. مدل فرآیند کلی مراحل تحلیل گراف کلوپ کاراته ۱۱
شکل ۱۳. نتیجه ساختاریابی انجام‌شده در فرآیند فوق ۱۱
شکل ۱۴. گراف بدون جهت ۱۲
شکل ۱۵. گراف جهت دار ۱۲
شکل ۱۶. نمونه‌ای از یک شبکه بی‌مقیاس. قطب‌ها به صورت رنگی نشان داده شده‌اند ۱۹
شکل ۱۷. گراف رسم شده در محیط tkplot ۲۰
شکل ۱۸. گراف سه بعدی رسم شده با rglplot ۲۱
شکل ۱۹. میانگین درجه نقاط در گراف قضایی ۲۲
شکل ۲۰. یک گراف تصادفی که رنگ یال‌های آن بر اساس رنگ گره‌ها متمایز گشته‌است ۲۳
شکل ۲۱. گرافی که Degree centrality گره‌های آن در کنار هر گره نوشته شده‌است ۲۵
شکل ۲۲. مرکزیت Betweenness گره‌های گراف ۲۶
شکل ۲۳. مرکزیت Closeness گره‌های گراف ۲۶
شکل ۲۴. مرکزیت Eigenvector گره‌های گراف ۲۶
شکل ۲۵. توزیع درجه‌های ورودی گراف قضایی ۲۸
شکل ۲۶. "ساختار اجتماع" در گراف یک شبکه‌اجتماعی ۳۰
شکل ۲۷. اجتماعات به دست آمده با الگوریتم fastgreedy روی مجموعه داده کلوپ کاراته ۳۲
شکل ۲۸. اجتماعات به دست آمده با الگوریتم Spinglass روی مجموعه داده کلوپ کاراته ۳۲
شکل ۲۹. ساختار بلوک‌بندی چسبندگی به دست‌آمده ۳۴

۱ مقدمه ای بر R

زبان R، یک زبان برنامه‌نویسی و محیط نرم‌افزاری برای محاسبات آماری و تحلیل داده است. امروزه این زبان به عنوان یک استاندارد غیر رسمی برای کارهای آماری و داده‌کاوی مطرح می‌باشد[۴]. این زبان در حقیقت نسخه متن‌باز نرم‌افزار S می‌باشد [۵]. زبان R توسط نرم‌افزاری به همین نام که شامل مفسر زبان و محیط اسکریپت‌نویسی است پشتیبانی می‌گردد. این نرم‌افزار، بازمتن بوده و تحت اجازه‌نامه عمومی همگانی گنو عرضه می‌شود. نسخه‌های R بصورت رایگان و برای انواع سیستم‌های عامل (ویندوز، مک و انواع توزیع‌های لینوکس) ارائه شده‌است. هسته اصلی نرم‌افزار R به همراه بیش از ۴۳۰۰ کتابخانه مرتبط با آن، در شبکه CRAN (comprehensive R archive network) در دسترس کاربران می‌باشد. این شبکه که مخزن منابع مرتبط با R می‌باشد، از سرورهای دانشگاه‌های مختلف سراسر جهان برای نگهداری و گرفتن نسخه پشتیبان از این داده‌ها استفاده می‌کند[۱]. در میهن عزیز اسلامی ما نیز، دانشگاه فردوسی مشهد یکی از مراکز نگهداری نسخه‌های R می‌باشد[۲].

در حال حاضر اگر چه هیچ شرکت تجاری پشتیبان رسمی R را بر عهده ندارد ، اما شبکه پشتیبانی غیررسمی آن از طریق پیام‌های اینترنتی r-help قابل دسترس است. در حال حاضر R نرم افزاری کامل و بی‌نقص نیست و از آنجا که آزاد و رایگان هم می باشد، از پیشنهادات کاربران برای اصلاح و توسعه آن استقبال می‌کند.

۱-۱ تاریخچه پروژه R

پروژه R در سال ۱۹۹۱ در گروه آمار دانشگاه Auckland کشور نیوزیلند کلید خورد. بنیان‌گذاران این پروژه آقایان Ross Ihaka و Robert Gentelman بودند. وجه تسمیه این زبان نیز ابتدای نام این در نفر می‌باشد (در دپارتمان آمار این دانشگاه این پروژه به "R&R" نیز معروف می‌باشد.). در حال حاضر تیمی متشکل از ۱۹نفر در حال توسعه این طرح می‌باشند.

R برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ به طور عمومی معرفی گردید. در ۱۹۹۵ مارتین ماچلر، راس و رابرت را متقاعد نمود تا تحت مجوز گنو، R را به یک نرم‌افزار رایگان تبدیل نمایند. یک سال بعد لیست رایانامه عمومی این پروژه ایجاد گردید (R-help و R-devel) که به کمک آن توسعه‌دهندگان و کاربران در سراسر جهان با یکدیگر مرتبط می‌شدند. در ۱۹۹۷ هسته اصلی توسعه‌دهنده R که شامل برخی از اعضای پروژه S-Plus نیز بودند ایجاد شد. این

[1] http://cran.r-project.org/mirrors.html
[2] http://cran.um.ac.ir/

گروه، وظیفه کنترل و نظارت بر کد برنامه را به عهده داشت. با تلاش‌های توسعه‌دهندگان، در سال ۲۰۰۰ اولین نسخه R ارائه گردید. آخرین نسخه ارائه شده این نرم‌افزار 2.13.1 می‌باشد که در ۲۰۰۱/۷/۸ منتشر شده‌است.

شکل ۱. لوگوی پروژه R

۱-۲ مروری بر امکانات R

R یک مجموعه کامل از امکانات نرم افزاری برای کارکردن با داده ها و محاسبه و رسم نمودار می باشد. از جمله امکانات این مجموعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- زبان برنامه‌نویسی ساده و پیشرفته شامل عبارت‌های شرطی، حلقه و توابع بازگشتی و ... .
- امکانات ذخیره، بازیابی و دستکاری داده‌ها
- مجموعه‌ای قوی از عملگرهای محاسباتی آرایه‌ها و ماتریس‌ها
- بسته‌های نرم‌افزاری قدرتمند برای تجزیه و تحلیل آماری
- کتابخانه‌های انجام عملیات داده‌کاوی و یادگیری ماشین مانند دسته‌بندی، خوشه‌بندی، تحلیل شبکه‌اجتماعی، یادگیری تقویتی و ...
- امکانات گرافیکی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و رسم نمودار
- کتابخانه‌های خاص منظوره برای انجام عملیات تحلیلی در زمینه‌های مختلف علمی
- دارای مستندات فرمت‌بندی شده و منظم برای استفاده از زبان و کتابخانه‌های مرتبط

۱-۳ تحلیل شبکه‌اجتماعی در R

یکی از مهمترین ابزارهای تحلیل و مصورسازی شبکه‌اجتماعی در حوزه آکادمیک و تجاری، R می‌باشد. بسته‌های igraph، statnet، sna، egonet، snort و ... از جمله آن‌ها می‌باشد. در این گزارش ما از igraph به عنوان ابزار استفاده می‌کنیم. ساختار داده‌ای igraph هماهنگ با statnet و sna می‌باشد.

۲ نصب R و تعبیه آن در نرم‌افزار RapidMiner

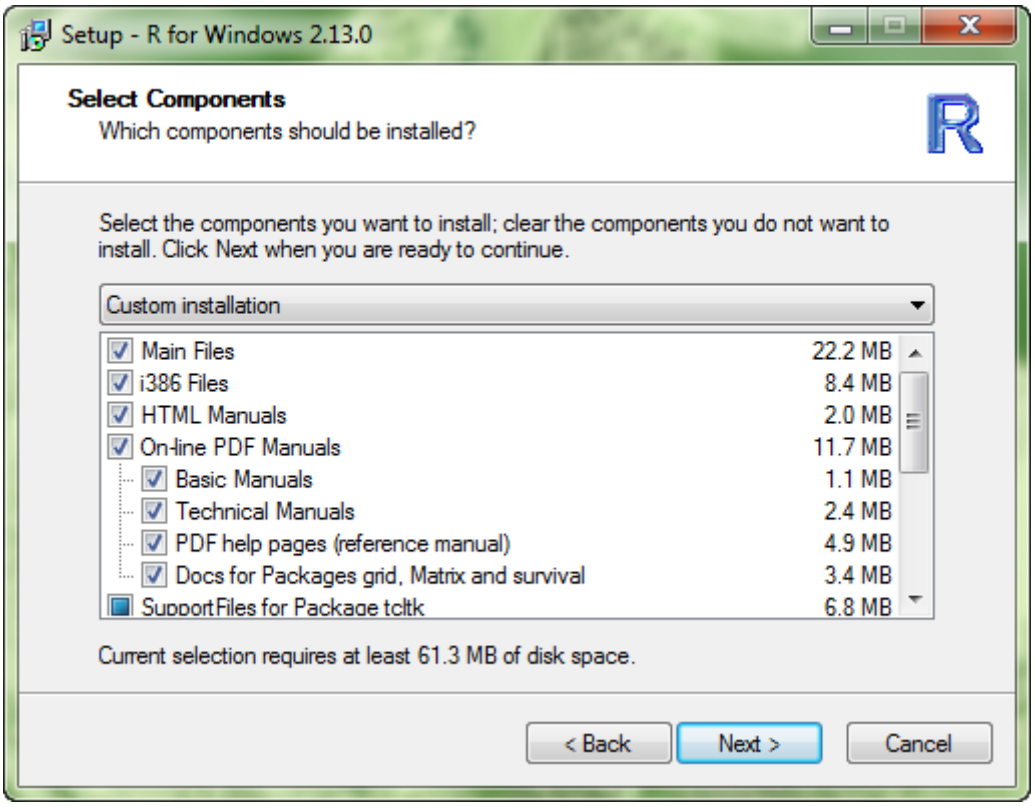
برای استفاده از R در نرم‌افزار قدرتمند Rapidminer باید ابتدا هسته اصلی R را نصب کنیم و سپس افزونه مربوطه در Rapidminer را فعال و تنظیم نماییم. در ادامه با مراحل این عملیات آشنا خواهیم شد.

۲-۱ مراحل نصب هسته اصلی R

برای نصب هسته اصلی نرم‌افزار R کافی است که به سایت www.r-project.org مراجعه کرده و به بخش دانلود CRAN بروید. در این صفحه، آدرس‌های تعدادی از سایت‌هایی که پروژه R در آن ذخیره می‌شود قرار دارد. محتوای تمامی این سایت‌ها یکسان است، بنابراین با انتخاب یکی از آن‌ها به صفحه دانلود بروید. در این مرحله پس از انتخاب سیستم عامل خود، دو لینک برای شما نمایش داده می‌شود:

۱. base: هسته اصلی R که برای نصب اولیه به آن نیاز دارید.

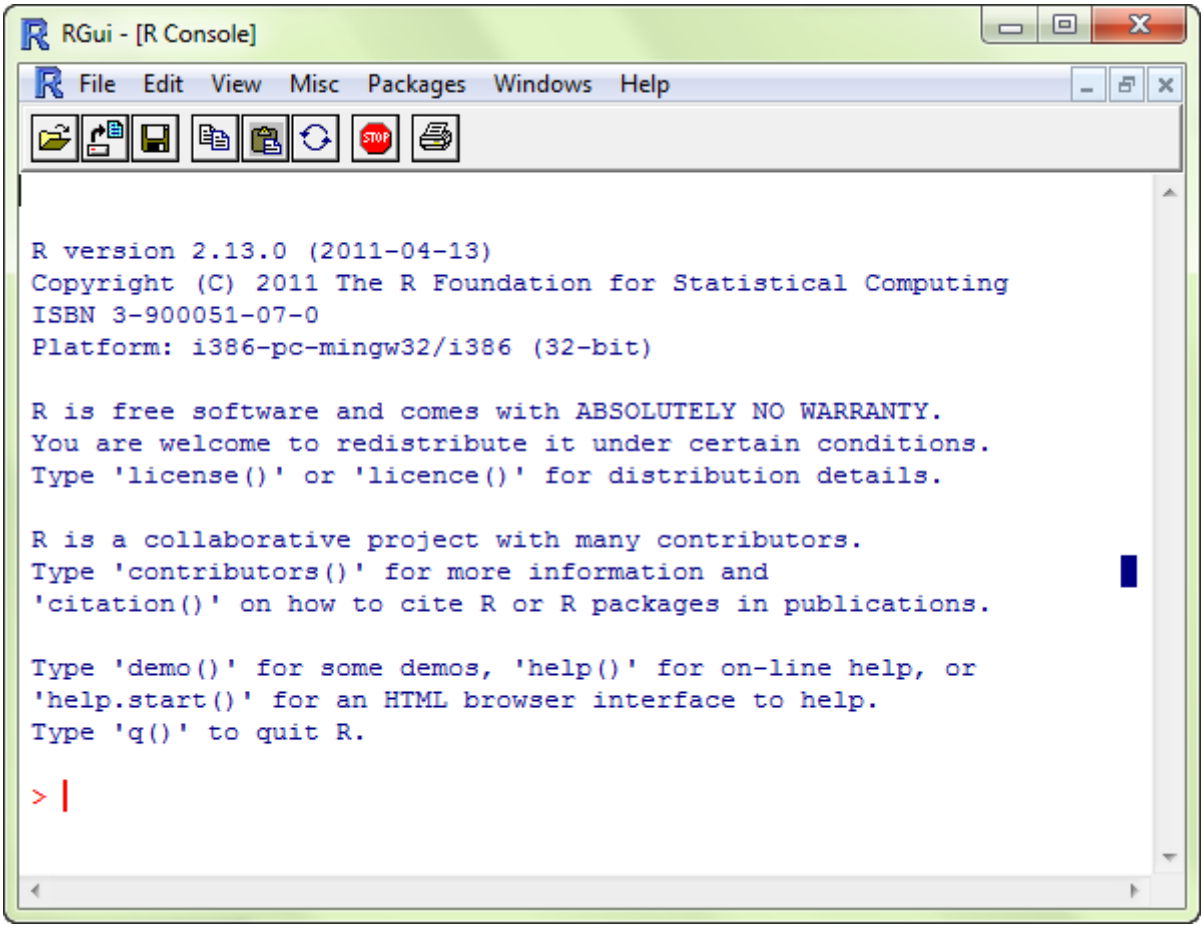
۲. contrib: بسته‌های نرم‌افزاری که توسط کاربران سراسر جهان ایجاد شده و توسط تیم توسعه‌دهندگان مدیریت می‌شود.



شکل ۲ . نمایی از یکی از مراحل نصب نرم‌افزار R

از آن‌جا که ما قصد داریم R را برای اولین بار نصب کنیم، روی گزینه base کلیک کرده و جدیدترین نسخه مربوطه را دانلود می‌نماییم. از آن‌جا که نسخه نصب شده توسط نگارنده روی سیستم‌عامل ویندوز می‌باشد، شاید برخی از توضیحات ادامه مورد استفاده کاربران دیگر سیستم‌عامل‌ها نباشد.

نصب R از روی فایل اجرایی بسیار ساده می‌باشد و تنها کافی است با کلیک بر روی فایل اجرایی مراحل نصب را از روی Wizard انجام دهید. در مراحل نصب باید اطلاعاتی از قبیل پوشه نصب، کامپوننت‌هایی که باید نصب شود (شکل ۲) و ... را وارد نمایید. پس از نصب شما می‌توانید با استفاده از یک کنسول (شکل ۳) و نوشتن اسکریپت‌های مربوطه به زبان R از امکانات این نرم‌افزار استفاده نمایید.



شکل ۳. محیط کنسول نرم‌افزار R

۲-۲ نصب افزونه R در Rapidminer

نرم‌افزار Rapidminer از نسخه ۵ به بعد، افزونه R را به امکانات خود افزود. به کمک این افزونه شما می‌توانید از محیط Rapidminer برای نوشتن اسکریپت‌های R و ایجاد ماژول‌های قابل استفاده در دیگر بخش‌ها، استفاده کنید. برای نصب افزونه R مرحله ابتدایی بدین صورت است که از منوی help، گزینه Update Rapidminer را

انتخاب می‌کنید و سپس بر روی گزینه install کلیک نمایید (شکل ۴). بعد از انجام این کار، افزونه مورد نظر از اینترنت دانلود شده و نصب می‌گردد. برای انجام بقیه مراحل باید پس انجام تنظیماتی که در ادامه بیان می‌گردد، Rapidminer را مجددا راه‌اندازی کنید.

شکل ۴. روشن کردن افزونه R در Rapidminer

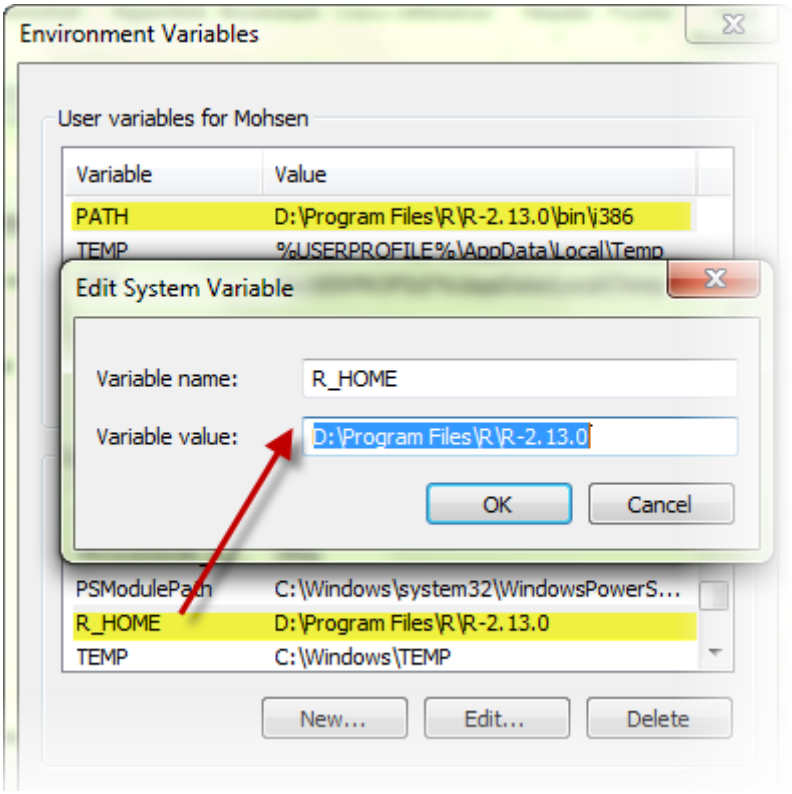
بقیه مراحل نصب R، به تنظیم بخش‌های مختلف مربوط می‌شود که به صورت زیر انجام می‌پذیرد:

۱. بعد از راه‌اندازی نسخه مناسب R، شما باید بسته نرم‌افزاری rJava را از CRAN دانلود و نصب نمایید. بدین منظور به محیط کنسول R بروید و در محل اسکریپت نویسی آن عبارت install.packages("rJava") را تایپ نمایید. در صورتی که به اینترنت متصل باشید این بسته به صورت خودکار دانلود و نصب می‌گردد.

۲. عبارت .libPaths() را در کنسول تایپ کنید. در یکی از پوشه‌های نمایش داده شده، بسته rJava نصب شده‌است. این آدرس را برای هنگام باز کردن Rapidminer به خاطر بسپارید.

۳. برای این که مطمئن شوید Rapidminer می‌تواند کتابخانه‌های R را پیدا کند، باید متغیرهای محیطی[1] سیستم‌عامل خود را تنظیم نمایید. دقت کنید که اسم این متغیر حساس به حروف کوچک و بزرگ می‌باشد

- متغیر PATH را با مقدار <R installation directory>\bin وارد نمایید. به عنوان نمونه این مقدار باید مشابه C:\Program Files\Rapid-I\RapidMiner5\jre\bin باشد. این پوشه باید شامل فایل‌های dll[2] نرم‌افزار R و کتابخانه‌های مرتبط باشد. دقت کنید که این پوشه باید شامل فایل R.dll باشد.
- چنانچه در متغیرهای محیطی سیستم عامل شما JAVA_HOMEی که به پوشه نصب جاوا اشاره کند، وجود ندارد؛ باید این متغیر را نیز اضافه نمایید. در صورتی که جاوا نیز روی رایانه شما نصب نمی‌باشد، مقدار <RapidMiner installation directory>/jre را برای این متغیر وارد نمایید. دقت کنید که جاوای نصب شده روی رایانه شما باید از لحاظ ۳۲ یا ۶۴ بیت بودن، مطابق R و Rapidminer باشد.



شکل ۵. اضافه کردن متغیرهای محیطی مرتبط به تنظیمات افزونه R

[1] Environment Variable
[2] dynamic link library

- متغیر R_HOME نیز باید به متغیرهای محیطی اضافه گردد. مقدار این به پوشه نسخه نصب شده R اشاره کند. (به عنوان مثال D:\Program Files\R\R-2.13.0) شکل ۵ چگونگی تنظیم این متغیر را نشان می‌دهد.

۴. در این مرحله شما می‌توانید نرم‌افزار Rapidminer را باز کنید. قبل از شروع به کار برنامه، صفحه‌ای به شما نمایش داده می‌شود که مراحل نصب روی آن نوشته‌شده است. روی دکمه Next کنید. در صفحه بعدی از شما خواسته می‌شود آدرس کتابخانه jri‌ی با rJava نصب کرده‌اید را مشخص نمایید. بدین منظور آدرس libPaths را از مرحله ۲ به خاطر بیاورید و به <libpath directory>/rJava/jri/ بروید. در این پوشه فایل jri.dll را انتخاب نمایید.

۵. اگر فایل مشخص شده را انتخاب کرده باشید، برنامه بسته می‌شود. دوباره نرم‌افزار Rapidminer را اجرا نمایید. چنانچه افزونه با موفقیت نصب شده‌باشد، با هیچ دستور خطایی در هنگام اجرا برخورد نخواهید کرد. در غیر این صورت حتما یکی از مراحل فوق را به درستی انجام نداده‌اید.

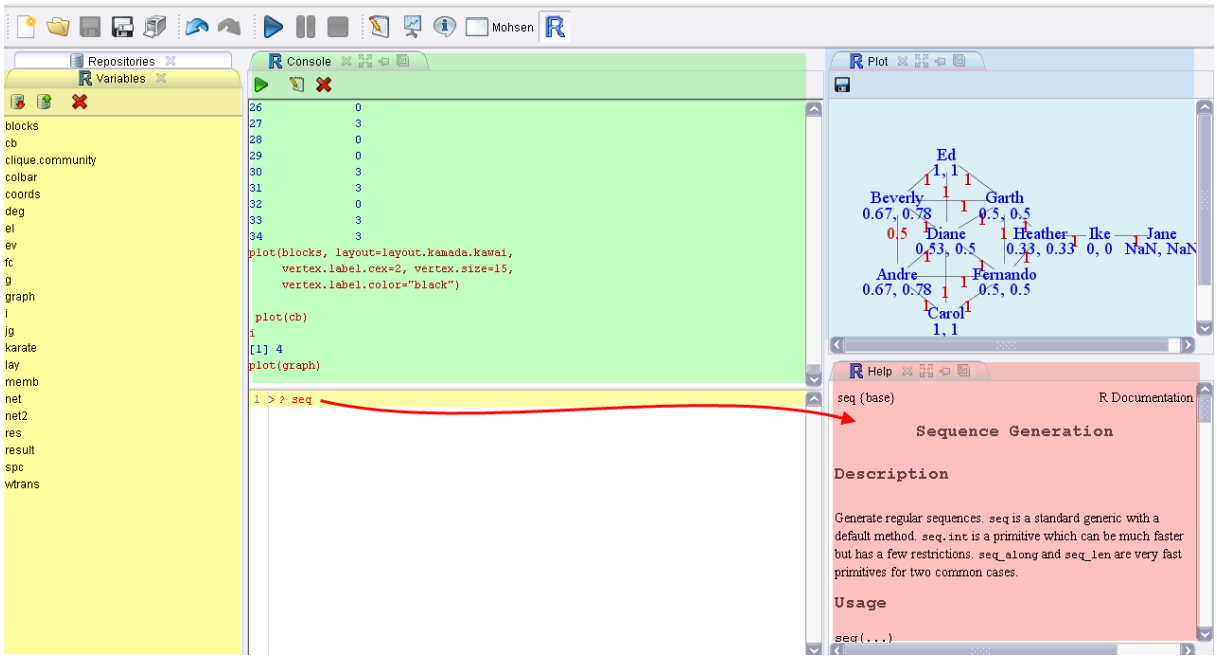
در صورت نصب صحیح افزونه، باید پس از بالا آمدن برنامه باید علامت R در نوار ابزار فوقانی (مطابق شکل ۶) اضافه شده‌باشد.

شکل ۶. اضافه شدن آیکن R در نوارابزار فوقانی

۳-۲ محیط اسکریپت‌نویس افزونه R

محیط R در نرم‌افزار Rapidminer به همان صورت اسکریپت نویسی تعبیه شده‌است [۶]. شکل ۷ نمای کلی آن نشان داده‌شده‌است. در قسمت وسط پایین، شما امکان نوشتن اسکریپت‌های مورد نظر را دارید. با زدن Enter این اسکریپت‌ها اجرا می‌شوند و نتایج آن در کنسول بالای آن (نمایش‌داده شده با رنگ سبز) نشان داده‌می‌شوند. متغیرهایی که در حین کار با برنامه ایجاد می‌کنید در پنل سمت چپ نمایش داده می‌شوند. چناچه شما نموداری را

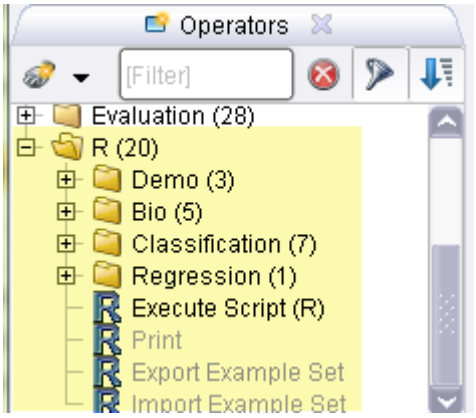
رسم کنید، در پنل نشان‌داده شده با رنگ آبی نمایش داده می‌شود. شکل رسم شده را می‌توانید با دکمه گوشه پنل در انواع فرمت‌های تصویر ذخیره نمایید. با دوبار کلیک روی عنوان هر کدام از این پنل‌ها، آن‌ها به حالت تمام صفحه و برعکس در خواهند آمد. آخرین پنلی که در این صفحه وجود دارد، پنل راهنماست. در صورتی که شما می‌خواهید به راهنمای دستور x دسترسی پیدا کنید، می‌توانید به کمک اسکریپت ? x این کار را انجام دهید.



شکل ۷. نمای کلی افزونه R در Rapidminer

۴-۲ استفاده از R در Rapidminer

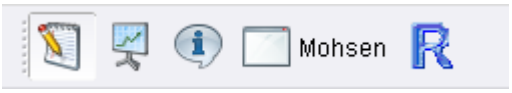
برای استفاده از R در محیط طراحی(Design) ، مجموعه عملگرهای مخصوصی در محیط Rapidminer تعبیه شده‌است. شکل ۸ این عملگرها را نشان می‌دهید. برخی از این عملگرها خاص منظوره و برخی عام منظوره می‌باشند.



شکل ۸. عملگرهای R در نوارابزار

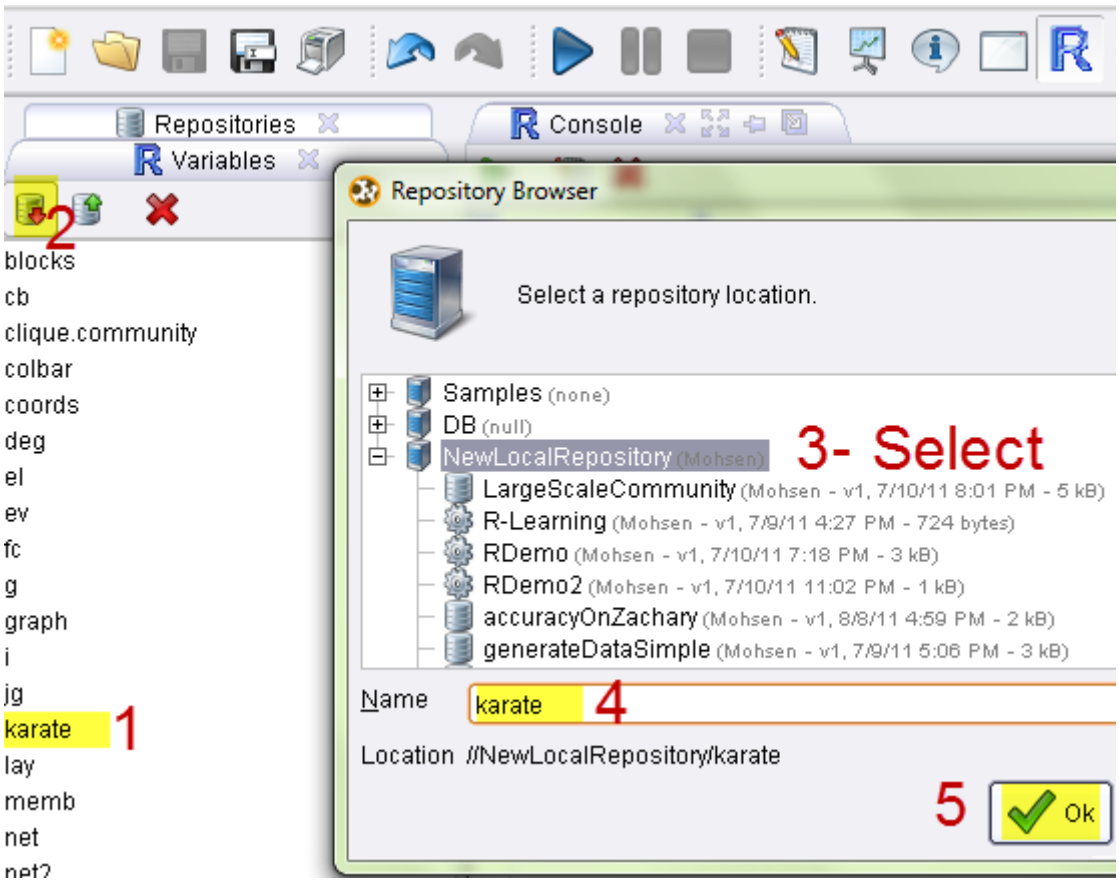
در Rapidminer چند محیط کاری (Perspective) وجود دارد. مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱. محیط طراحی: فضای‌کار ایجاد جریان کار داده‌کاوی.
۲. محیط نتایج: فضای‌کار مشاهده نتایج بدست آمده.
۳. محیط R: فضای‌کار اسکریپت‌نویسی به زبان R.



شکل ۹. آیکن فضای کاری‌های محتلف در Rapidminer

برای این که بتوانیم داده‌های R را در محیط طراحی وارد نماییم، ابتدا باید در محیط R آن‌ها را در عنوان یک Repository ذخیره نماییم. به عنوان نمونه، در شکل ۱۰ ذخیره مجموعه‌داده کاراته نشان داده شده‌است.



شکل ۱۰. مراحل ذخیره داده‌های R در Repository

حال به محیط طراحی می‌رویم، و با کشیدن (Drag کردن) منبع‌داده کاراته به نمای Process، آن را در فرآیند داده‌کاوی وارد می‌نماییم. به طور پیش‌فرض عملگر بازیابی (Retrive) برای بارگذاری مجموعه‌داده، به فرآیند اصلی اضافه می‌گردد و تنها پارامتر آن -که Repository Entry است،- به صورت خودکار پر می‌شود.

خروجی عملگر قبلی را به ورودی یک عملگر Execute Script (R) وصل کنید. این عملگر، یک عملگر عام‌منظوره است و اسکریپت‌های دلخواه را اجرا می‌نماید. برای تنظیم این عملگر باید سه پارامتر اسکریپت، نام ورودی‌ها و خروجی‌ها را وارد نمایید. ما قصد داریم روی گراف کاراته، ساختاریابی اجتماع انجام دهیم. بنابراین کد عملیات به صورت زیر است. karate، همان مجموعه‌داده ورودی است.

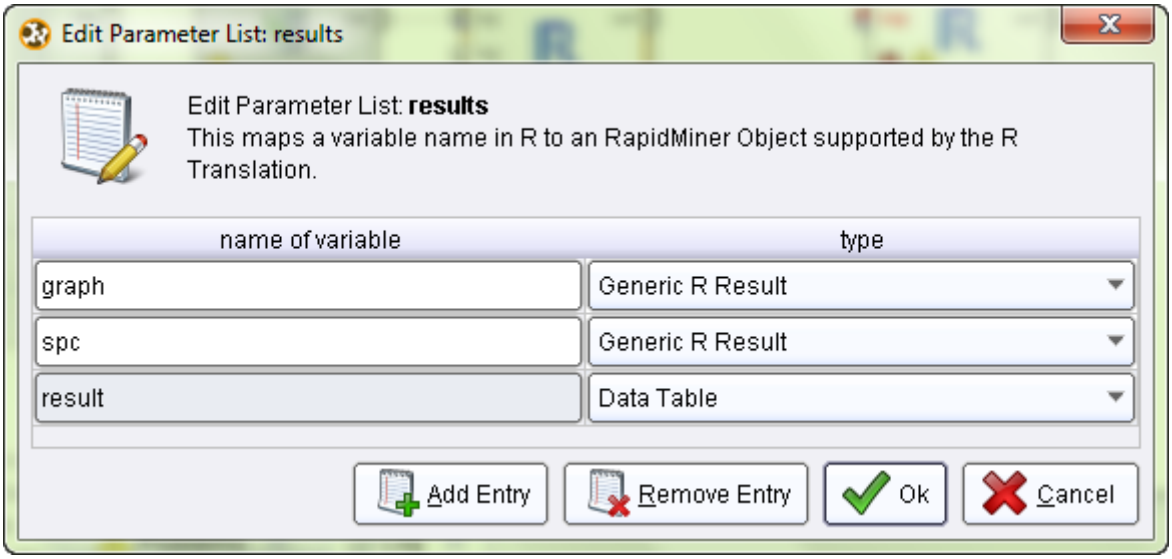
```
library('igraph')
graph <- karate
graph <- simplify(graph)
spc <- spinglass.community(graph, spins=20)
result <- as.data.frame(spc$membership)
```

متغیرهای مشخص‌شده با رنگ قرمز، خروجی‌های این اسکریپت‌هستند. کلا دو نوع خروجی برای عملگر فوق وجود دارد:

۱. Generic R Result: که شامل انواع متغیرها، وکتورها، آرایه‌ها و ... R می‌شود. این خروجی‌ها تنها قابل پردازش برای عملگرهای افزونه R هستند.

۲. Data Table: این خروجی معادل data frame در R است. حتما باید جنس این نوع خروجی در اسکریپت، به data frame تبدیل شده‌باشد. چنانچه بخواهید نتایج اسکریپت برای عملگرهای Rapidminer قابل فهم باشد و به صورت جدول نمایش داده‌شود، باید از این نوع استفاده کنید.

توجه داشته‌باشید که ترتیب تعریف خروجی‌ها در این عملگر مهم‌است. به طوری که پرت‌های خروجی به همان ترتیب تعریف شده در پارامتر Result، پر می‌شوند.

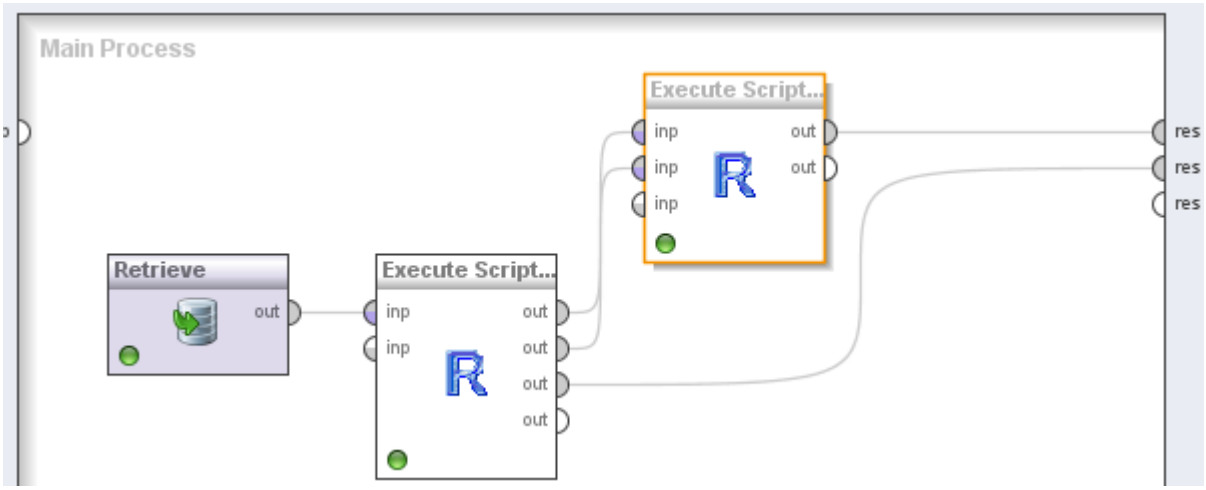


شکل ۱۱. نحوه تعریف خروجی عملگر Execute Script (R)

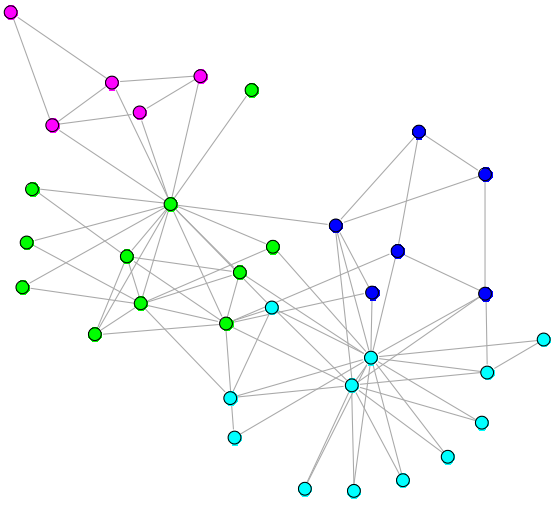
از آنجا که قصد داریم نتایج ساختاریابی پیشین را رسم و در Clipboard به صورت تصویر ضبط نماییم، یک عملگر دیگر ایجاد می‌کنیم که این عملیات را انجام دهد.

```
library('igraph')
res <- as.data.frame(spc$csize)

x11()
plot(graph, layout=layout.kamada.kawai(graph), vertex.size=5,
vertex.label=NA, vertex.color=spc$membership+1, asp=FALSE)
savePlot(filename = "clipboard", type = "png")
```

مدل فرآیند کلی، مراحل بالا در شکل ۱۲ و نتیجه اجرای ساختاریابی در شکل ۱۳ نمایش داده‌شده‌است. البته باید توجه داشت، افزونه فعلی R، هنوز دارای مشکلات بسیاری است و اجرای برخی از دستورات با مشکلاتی مواجه است. از جمله آن می‌توان به بسته‌شدن پنجره نتایج رسم‌شده با اتمام اجرای فرآیند، اشاره نمود.



شکل ۱۲. مدل فرآیند کلی مراحل تحلیل گراف کلوپ کاراته

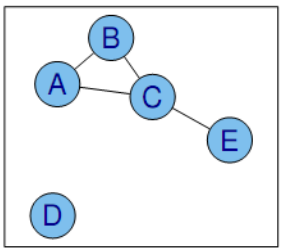


شکل ۱۳. نتیجه ساختاریابی انجام‌شده در فرآیند فوق

۳ مدلسازی گراف

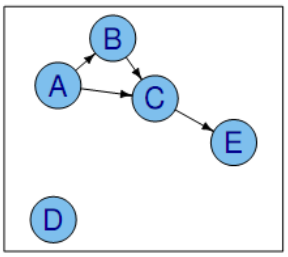
از آن‌جا که اساس کار ما بر کتابخانه igraph استوار است، در ادامه نحوه مدلسازی گراف در این کتابخانه را بررسی می‌نماییم. گراف یک ارتباط باینری (یال‌ها) بین اعضای یک مجموعه (گره‌ها) است. اگر دو عضوی که با هم رابطه دارند بدون ترتیب باشند، آن‌گاه گراف بدون جهت است (شکل ۱۴) وگرنه گراف جهت دار می‌باشد (شکل ۱۵).

$$\text{vertices} = \{A, B, C, D, E\}$$
$$\text{edges} = (\{A, B\}, \{A, C\}, \{B, C\}, \{C, E\}).$$



شکل ۱۴. گراف بدون جهت

$$\text{vertices} = \{A, B, C, D, E\}$$
$$\text{edges} = ((A, B), (A, C), (B, C), (C, E)).$$



شکل ۱۵. گراف جهت دار

همواره گره‌ها از صفر شماره‌گذاری می‌شود و به صورت متناوب تا n-1 ادامه می‌یابد. به عنوان نمونه در گراف شکل ۱۴، A=0، B=1، C=2 و .... می‌باشد. تعریف گراف‌های شکل ۱۴ و شکل ۱۵ در R به صورت زیر می‌باشد: توجه داشته باشید که برای استفاده از کتابخانه‌های igraph ابتدا باید آن را با `library(igraph)` بارگذاری کنید.

```
## Load the igraph package
library(igraph)

## Create a small graph, A->B, A->C, B->C, C->E, D
## A=0, B=1, C=2, D=3, E=4
g <- graph( c(0,1, 0,2, 1,2, 2,4), n=5 )

## Print a graph to the screen
g

## Create an undirected graph as well
## A--B, A--C, B--C, C--E, D
g2 <- graph( c(0,1, 0,2, 1,2, 2,4), n=5, dir=FALSE )
```

```
g2
```

برای این که جنس هر یک از متغیرها را مشخص کنید، می‌توان از دستور class استفاده نمود.

```
## How to decide what kind of object a variable refers to
class(g2)
class(1)
class("foobar")
```

نتیجه اجرای دستورات بالا به صورت زیر خواهد بود:

```
[1] "igraph"
[1] "numeric"
[1] "character"
```

به کمک تابع is.igraph() می‌توانید از گراف بودن یک شی اطمینان حاصل نمایید:

```
## Is this object an igraph graph?
is.igraph(g)
is.igraph(1:10)
```

چنانچه یک شی گراف باشد، دستورات زیر اطلاعات بیشتری از ساختار گراف و تعداد گره و یال‌ها ارائه می‌کنند:

```
## Summary, number of vertices, edges
summary(g)
vcount(g)
ecount(g)
```

دستور جهت‌دار بودن گراف را مشخص می‌کند. این تابع تنها برای گراف تعریف شده و برای دیگر اشیا خطا می‌دهد. شما می‌توانید هر یک از گراف‌های جهت‌دار و بدون جهت را به یکدیگر تبدیل نمایید. چنانچه یک گراف جهت‌دار، بدون جهت شود تمامی یال‌ها فقط به یال بدون جهت تبدیل می‌گردد. چنانچه ارتباط یک یال دوطرفه باشد نیز دو یال به یک یال تبدیل می‌شود. این درحالی است که در تبدیل بدون جهت به جهت‌دار هر یال به دو یال رفت و برگشت مبدل می‌گردد.

```
## Is the graph directed?
is.directed(g)
is.directed(g2)
is.directed(1:10)

## Convert from directed to undirected
as.undirected(g)

## And back
as.directed(as.undirected(g))
```

در یک گراف می‌توان چندیال بین دو گره تعریف کرد. مثلا در گراف E = ((AB); (AB); (AC); (BC)) :

```
## Multiple edges
g <- graph( c(0,1, 0,1, 0,2, 1,2 ), n=5 )
```

تشخیص ساده بودن یا چند یالی بودن گراف با توابع `is.simple(g)` و `is.multiple(g)` امکان‌پذیر است. همچنین اگر بخواهیم یک گراف چندیاله را به گراف ساده تبدیل نماییم، می‌توان از دستور زیر استفاده نمود.

```
## Remove multiple edges
g <- simplify(g)
is.simple(g)
```

یکی دیگر از قابلیت‌هایی که امکان تعریف آن برای گراف وجود دارد، افزودن طوقه می‌باشد. با `simplify` کردن یک گراف طوقه‌ها نیز از بین خواهد رفت.

```
## Loop edges
g <- graph( c(0,0,0,1, 0,2, 1,2, 3,4), n=5 )
is.simple(g)
is.loop(g)

## Remove loop edges
g <- simplify(g)
is.simple(g)
```

یکی از قابلیت‌های igraph برای شی گراف، امکان نامگذاری گره‌ها می‌باشد. در اسکریپت زیر ابتدا یک گراف ۱۰ گره‌ای به صورت حلقوی (هر گره تنها با یال قبلی و بعدی رابطه دارد. همچنین یال ابتدا و انتهایی نیز به هم متصل می‌گردند.) ایجاد می‌شود. اسامی گره‌ها به ترتیب ۱۰ حرف ابتدایی الفبای انگلیسی تعیین می‌گردد.

```
## Naming vertices
g <- graph.ring(10)
V(g)$name <- letters[1:10]
V(g)$name
g
print(g, v=T)
```

دو نکته جانبی در کد بالا وجود دارد. اول این که با افزودن `$name` یک صفت به `V(g)` اضافه کردیم که در ادامه قابل دسترسی است. افزودن صفات دیگر هم مشابه همین فرآیند است. نکته دوم تابع `print` است که به ما اجازه می‌دهد تا اطلاعاتی که از گراف در کنسول چاپ می‌شود را مدیریت نماییم. مثلا در کد بالا گره‌ها را نیز به مواردی که نشان داده می‌شود اضافه نمودیم.

۳-۱ ساخت گراف

یکی از ابزارهای igraph برای ایجاد گراف از روی نام یال‌ها `graph.formula` می‌باشد. به کمک این تابع تنها شما کافی است مسیرهای مختلف بین یال‌ها را در گراف مشخص نمایید. کد زیر ایجاد یک گراف غیرجهت‌دار را

نشان می‌دهد. عملگر "-" (عملگر یال) نشان‌دهنده وجود ارتباط بین دو گره می‌باشد. به کمک این تابع نیازی به تعریف مجموعه گره‌ها به صورت جداگانه وجود ندارد.

```
## A simple undirected graph
g <- graph.formula(Alice-Bob-Cecil-Alice,
                   Daniel-Cecil-Eugene, Cecil-Gordon )
```

عملگر ":" برای تعریف یک مجموعه گره استفاده می‌شود. اگر دو مجموعه با عملگر یال به هم متصل باشند، تمامی گره‌های دو مجموعه با هم ارتباط دارند. بنابراین این عملگر نسبت به "-" تقدم دارد. به عنوان نمونه در اسکریپت زیر، Cecil:Daniel-Eugene:Gordon مشخص‌کننده یال‌های Cecil-Eugene، Cecil-Gordon، Daniel-Gordon و Cecil-Gordon را مشخص می‌دهد.

```
## Another undirected graph, ":" notation
g2 <- graph.formula(Alice-Bob:Cecil:Daniel,
                    Cecil:Daniel-Eugene:Gordon )
```

برای تعریف گراف جهت‌دار در "+" استفاده می‌نماییم. این عملگر نشان‌دهنده جهت می‌باشد. توجه کنید که "+-+" یک یال دو طرفه است، نه دو یال یک طرفه. زیاد بودن تعداد "-"ها برای نمایش یک یال بدون معنی است.

```
## A directed graph
g3 <- graph.formula(Alice +-+ Bob --+ Cecil
                    +-- Daniel, Eugene --+ Gordon:Helen )
## "Arrows" can be arbitrarily long
g5 <- graph.formula( Alice +---------+ Bob )
```

همچنین برخی از گره‌ها می‌توانند به صورت ایزوله تعریف شوند.

```
## A graph with isolate vertices
g4 <- graph.formula(Alice -- Bob -- Daniel,
                    Cecil:Gordon, Helen )
```

از دیگر راه‌های ایجاد گراف جهت‌دار، استفاده از تابع cbind است. به کمک این تابع می‌توان با الصاق دو از مجموعه گره‌ها که به تعداد مساوی گره دارند، مجموعه‌ای از زوج مرتب‌ها به وجود آورد. زوج مرتب‌هایی که از ترکیب اعضای نظیر به وجود آمده اند. بعد از ایجاد این مجموعه مرکب به کمک تابع graph.edgelist می‌توان گرافی مورد نظر را ایجاد نمود.

```
## From edge lists
el <- cbind( c(0, 0, 1, 2),
             c(1, 2, 2, 4) )
g <- graph.edgelist(el)
g
```

فرآیند فوق را به جای شماره گره، می‌توان با نام‌های سمبلیک گره‌ها نیز انجام داد.

```
## Symbolic edge lists
el <- cbind( c("Alice", "Alice", "Bob",   "Cecil"),
             c("Bob",   "Cecil", "Cecil", "Ed") )
g <- graph.edgelist(el)
g
summary(g)
```

یک روش متداول دیگر برای ایجاد گراف، استفاده ماتریس مجاورت است. در زیر یک گراف ۱۰ در ۱۰ با یال‌های تصادفی ایجاد شده‌است.

```
## Adjacency matrices
A <- matrix(sample(0:1, 100, rep=TRUE), 10, 10)
g <- graph.adjacency(A)
```

۳-۲ ایجاد گراف از روی فایل بیرونی

تمام گراف‌هایی که از روی داده‌های دنیای واقع ایجاد می‌شوند، در فایل‌های متنی ذخیره می‌شوند. یکی از نیازهای اصلی کاربران، import کردن این داده‌ها در R است. در ادامه فرآیند ایجاد گراف از روی data frameها نشان داده شده‌است. برای خواندن این اطلاعات ابتدا نیاز داریم از کدی که هنوز در igraph تعبیه نشده استفاده کنیم.

```
## We need some extra code, not in the current version yet
source("http://cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/plus.R")
```

سپس به ترتیب گره‌ها و یال‌های مورد نظر را بارگذاری نماییم.

```
## Read the comma-separated value file
vertices <- read.csv("
http://cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/judicial.csv")

## Read the edges, just a table, space separated
edges <- read.table(
"http://cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/allcites.txt")
```

با ترکیب یال‌ها و گره‌ها به کمک graph.data.frame می‌توان گراف را ایجاد نمود.

```
## And create the graph
jg <- graph.data.frame(edges, vertices=vertices, dir=TRUE)
summary(jg)
```

چنانچه بخواهید می‌توانید این گراف را برای استفاده‌های بعدی در یک فایل ذخیره نمایید. با روشن کردن قابلیت فشرده‌سازی، حجم این فایل نیز کاهش می‌یابد.

```
## Save it for future use
save(jg, file="judicial.Rdata.gz", compress=TRUE)
```

۳-۳ دستکاری در ساختار گراف

از عملیات شایع روی گراف اضافه و کم کردن گره و یال‌های آن می‌باشد. در این قسمت گراف g2 کـه قـبلا آن را ایجاد نمودیم دستکاری می‌نماییم. در ابتدا گره اول آن را حذف می‌کنیم.

```
## Remove alice
g3 <- delete.vertices(g2, 0)
```

اضافه کردن گره به کمک تابع add.vertices انجام می‌شود. ورودی‌های این تابع گـراف و تعـداد گرهـی که باید اضافه شود است. کد جدیدی که در اسکریپت زیر اضافه شده‌است، igraph.par می‌باشد. به کمک ایـن تابع می‌توان پارامترهای igraph را تنظیم نمود. مثلا ما چاپ صفات گره‌ها را فعال کردیم تا اسامی نمایش داده شود.

```
## Add three new vertices
g4 <- add.vertices(g3, 3)
igraph.par("print.vertex.attributes", TRUE)
g4
```

add.vertices این امکان را نیز به ما می‌دهد که هنگام اضافه کردن گره اسامی گـره‌هـا را نیـز مشـخص نماییم. ورودی اسامی حتما باید به صورت لیست باشد، در مثال زیر ما صفت name را به گره‌ها اضافه می‌نماییم.

```
## Add three new vertices, with names this time
g4 <- add.vertices(g3, 3, attr=list(name=c("Ha", "Ik", "Ja")))
g4
```

مشابه گره، اضافه کردن یال نیز به راحتی با تابع add.edges امکان‌پذیر است.

```
## Add some edges as well
g4 <- add.edges(g4, c(6,7, 5,7))
g4
```

۴-۳ استخراج همسایگی یال‌ها

آموزش این بخش روی گراف g2 انجام می‌شود که با اسکریپت زیر آن را ایجاد می‌نماییم. اگر بخـواهیم شناسـه یک یال را بیابیم، دستور as.vector این قابلیت را برای ما فراهم می‌کند.

```
## Create directed example graph
g2 <- graph.formula(Alice -+ Bob:Cecil:Daniel,
                    Cecil:Daniel +-+ Eugene:Gordon )
print(g2, v=T)

## Get the id of the edge
as.vector(E(g2, P=c(0,1)))
```

در بسیاری از الگوریتم‌ها ما نیاز داریم به یال‌های مجاور یک گره دسترسی پیدا کنیم. تابع adj() این قابلیت را در اختیار ما قرار می‌دهد. ورودی این تابع یک یا چند گره می‌باشد.

```
## All adjacent edges of a vertex
E(g2)[ adj(2) ]

## Or multiple vertices
E(g2)[ adj(c(2,0)) ]
```

چنانچه گرافی جهت‌دار باشد، می‌توان بین یال‌های ورودی و خروجی از یک گره تمایز قائل شد و به صورت جداگانه به هر یک دسترسی داشت.

```
## Outgoing edges
E(g2)[ from(2) ]

## Incoming edges
E(g2)[ to(2) ]
```

یکی از قابلیت‌های خوب igraph این است که ما می‌توانیم یال‌هایی که بین یک مسیر از گره‌ها قرار دارند را استخراج نماییم. البته این قابلیت تنها هنگامی قابل استفاده است که یک مسیر کامل را در ورودی تابع قرار دهیم. چنانچه یکی از گره‌های مسیر ذکر نشود، با خطا مواجه می‌شویم.

```
## Edges along a path
E(g2, path=c(0,3,4))
```

نتیجه دستور بالا به صورت زیر خواهد بود:

```
Edge sequence:

[2] Alice  -> Daniel
[8] Daniel -> Eugene
```

۳-۵ رسم گراف

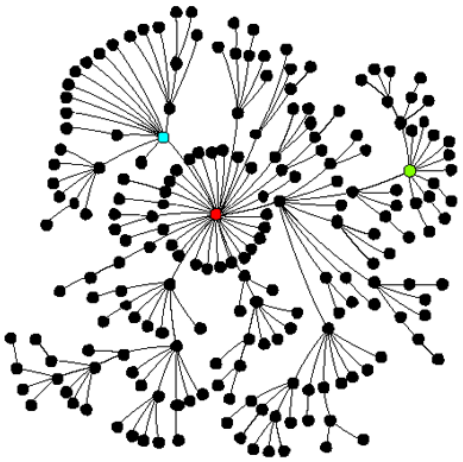
برای رسم گراف از سه تابع زیر می‌توان استفاده نمود:

۱. plot، رسم ساده، دوبعدی و غیر تعاملی گراف است. این تابع پیاده‌سازی تابع عمومی plot می‌باشد.

۲. tkplot، تابعی برای رسم دوبعدی و تعاملی گراف می‌باشد که از کتابخانه tcltk استفاده می‌کند. این تابع برای رسم گراف‌هایی تا اندازه متوسط –حداکثر چند هزار گره- استفاده می‌شود، زیرا مصرف منابع آن زیاد است. به کمک tkplot می‌توان برخی از ویژگی‌های گراف را در زمان اجرا تغییر داد.

۳. rglplot: یک تابع آزمایشی برای رسم سه‌بعدی توابع است که از OpenGL استفاده می‌نماید. در گراف رسم‌شده می‌توان عملیات بزرگنمایی، چرخش و انتقال را انجام داد، اما جای گره‌ها ثابت است.

در ادامه برای رسم، ابتدا یک شبکه بی‌مقیاس (scale-free) می‌سازیم. شبکه‌های بی‌مقیاس که توسط آلبرت و باراباسی گسترش یافتند [۷]، با فرآیند اتصال ترجیحی رشد می‌کنند. شکل ۱۶ یک شبکه بی مقیاس اتصال‌های تازه به طور ترجیحی به سمت گره‌های «قطب» (مرکزی-hub) جهت‌گیری می‌کنند.



شکل ۱۶. نمونه‌ای از یک شبکه بی‌مقیاس. قطب‌ها به صورت رنگی نشان داده شده‌اند.

شبکه های بی مقیاس عدد «جهش» (hops) متوسط کوچکی برای رفتن از یک گره در شبکه به گره دیگر دارند. این مطلب با زمان صرف شده برای ارسال یک پیام از عرض شبکه در ارتباط است. شبکه های بی مقیاس به دلیل اینکه در طی یک حمله عمدی به گره های مرکزی متلاشی میشوند، طراحی خوبی برای شبکه‌های مخابراتی به شمار نمی‌روند. به هر حال، آن‌ها کاملا به نقص‌های تصادفی مقاومند. در سطح TCP/IP (اما نه در سطح فیزیکی) اینترنت نیز یک شبکه بی مقیاس است. برای نمونه، google.com به عنوان «گره قطب» اصلی عمل می‌کند. این ساختار منطقی بی‌مقیاس اینترنت، گسترش ویروس‌های کامپیوتری را تقویت می‌کند.

در اسکریپت زیر تابع `barabasi.game` یک شبکه بی‌مقیاس یک اتصاله با ۱۰۰ گره ایجاد می‌کند. یک‌اتصاله گراف بودن به این معناست که هر گره جدید به یک گره موجود متصل می‌شود.

```
## Create a scale-free network
g <- barabasi.game(100, m=1)
g <- simplify(g)
```

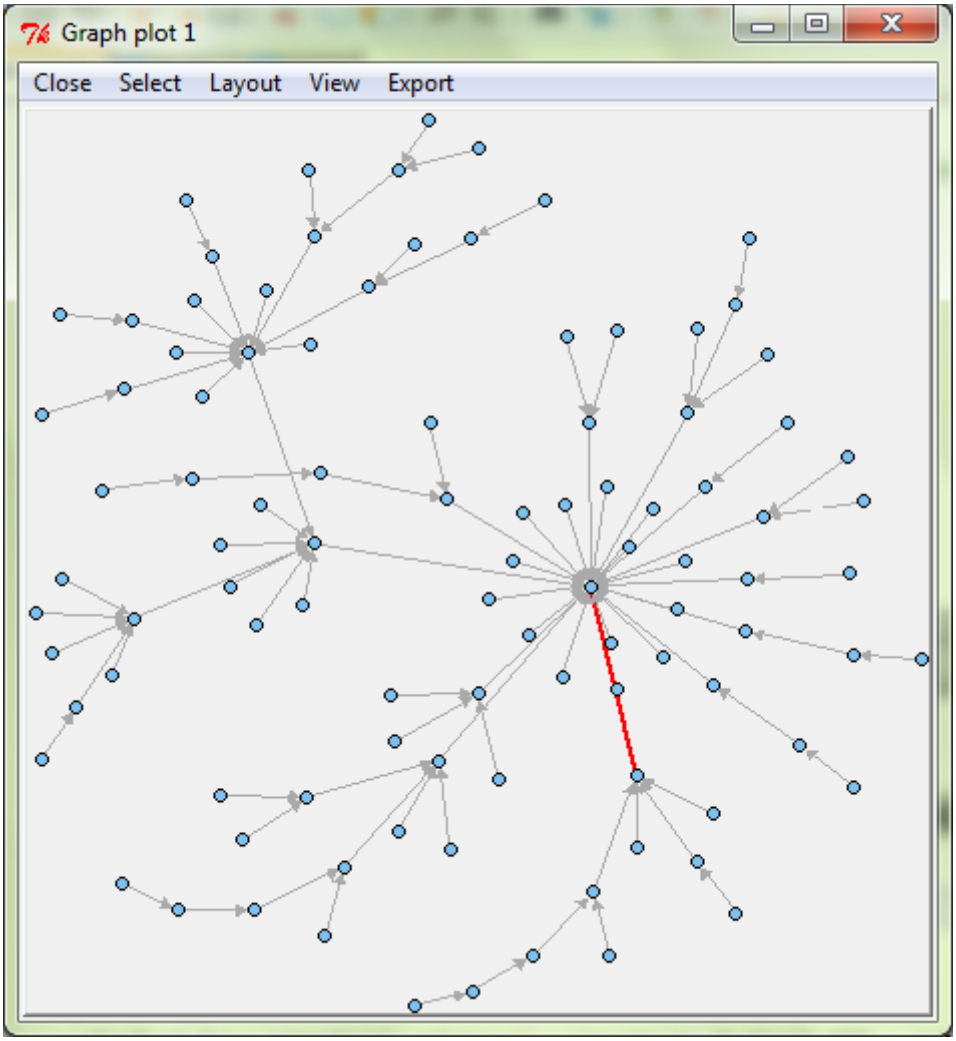
در این قسمت ابتدا آرایش قرار گیری گره‌ها و یال‌ها را در رسم مشخص می‌کنیم. آرایشی که به عنوان پیش‌فرض در این کد تنظیم شده، آرایش معروف Fruchterman-Reingold می‌باشد [۸]. برای رسم از تابع plot استفاده شده‌است.

```
## simple plot
igraph.par("plot.layout", layout.fruchterman.reingold)
plot(g, vertex.size=3, vertex.label=NA, edge.arrow.size=0.6)
```

در این بخش از tkplot برای ساخت یک شمای تعاملی از گراف بهره گرفته شده‌است.

```
## interactive
id <- tkplot(g, vertex.size=3, vertex.label=NA,
edge.arrow.size=0.6)
coords <- tkplot.getcoords(id)
```

شکل زیر، نتیجه اسکریپت فوق را نمایش می‌دهد.



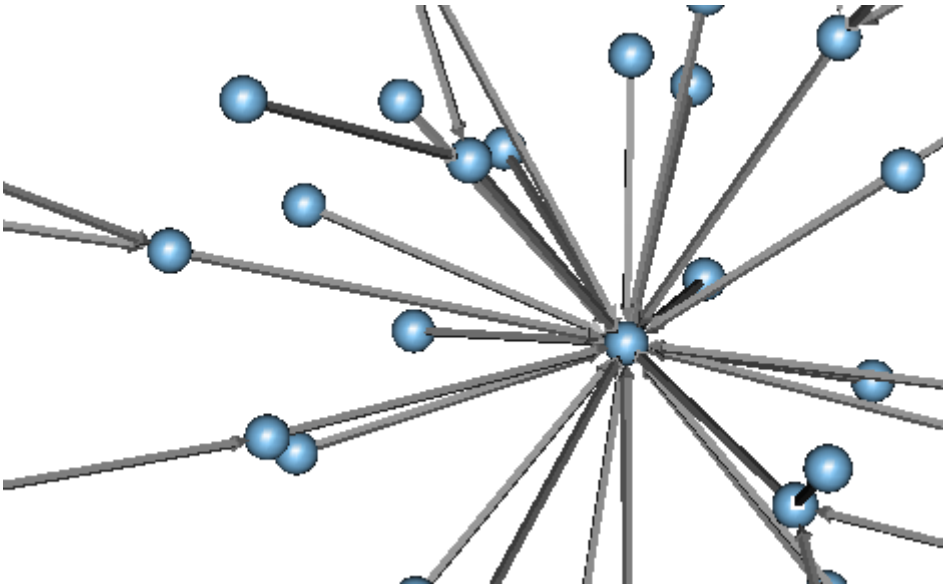
شکل ۱۷. گراف رسم شده در محیط tkplot

در این بخش شمای ۳ بعدی گراف فوق را به کمک rglplot رسم شده‌است.

```
## 3D
open3d()
rglplot(g, vertex.size=3, vertex.label=NA,
edge.arrow.size=0.6)
```

در کد زیر رسم گراف بالا با آرایش کامادا-کاوای انجام شده‌است [۹]. توجه کنید که dim=3 سه‌بعدی بودن آرایش گراف را نشان می‌دهد.

```
## A bit better 3D
coords <- layout.kamada.kawai(g, dim=3)
open3d()
rglplot(g, vertex.size=3, vertex.label=NA,
edge.arrow.size=0.6, layout=coords)
```



شکل ۱۸. گراف سه بعدی رسم شده با rglplot

۳-۶ دسترسی و تغییر صفات گراف، گره‌ها و یال‌ها

گراف، گره‌ها و یال‌ها هر کدام می‌توانند صفات جداگانه‌ای داشته‌باشند که ویژگی‌های آن‌ها را مشخص نمایند.

در این قسمت از مجموعه‌داده قضایی که آن را در بخش ۳-۲ بازیابی نمودیم استفاده می‌کنیم.

```
## Load the jurisdiction network
load("judicial.Rdata.gz")

## If we don't have it then create it again
if (!exists("jg")) {
  source("http://cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/plus.R")
  vertices <- read.csv("
          http://cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/judicial.csv")
  edges <- read.table("
          http://cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/allcites.txt")
  jg <- graph.data.frame(edges, vertices=vertices, dir=TRUE)
}
```

معمولا توابع زیر برای مقداردهی و پرس‌وجو از این صفات استفاده می‌گردد:

```
set.graph.attribute, get.graph.attribute, list.graph.attributes,
set.vertex.attribute, get.vertex.attribute, list.vertex.attributes,
set.edge.attribute, get.edge.attribute,  list.edge.attributes
```

توابع فوق، عملیات مقداردهی، بازیابی و ارائه لیست صفات را انجام می‌دهند. البته راه ساده‌تر دسترسی استفاده از $ در جلوی متغیرهاست. در کد زیر چگونگی دسترسی بخشی از صفات پشت سر هم نشان داده‌شده است.

```
## What do we have?
summary(jg)
V(jg)$year[1:100]
V(jg)$parties[1:10]
```

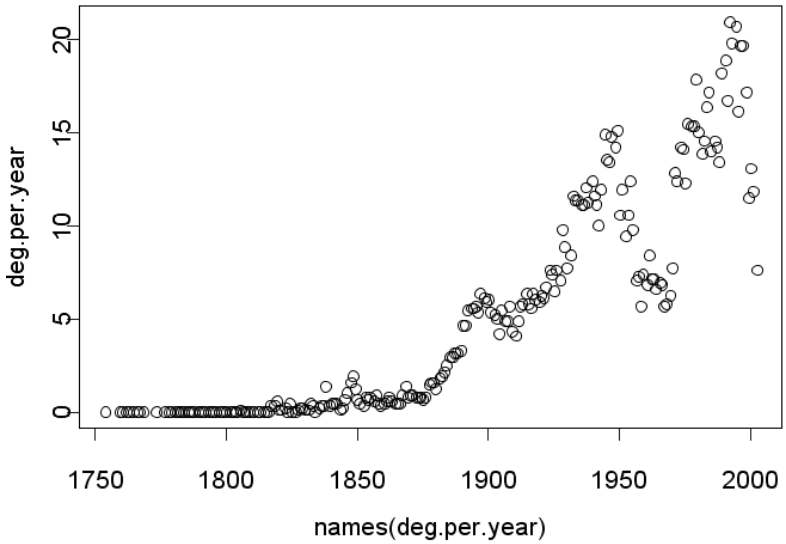
پرس‌وجو روی صفات نیز مشابه دستور فوق و بدون نیاز به حلقه انجام‌پذیر است. با توجه به Index شدن این صفات نتایج به سرعت محاسبه می‌گردد.

```
## Select vertices based on attributes
V(jg) [ year >= 1990 ]
V(jg) [ overruled!=0 ]
```

اسکریپت زیر یک عملیات پیچیده را روی صفت سال در گره‌ها انجام می‌دهد. این کد مشابه Group by در SQL عمل می‌کند و میانگین درجه گره‌ها را در گره‌های هر سال محاسبه می‌نماید.

```
## Group network measures based on attributes
deg.per.year <- tapply(degree(jg, mode="out"), V(jg)$year,
mean)

## Plot it
plot( names(deg.per.year), deg.per.year )
```

همان‌گونه که نمودار زیر نشان می‌دهد روند میانگین درجه نقاط به مرور زمان در حال زیاد شدن است. این بدان معناست که استناد به پرونده‌های قضایی در حال زیاد شدن می‌باشد.



شکل ۱۹. میانگین درجه نقاط در گراف قضایی

یک مثال پیشرفته تر از نحوه دسترسی به صفات در زیر آمده‌است. برای این مثال از یک گراف تصادفی Erdos-Renyi استفاده می‌کنیم [۱۰]. رنگ گره‌ها به صورت تصادفی قرمز یا سیاه در نظر گرفته می‌شود.

```
## A more advanced example
g <- erdos.renyi.game(100, 1/100)
V(g)$color <- sample( c("red", "black"),
                      vcount(g), rep=TRUE)
E(g)$color <- "grey"
```

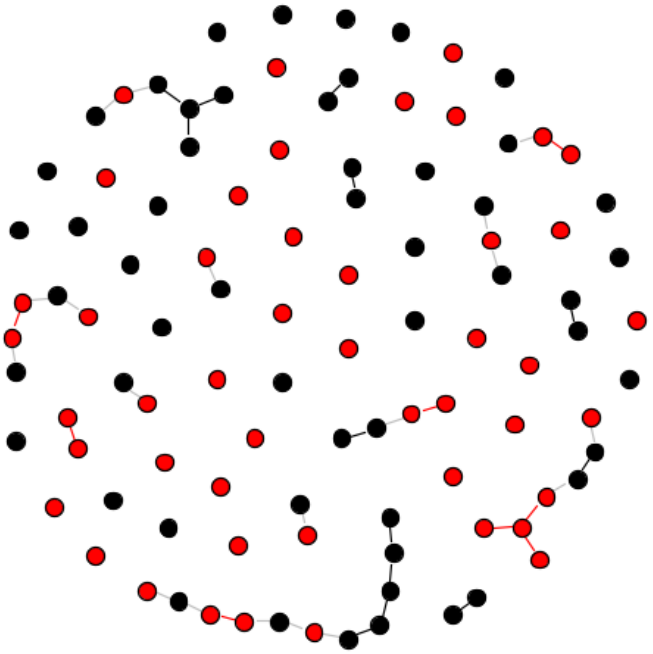
در این مرحله گره‌های قرمز و سیاه را از یکدیگر جدا می‌نماییم.

```
red <- V(g)[ color == "red" ]
bl <- V(g)[ color == "black" ]
```

حال به کمک یک پرس‌وجوی پیچیده بین رنگ یال‌هایی که دو طرف قرمز و دو طرف آبی هستند، تمایز قائل می‌شویم. کد زیر نشان می‌دهد که در هنگام ریختن یک مقدار در متغیر، پرس‌وجو می‌تواند در عبارت سمت چپ نیز اعمال گردد.

```
E(g)[ red %--% red ]$color <- "red"
E(g)[ bl  %--% bl ]$color <- "black"
plot(g, vertex.size=5, layout=
     layout.fruchterman.reingold)
```

شکل رسم‌شده گراف بالا به صورت زیر خواهد بود.



شکل ۲۰. یک گراف تصادفی که رنگ یال‌های آن بر اساس رنگ گره‌ها متمایز گشته‌است.

۴ تحلیل شبکه‌اجتماعی

برای بیان مجموعه‌ی روابط پیچیده‌ی میان افراد درسیستم‌های اجتماعی و غیر آن از شبکه استفاده می‌شود. مطالعاتی نظیر یافتن افراد تاثیرگذار، ساختاریابی اجتماعات درون شبکه، پیش‌بینی ارتباط بین افراد و ... به کمک تحلیل همین شبکه‌ها صورت می‌پذیرد. در ادامه به برخی تکنیک‌های تحلیل شبکه‌اجتماعی در igraph اشاره می‌نماییم.

۴-۱ محاسبه انواع تعاریف مرکزیت گره

تاکنون معیارهای متفاوتی برای محاسبه مرکزیت یک گره ارائه شده‌است. مرکزیت، اهمیت نسبی یک گره در گراف را نشان می‌دهد [۱۱]. به عنوان نمونه میزان اهمیت یک فرد در شبکه‌اجتماعی یا میزان اهمیت یک اتاق در بنا و ... از جمله کاربردهای این معیار می‌باشد. ۴ تا از مشهورترین تعاریف مرکزیت به شرح زیر است:

۱. **Degree centrality**: تعداد گره‌های مجاور هر گره (تعداد همسایه‌ها).
۲. **Betweenness centrality**: تعداد کوتاه‌ترین مسیرهایی که از یک گره عبور می‌نماید.
۳. **Closeness centrality**: میانگین کوتاهترین مسیرها بین هر فرد و دیگر افراد در شبکه.
۴. **Eigenvector centrality**: این معیار یک امتیاز نسبی به تمام گره‌ها نسبت می‌دهد، محاسبه این معیار بر اساس این اصل انجام می‌شود که ارتباط با گره‌های با امتیاز بالا، نقش بیشتری از ارتباط با گره‌های با امتیاز پایین دارد. الگوریتم Google PageRank از جمله این روش‌ها به حساب می‌آید.

البته معیارهای مرکزیتی که در igraph پیاده‌سازی شده‌است به این ۴ روش ختم نشده و روش‌های دیگری چون Burt's constraint و Transitivity را هم شامل می‌شود.

برای بررسی ۴ معیار مرکزیت بالا ابتدا یک گراف می‌سازیم و سپس آن به گراف ساده تبدیل می‌نماییم.

```
g <- graph.formula(Andre----Beverly:Diane:Fernando:Carol,
                   Beverly--Andre:Diane:Garth:Ed,
                   Carol----Andre:Diane:Fernando,
                   Diane----Andre:Carol:Fernando:Garth:Ed,
                   Ed-------Beverly:Diane:Garth,
                   Fernando-Carol:Andre:Diane:Garth:Heather,
                   Garth----Ed:Beverly:Diane:Fernando:Heather,
                   Heather--Fernando:Garth:Ike,
                   Ike------Heather:Jane)
g <- simplify(g)
```

در ادامه موقعیت گره‌ها را در هنگام رسم مشخص می‌کنیم و نام گره‌ها را برچسب آن‌ها در هنگام رسم مبدل می‌سازیم. حال شکل اولیه گراف آماده است و می‌توانیم آن را رسم کنیم.

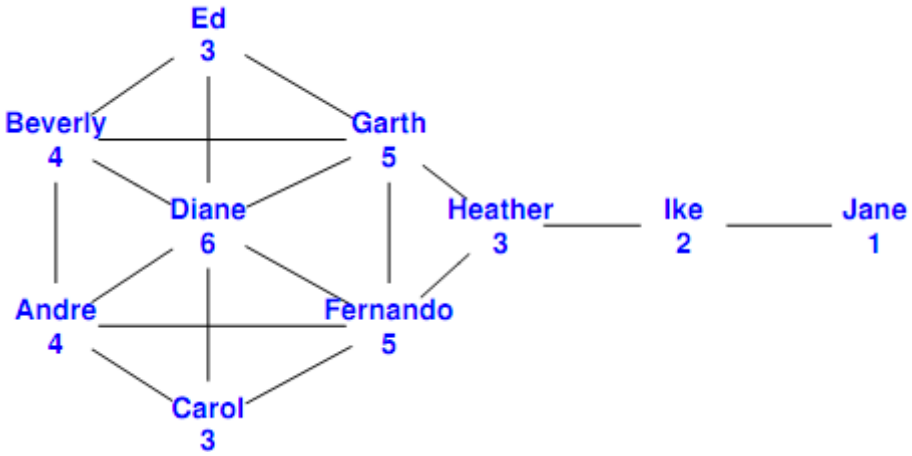
```
## Hand-tuned coordinates
coords <- c(5,5,119,256,119,256,120,340,478,
            622,116,330,231,116,5,330,451,231,231,231)
coords <- matrix(coords, nc=2)

## Labels the same as names
V(g)$label <- V(g)$name
g$layout <- coords # $

## Take a look at it
plot(g, asp=FALSE, vertex.label.color="blue",
     vertex.label.cex=1.5, vertex.label.font=2,
     vertex.size=20, vertex.color="white",
     vertex.frame.color="white", edge.color="black")
```

در ادامه هر کدام از معیارهای مرکزیت را محاسبه می‌کنیم و در کنار هر گره نمایش می‌دهیم. در زیر ابتدا این عملیات با معیار درجه انجام شده‌است.

```
## Add degree centrality to labels
V(g)$label <- paste(sep="\n", V(g)$name, degree(g))
```

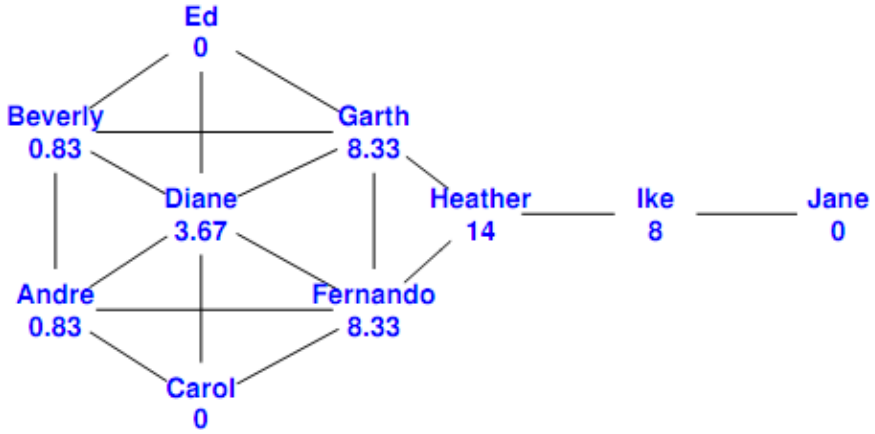
با رسم این گراف با کد زیر، شکل ۲۱ نمایش داده می‌شود.

```
## And plot again
plot(g, asp=FALSE, vertex.label.color="blue",
     vertex.label.cex=1.5, vertex.label.font=2,
     vertex.size=20, vertex.color="white",
     vertex.frame.color="white", edge.color="black")
```

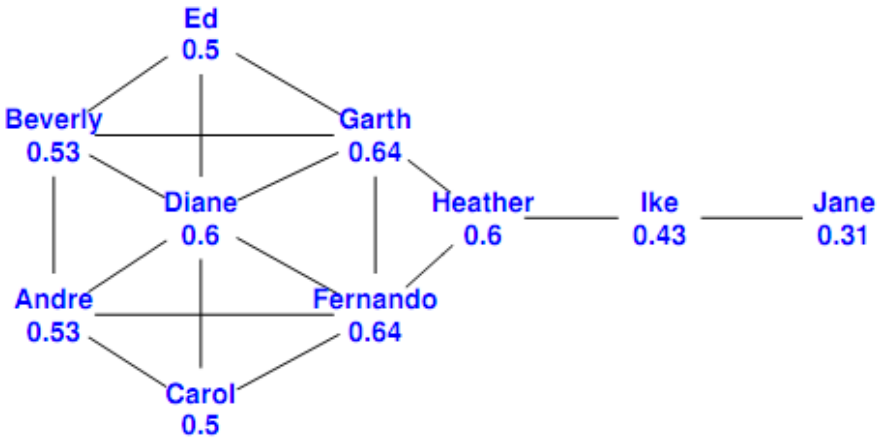


شکل ۲۱. گرافی که Degree centrality گره‌های آن در کنار هر گره نوشته شده‌است.

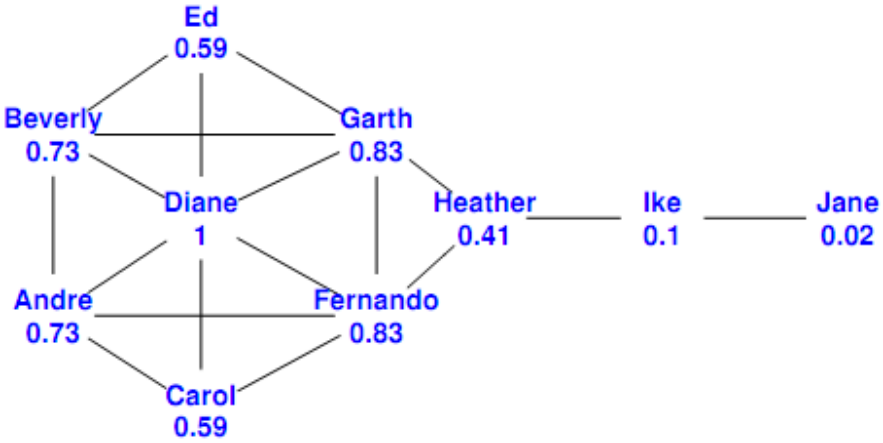
سه معیار دیگر مرکزیت به کمک توابع betweenness، closeness و evcent قابل محاسبه است. فقط کافی است در کد بالا به جای `degree(g)`، عبارتی چون `format(evcent(g)$vector, digits=1)` وارد کنید. نتایج به دست آمده برای این سه معیار در شکل‌های زیر نمایش داده شده‌است.



شکل ۲۲. مرکزیت Betweenness گره‌های گراف



شکل ۲۳. مرکزیت Closeness گره‌های گراف



شکل ۲۴. مرکزیت Eigenvector گره‌های گراف

۲-۴ تحلیل یک گراف نسبتا بزرگ

در این بخش با نحوه دریافت اطلاعات یک گراف نسبتا بزرگ آشنایی می‌شویم. به علت بزرگ بودن گراف استفاده از برخی از دستورات (مثل رسم گراف) بسیار زمان‌بر است و بعضا به بسته شدن نرم‌افزار می‌انجامد. از این گذشته با رسم این گراف نیز در زمان زیاد، -به علت بزرگی- نمی‌توان به خوبی اطلاعات آن را استخراج نمود. از این رو باید از به کار بردن این دستورات -به جز در موارد ضروری- پرهیز نمود. جدول ۱ سرعت اجرای هر یک از توابع را نشان می‌دهد و بیان می‌کند هر کدام از توابع -در حالت معمول- برای گرافی با چند گره قابلیت محاسبه در زمان منطقی را دارا می‌باشد. اغلب توابعی که در جدول با عنوان "بسیار کند" رده‌بندی شده‌اند، به خاطر پیچیدگی محاسباتی الگوریتم آن‌ها در این رده حضور دارند.

جدول ۱. سرعت توابع igraph

توابع سریع (میلیون‌ها گره)	creating graphs (most of the time)- structural modification(add/delete edges/vertices)- subgraph- simplify- graph.decompose- degree- clusters- graph.density- is.simple, is.loop, is.multiple- articulation points and biconnected components- ARPACK stuff: page.rank, hub.score, authority.score, evcent- transitivity- Burts constraint- dyad & triad census, graph motifs- k-cores- MST- reciprocity- modularity- closeness and(edge) betweenness estimation- shortest paths from one source- generating $G_{n,p}$ and $G_{n,m}$ graphs- generating PA graphs with various PA exponents- topological sort
توابع کند (ده‌هزار گره)	closeness- diameter- betweenness- all pairs shortest paths, average path length- most layout generators
توابع بسیار کند (صد گره)	cliques- cohesive blocks- edge/vertex connectivity- maximum ows and minimum cuts- bonpow- alpha centrality- (sub)graphisomorphism

گرافی که قصد داریم به تحلیل آن بپردازیم، همان گراف اطلاعات قضایی است. ابتدا این گراف را از روی فایل ذخیره‌شده، load می‌کنیم. این گراف که ۳۰۲۸۸ گره و بیش از ۲۱۶هزار یال دارد، یک گراف جهت‌دار، ساده (غیرچندگانه) و ناهمبند می‌باشد.

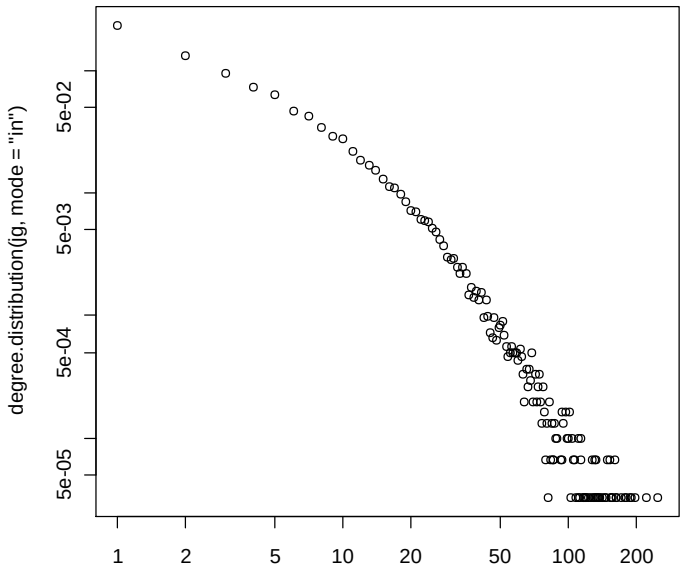
```
## Load the jurisdiction network
load("judicial.Rdata.gz")

## Basic data
summary(jg)

## Is it a simple graph?
is.simple(jg)

## Is it connected?
is.connected(jg)
```

با دستور no.clusters تعداد مولفه‌های همبند گراف به دست می‌آید. این گراف ۴۸۸۱ مولفه همبند جداگانه دارد. از این میان ۴۸۷۱ گره منفرد (بدون یال)، ۸ مولفه با اندازه ۳ و یک مولفه با اندازه ۴ داریم. مولفه مهم گراف که بزرگترین مولفه همبند آن نیز است، دارای ۲۵۳۸۹ گره می‌باشد.

```
## How many components?
no.clusters(jg)

## How big are these?
table(clusters(jg)$csize)
```

یکی از مهمترین تحلیل‌ها، تحلیل درجه گره‌ها در گراف می‌باشد. تحلیل درجه ورودی و خروجی گره‌ها با محور y لگاریتمی به صورت زیر می‌باشد. شکل ۲۵ توزیع درجات ورودی را نشان می‌دهد.

```
## In-degree distribution
plot(degree.distribution(jg, mode="in"), log="xy")

## Out-degree distribution
plot(degree.distribution(jg, mode="out"), log="xy")
```



شکل ۲۵. توزیع درجه‌های ورودی گراف قضایی

بیشترین درجه یک گره (مجموع ورودی و خروجی) در این گراف ۳۱۳ است.

```
## Largest in- and out-degree, total degree
max(degree(jg, mode="in"))
max(degree(jg, mode="out"))
max(degree(jg, mode="all"))
```

چگالی گراف، نسبت تعداد یال‌های موجود به تعداد یال‌های ممکن می‌باشد. این معیار برای گراف فوق برابر با ۰.۰۰۰۲۳۶ است. این بدان معناست که گراف فوق بسیار پراکنده می‌باشد.

```
## Density
graph.density(jg)
```

تراگذری یک گراف، احتمال این که همسایه‌های یک گره با یکدیگر مرتبط باشند را مشخص می‌کند. مقدار تراگذری را یک بار برای گراف امور قضایی و یک‌بار برای یک گراف تصادفی محاسبه می‌کنیم. نتایج به دست‌آمده به ترتیب ۰.۱۲۶ و ۰.۰۰۰۵۳۴ می‌شود. تفاوت فاحش این مقادیر، معناداری ارتباطات طبیعی را نشان می‌دهد.

```
## Transitivity
transitivity(jg)

## Transitivity of a random graph of the same size
g <- erdos.renyi.game(vcount(jg), ecount(jg), type="gnm")
transitivity(g)
```

دستور dyad.census، انواع ارتباطات بین جفت گره‌ها را سرشماری و در سه گروه دسته‌بندی می‌کند:

۱. mut: تعداد گره‌های با ارتباط دوطرفه.
۲. asym: تعداد گره‌های با ارتباط یکطرفه.
۳. null: تعداد گره‌هایی که هیچ ارتباطی با هم ندارند.

تابع دیگر سرشماری کننده، triad.census می‌باشد. که تعداد زیرگراف‌های با سه یال را می‌شمارد. همانگونه که انتظار می‌رود، با توجه به وضعیت بودن یا نبودن یال‌های جهت‌دار، شانزده ترکیب مختلف خواهیم‌داشت. (به این زیرگراف‌ها motifs هم اطلاق می‌شود.) شمارش در این ۱۶ دسته انجام می‌شود.

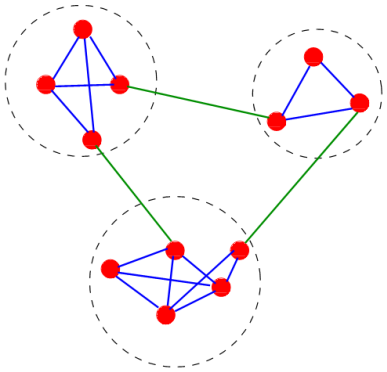
```
## Dyad census & Triad census
dyad.census(jg)
## triad.census(jg)
```

محاسبه امتیاز Hubs و Authorities که Kleinberg در الگوریتم HITS ارائه داد، به صورت زیر است. برای محاسبه این دو امتیاز از ضرب برداری و بردارهای ویژه‌ی ماتریس مجاورت استفاده می‌شود

```
## Authority and Hub scores
authority.score(jg)$vector
cor(authority.score(jg)$vector, V(jg)$auth)

hub.score(jg)$vector
cor(hub.score(jg)$vector, V(jg)$hub)
```

۳-۴ ساختاریابی اجتماع

یکی از موضوعات مطرح در تحلیل شبکه‌های اجتماعی، یافتن ساختار اجتماعات موجود در شبکه‌ی اجتماعی، بر اساس شباهت‌های افراد درون شبکه می‌باشد. یک شبکه‌اجتماعی هنگامی "ساختار اجتماع" (Community Structure) دارد که به صورت طبیعی به گروه‌هایی از گره‌ها تقسیم شده باشد که در درون گروه‌ها ارتباط متراکم و مابین گروه‌ها ارتباط تُنُک داشته باشد. شکل زیر یک شبکه‌اجتماعی و ساختار اجتماع درون آن را نمایش داده‌است.



شکل ۲۶. "ساختار اجتماع" در گراف یک شبکه‌اجتماعی

یک سوال مهم در ساختاریابی این است که ساختار یافته‌شده تا چه حد بهینه است؟ نیومن-گیروان در سال ۲۰۰۴ معیار ماژولاریتی Q را به عنوان شرط انتهایی الگوریتم ارائه داد [۱۲]. اما این معیار به سرعت به یکی از اجزای اصلی دسته‌ی جدیدی از روش‌های ساختاریابی مبدل گشت. تاکنون معیارهای مختلفی برای ماژولاریتی ارائه شده‌است. ما در این آموزش از معیار پایه ماژولاریتی که توسط نیومن ارائه شد استفاده می‌نماییم (عبارت ریاضی ۱).

$$Q = \frac{1}{2m}\sum_{i,j} A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}\delta(c_i, c_j) \qquad (۱)$$

در آزمایش اول قصد داریم اندازه ماژولاریتی را در چند گراف بررسی نماییم. برای این منظور ابتدا گرافی با دو قسمت جداگانه ایجاد می‌نماییم.

```
## The concept of modularity
g <- graph.full(5) %du% graph.full(5)
g$layout <- layout.fruchterman.reingold
plot(g)
V(g)$color <- 2
V(g)[0:4]$color <- 1
plot(g)
```

گراف ایجاد شده یک گراف ماژولار است. مقدار ماژولاریتی آن برابر با ۰.۵ می‌باشد.

```
## This graph is modular
modularity(g, membership=V(g)$color-1)
```

این درحالی است که اگر کل گراف را یک اجتماع در نظر بگیریم، مقدار ماژولاریتی برابر با صفر می‌شود.

```
## If we have everyone in the same group,
## that is not modular
V(g)$color <- 1
modularity(g, membership=V(g)$color-1)
```

چناچه اجتماع‌ها را به صورت تصادفی اختصاص دهیم، این مقدار منفی می‌شود.

```
## If we assign the vertices randomly to two
## groups, that is not very modular, either
V(g)$color <- sample(1:2, vcount(g), rep=TRUE)
plot(g)
modularity(g, membership=V(g)$color-1)
```

برای آزمایش بعدی، گراف کلوپ کاراته زاکاری را دانلود می‌کنیم. از آن‌جا که این گراف در فرمت pajek قرار دارد، باید آن را به فرمت igraph تبدیل نماییم. انجام این کار به راحتی با اضافه‌کردن یک آرگومان به تابع ورود گراف امکان‌پذیر است.

```
## Fast & greedy community detection
karate <- read.graph(
    "cneurocvs.rmki.kfki.hu/igraph/karate.net",format="pajek")
karate <- simplify(karate)
```

الگوریتم fastgreedy که یک الگوریتم بر مبنای ماژولاریتی است [۱۳]، روی این گراف اعمال می‌کنیم. شیوه کار این الگوریتم بدین صورت است که هر گره را یک اجتماع در نظر می‌گیرد و طبق یک روش حریصانه شروع به ادغام این اجتماعات می‌کند. در هر مرحله ماژولاریتی گراف اندازه‌گیری و ذخیره می‌شود، تا این که تمام گره‌ها به یک اجتماع اختصاص یابند. پس از پایان این مرحله جایی که الگوریتم به بیشترین ماژولاریتی رسیده‌بود، به عنوان ساختاراجتماع در نظر می‌گیریم. با اجرای این الگوریتم، بیشترین ماژولاریتی مراحل به ۰.۳۸ می‌رسد.

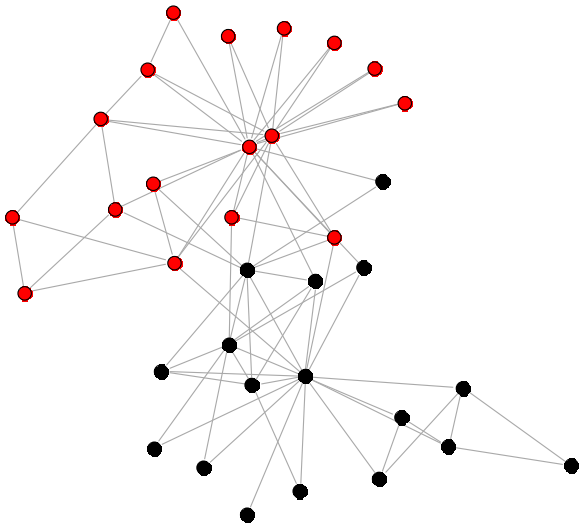
```
system.time( fc <- fastgreedy.community(karate) )
fc$modularity
max(fc$modularity)
which.max(fc$modularity)
```

آرایه عضویت بیشترین ماژولاریتی به صورت زیر استخراج می‌گردد.

```
memb <- community.to.membership(karate, fc$merges,
which.max(fc$modularity))
memb
```

این گراف را رسم می‌کنیم. شکل ۲۷ نتایج به دست‌آمده را نشان می‌دهد.

```
lay <- layout.kamada.kawai(karate)
plot(karate, layout=lay, vertex.size=5, vertex.label=NA,
     vertex.color=memb$membership+1, asp=FALSE)
```

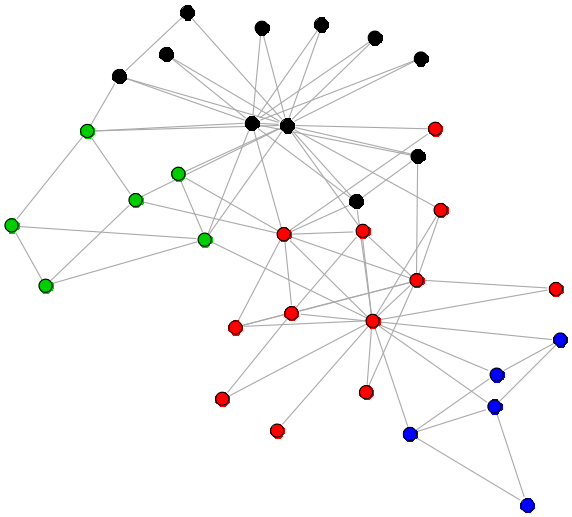


شکل ۲۷. اجتماعات به دست آمده با الگوریتم fastgreedy روی مجموعه داده کلوپ کاراته

مراحل بالا را روی الگوریتم Spinglass انجام می‌دهیم [۱۴] و نتایج را با هم مقایسه می‌کنیم. ماژولاریتی نتیجه نهایی ۰.۴۲ می‌باشد که به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته‌است. البته زمان اجرای الگوریتم پیشین کمتر بود.

```
## Spinglass community detection
system.time(spc <- spinglass.community(karate, spins=20))
spc

x11()
plot(karate, layout=lay, vertex.size=5, vertex.label=NA,
     vertex.color=spc$membership+1, asp=FALSE)
```

ساختار به دست‌آمده این الگوریتم، دارای چهار اجتماع است. اسکریپ فوق نتایج را رسم نیز می‌نماید (شکل ۲۸). دستور `x11()` باعث می‌شود رسم این گراف در پنجره‌ای جداگانه صورت بگیرد.



شکل ۲۸. اجتماعات به دست آمده با الگوریتم Spinglass روی مجموعه داده کلوپ کاراته

۴-۴ بلوک‌های چسبنده

چسبندگی‌ساختاری (Structural cohesion)، کمترین تعداد گره‌هایی از شبکه‌اجتماعی است که باید آن‌ها را حذف کنیم تا حداقل دوگره که تاکنون به هم متصل بودند، از یکدیگر جدا شوند [۱۵]. در این آزمایش سعی می‌کنیم، بلوک‌هایی از گره‌ها که چسبندگی زیادی دارند و حائل بین بلوک‌ها هستند را بیابیم. ابتدا گرافی که باید روی آن آزمایش انجام دهیم را می‌سازیم و برچسب هر گره را به ترتیب به صورت عددی شماره‌گذاری می‌نماییم.

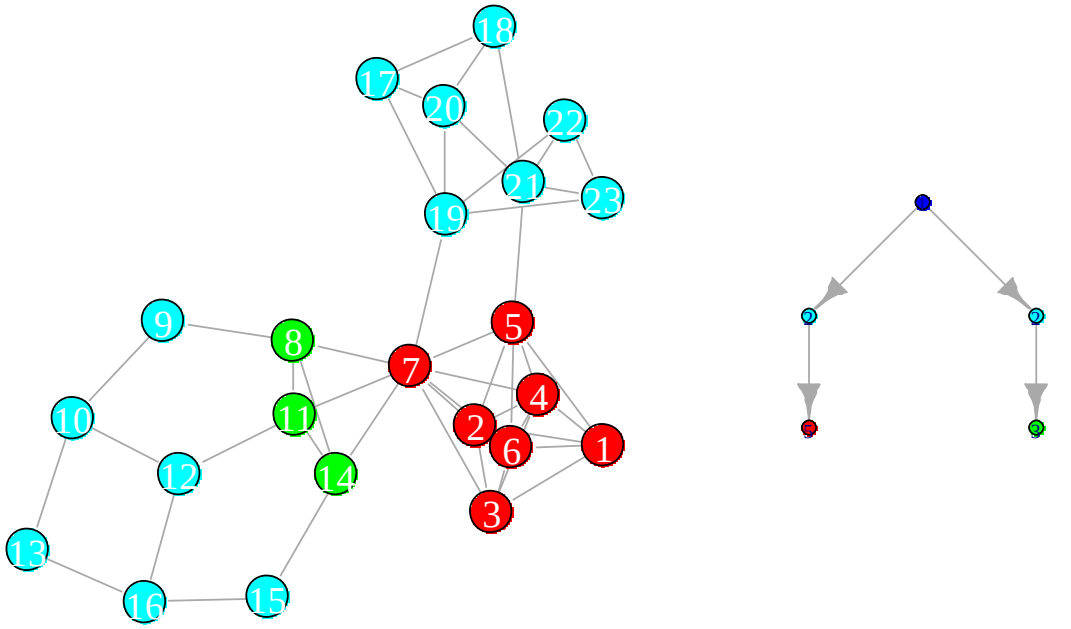
```
## Load the graph
cb <- graph( c(1,2,1,3,1,4,1,5,1,6,
               2,3,2,4,2,5,2,7,
               3,4,3,6,3,7,
               4,5,4,6,4,7,
               5,6,5,7,5,21,
               6,7,
               7,8,7,11,7,14,7,19,
               8,9,8,11,8,14,
               9,10,
               10,12,10,13,
               11,12,11,14,
               12,16, 13,16, 14,15, 15,16,
               17,18,17,19,17,20,
               18,20,18,21,
               19,20,19,22,19,23,
               20,21, 21,22,21,23,
               22,23)-1, dir=FALSE)

V(cb)$label <- seq(vcount(cb))
```

بلوک‌بندی چسبندگی (Cohesive blocking)، یک روش برای مشخص‌کردن زیرمجموعه‌های سلسله‌مراتبی گره‌های گراف، بر اساس چسبندگی‌ساختاری (یا اتصال گرهی) است. قبل از تعریف خود بلوک‌بندی چسبندگی لازم است، مفهوم دیگری را تعریف نمایم. برای گراف G، زیرمجموعه S از گره‌های گراف، maximally k-cohesive است، اگر مجموعه‌ای بزرگتر از S وجود نداشته باشد که S زیرمجموعه آن بوده و اتصال گرهی (vertex connectivity) آن بیشتر یا مساوی با k باشد (به عبارت دیگر S بزرگترین و چسبنده‌ترین جز باشد.). با توجه به تعریف فوق، بلوک‌بندی چسبندگی، فرآیندی بازگشتی است که طی آن، زیرمجموعه‌های maximally l-cohesive یک مجموعه k-cohesive بزرگتر را می‌یابیم (l > k). ساختار سلسله مراتبی هم از روی همین فرآیند (زیرمجموعه‌های چسبنده تر) به دست می‌آید.

```
blocks <- cohesive.blocks(cb)
blocks
```

نتایج بلوک‌بندی با اسکریپ زیر نمایش داده می‌شود. شکل ۲۹ ساختار سلسله مراتبی و بلوک‌های موجود را نشان می‌دهد.

```
summary(blocks)
blocks$blocks
lapply(blocks$blocks, "+", 1)
blocks$block.cohesion
plot(blocks, layout=layout.kamada.kawai, vertex.label.cex=2,
     vertex.size=15, vertex.label.color="black")
```



شکل ۲۹. ساختار بلوک‌بندی چسبندگی به دست‌آمده

۵ مراجع

[1] G. Csárdi and T. Nepusz, "igraph Reference Manual," *URL: http://igraph. sourceforge. net/documentation. html (accessed April 20, 2010)*.

[2] G. Csardi, "Large-scale network analysis," 2008.

[3] G. Csardi, "Package 'igraph'," Aug. 2010.

[4] Wikipedia contributors, "R_(programming_language)," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikimedia Foundation, 23-Jul-2011.

[5] L. Lam, *An introduction to R*. 2010.

[6] RapidIVideos, *An Introduction to the Rapidminer R Extension*. YouTube.com , 2010.

[7] A. L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, no. 5439, p. 509, 1999.

[8] T. M. J. Fruchterman and E. M. Reingold, "Graph drawing by force-directed placement," *Software- Practice and Experience*, vol. 21, no. 11, p. 1129–1164, 1991.

[9] T. Kamada and S. Kawai, "An algorithm for drawing general undirected graphs," *Information processing letters*, vol. 31, no. 1, p. 7–15, 1989.

[10] P. Erdos and A. Renyi, "On random graphs," *Publicationes mathematicae*, vol. 6, no. 290-297, p. 53–54, 1959.

[11] Wikipedia contributors, "Centrality," *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Wikimedia Foundation, 27-Jul-2011.

[12] M. E. J. Newman and M. Girvan, "Finding and evaluating community structure in networks," *Physical review E*, vol. 69, no. 2, p. 026113, 2004.

[13] A. Clauset, M. E. J. Newman, and C. Moore, "Finding community structure in very large networks," *Physical review E*, vol. 70, no. 6, p. 066111, 2004.

[14] J. Reichardt and S. Bornholdt, "Statistical mechanics of community detection," *Physical Review E*, vol. 74, no. 1, p. 016110, 2006.

[15] J. Moody and D. R. White, "Structural Cohesion and Embeddedness: A Hierarchical Concept of Social Groups," *American Sociological Review*, vol. 68, no. 1, pp. 103-127, Feb. 2003.