



بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده علوم ریاضی

# ردیابی شیوع کووید-۱۹ با مدل سازی گراف

پروژه کارشناسی

حدیث حق شناس جزئی

استاد راهنما

دکتر بهناز عمومی

مهر ۱۴۰۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات  
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه  
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

# فهرست مطالب

هفت

فهرست تصاویر

۱	فصل ۱ بیان موضوع
۱	۱-۱ بیان مسئله و اهمیت آن
۱	۲-۱ ادبیات موضوع
۳	فصل ۲ انتشار کووید-۱۹ به کمک مدل سازی گراف
۳	۱-۲ عوامل موثر بر انتشار ویروس
۳	۲-۲ ضرورت استفاده از رنگ آمیزی رأس ها
۴	۳-۲ ارائه یک نمونه از مدل سازی
۶	فصل ۳ مدل سازی نحوه انتشار کووید-۱۹ به کمک زبان برنامه نویسی پایتون
۶	۱-۳ زبان برنامه نویسی پایتون چیست؟
۶	۱-۱-۳ تعریف
۶	۲-۱-۳ تاریخچه
۷	۳-۱-۳ کتابخانه استاندارد
۸	۴-۱-۳ کتابخانه NetworkX
۸	۲-۳ طرح کلی کدنویسی مسئله و اجرای کد نهایی
۹	۱-۲-۳ تعریف گراف
۹	۲-۲-۳ انتخاب اولین فرد مبتلا
۹	۳-۲-۳ رنگی کردن رئوس
۱۰	۴-۲-۳ اجرای کد و نمایش نتیجه
۱۲	۳-۳ نتیجه گیری



## فهرست تصاویر

۴	۱-۲	گراف نمونه طراحی شده توسط حالات بالا	۴
۵	۲-۲	مدل گرافی انتشار ویروس کووید-۱۹	۵
۱۰	۱-۳	شروع بیماری با دو شخص مبتلا	۱۰
۱۰	۲-۳	افراد در معرض ابتلای لیست قرمز	۱۰
۱۱	۳-۳	مرحله سوم انتشار ویروس	۱۱
۱۱	۴-۳	مرحله چهارم انتشار ویروس	۱۱
۱۲	۵-۳	مرحله پنجم انتشار ویروس	۱۲

## چکیده:

یکی از بهترین راهبردها برای بررسی شیوع یک بیماری و به دنبال آن کاهش رشد بیماری‌های ویروسی، مدل‌سازی است. در اینجا موضوع اصلی، مدل‌سازی سیستم پیچیده انتشار ویروس کووید-۱۹ و هدف نهایی، مدل‌سازی نحوه شیوع این ویروس به کمک گراف می‌باشد. این گزارش مختصراً به چند مدل‌سازی و همچنین پیشنهاد یک مدل مفهومی از شیوع این ویروس به کمک گراف خواهد پرداخت. مدل ارائه شده با توجه به این اصل که ویروس از اولین شخص مبتلا شروع به گسترش کرده و فرد به فرد منتقل می‌شود پایه‌گذاری می‌شود و همچنین لازم به ذکر است که اهمیت مدل‌سازی شیوع ویروس به کمک گراف از آن جهت است که یک گراف رنگی با فاکتورهای متفاوتی که می‌توان روی اعضای آن (رئوس و یال‌ها) مورد بررسی قرار داد، یکی از بهترین ابزارها برای مدل‌سازی شیوع یک بیماری ویروسی است. از طرفی به کمک تجزیه و تحلیل معکوس گراف پیش‌بینی شده این امکان که بتوانیم موارد شناسایی نشده مبتلایان را تعیین و همچنین تعداد افراد در معرض ابتلا را تخمین بزنیم به وجود خواهد آمد. اهمیت مدل‌سازی شیوع کووید-۱۹ به کمک گراف از آن جایی نشأت می‌گیرد که امکانات زیادی را برای پژوهش‌های آینده و پیش‌بینی و تخمین دقیق موارد ابتلا به ارمغان خواهد آورد.



# فصل ۱

## بیان موضوع

### ۱-۱ بیان مسئله و اهمیت آن

از ۲۸ اکتبر ۲۰۲۰ شیوع سریع کووید-۱۹ باعث آلودگی تقریبی ۴۳,۸ میلیون نفر و فوت ۱,۱ میلیون نفر شد. از این رو ویروس کووید-۱۹ تهدیدی جدی برای سلامت انسان، زندگی اجتماعی و سلامت روان او است. [۸]. در این راستا، پیش‌بینی مسئله بسیار مهمی برای جلوگیری از شیوع بیماری و انجام اقدامات پیشگیرانه با در نظر گرفتن نحوه شیوع این بیماری است [۳]. مدلسازی یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای پیش‌بینی نحوه گسترش بیماری‌های ویروسی است و از آنجا که این ویروس جان میلیون‌ها نفر از انسانها را تهدید می‌کند، پیشنهاد یک مدل ریاضی مناسب و پیش‌بینی دقیق میزان شیوع و روند آن حائز اهمیت است [۴، ۵، ۶]. به علت سرعت زیاد انتقال ویروس و توجه به این نکته که تعدادی از افراد ناقلان بدون علائم این ویروس هستند، تصمیم‌گیری جهت کنترل و کاهش سرعت بیماری امری مهم و دشوار است. در نتیجه ارائه یک مدل‌سازی گسترده می‌تواند برای تعیین استراتژی‌ها و همچنین کمک به اعضای تصمیم‌گیرنده جامعه کمک شایانی کند.

هدف اصلی این پژوهش توسعه یک مدل مفهومی به کمک اطلاعات قابل دریافت از افراد جامعه است.

### ۲-۱ ادبیات موضوع

تاکنون دانشمندان و ریاضیدانان بسیاری در رابطه با این موضوع مدل‌های مختلفی را ارائه داده‌اند. این مدل‌ها به کمک رشته‌های مختلف علوم و ریاضی ارائه شده‌اند، اما نزدیک‌ترین مدلی که تا کنون برای بررسی شیوع این بیماری وجود داشته و در دسترس است توسعه مدل‌های بیماری‌های قبلی بر اساس داده‌های آماری است. این داده‌ها نه از ویروس کووید-۱۹، بلکه از ویروس آنفولانزا در دسترس بوده و در حال استفاده است. اما به دلیل ساختار متفاوت کووید-۱۹ با آنفولانزا و همچنین نحوه گسترش متفاوت آن، این مدل‌ها در پیشبرد اهداف مرتبط به کنترل این ویروس کمک چندانی به جامعه انسانی نداشتند [۸]. لازم به ذکر است که غیر از آنفولانزا، پژوهشگران از داده‌های انواع دیگری از

بیماری‌های همه‌گیر نیز استفاده کرده‌اند اما به علت ذکر شده، نتیجه‌ی مورد استناد و دقیقی حاصل نشده‌است. از این رو ارائه مدلی از کووید-۱۹ توسط ویژگی‌های منحصر به فرد این ویروس، می‌تواند کمک شایانی به بررسی نحوه شیوع بیماری داشته‌باشد [۱، ۲].

## فصل ۲

# انتشار کووید-۱۹ به کمک مدل سازی گراف

### ۱-۲ عوامل موثر بر انتشار ویروس

عوامل موثر در شیوع یک ویروس را می توان به کمک سه سؤال زیر بررسی کرد. در اینجا در ادامه سؤالات به پاسخ پرداخته ایم :

۱- یک نفر به طور متوسط چند نفر را آلوده می کند؟ ( حدود ۱,۴ الی ۲,۵ نفر)

۲- در چه شرایطی یک فرد توسط فردی دیگر آلوده خواهد شد؟ ( ارتباط بیشتر از ۱۵ دقیقه و فاصله کمتر از ۲ متر) [۷]

۳- مدت زمانی که شخصی مبتلا علائمی بروز نمی دهد چقدر می باشد؟ (به طور تقریبی ۱, ۵ روز)  
با توجه به پرسش ها و پاسخ های بالا که به کمک داده های اولیه به دست آمده اند، نتیجه می گیریم که دو فاکتور موثر در انتقال ویروس، فاصله دو شخص از یکدیگر و مدت زمان ارتباط است. دو فاکتور گفته شده را به عنوان دو فاکتور اصلی در شیوع ویروس در مدل سازی گراف در نظر خواهیم گرفت.

### ۲-۲ ضرورت استفاده از رنگ آمیزی رأس ها

اکنون سؤال اصلی برای مدل سازی توسط گراف این است که افراد جامعه را بر چه اساس می توانیم دسته بندی کنیم، تا به کاربردی ترین مدل دست پیدا کنیم؟ برای پاسخ این سؤال، از رنگ آمیزی یک گراف و ویژگی های یک گراف رنگ آمیزی شده کمک می گیریم. زمانی به رنگ آمیزی یک گراف می پردازیم که بخواهیم به یال ها و رئوس آن برجسب هایی را نسبت دهیم و از آنجا که در مبحث ارتباطات و مدلسازی ارتباطات توسط یک گراف، اکثراً رأس های یک گراف را اشخاص و یال ها را ارتباط بین دو شخص تعریف می شود، در اینجا نیز رئوس گراف را اشخاص جامعه و یال های گراف را ارتباطات بین فردی در نظر خواهیم گرفت. پس برای ارائه یک مدل گرافی برای شیوع ویروس، بهتر آن است که توجه خود را بر روی تخصیص برجسب ها بر روی رأس های گراف بگذاریم. از این رو، حالات بیماری در هر

فرد را با یک برچسب مشخص می‌نماییم. هدف آن است که با کمک برچسب‌های رنگی و در ادامه آن، رنگی کردن رئوس (که در اینجا نشانگر هر شخص است) وضعیت سلامت هر یک از آنان را مورد بررسی قرار دهیم.

حالت اول: فرد مبتلا شده است - رنگ قرمز

حالت دوم: فرد در معرض ابتلا قرار دارد - رنگ آبی

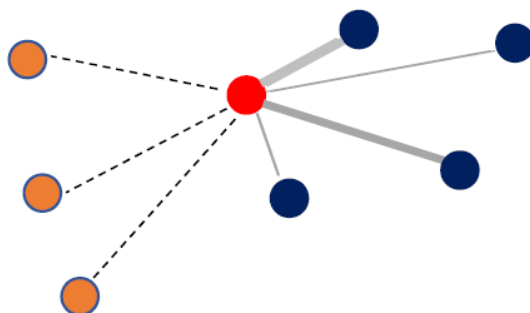
حالت سوم: فرد در حالت بستری یا قرنطینه می‌باشد - رنگ زرد

حالت چهارم: فرد بهبود یافته است - رنگ سبز

حالت پنجم: فرد در اثر ویروس فوت شده است - رنگ سیاه

حالت ششم: فرد وارد پروسه بیماری نشده است و یا بیمار شده و بهبود یافته است و امکان ابتلای مجدد را

داراست - رنگ خاکستری

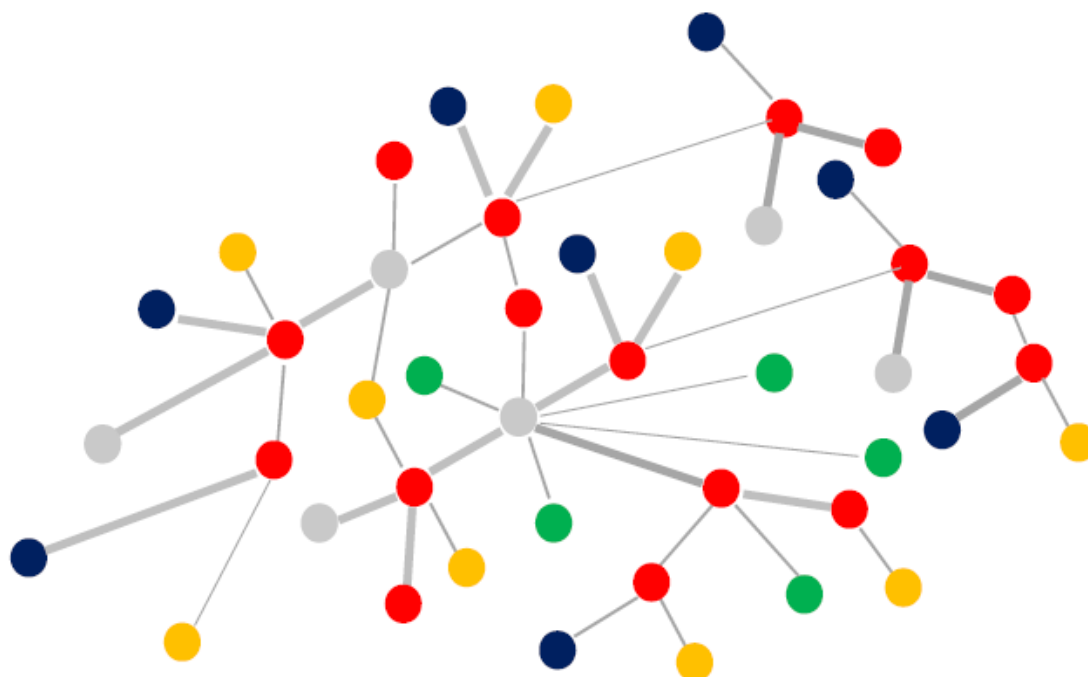


شکل ۲-۱: گراف نمونه طراحی شده توسط حالات بالا

هدف از دسته‌بندی وضعیت هر فرد به صورت بالا و استفاده از رنگ‌آمیزی رئوس این است که به غیر از آنکه رنگ‌آمیزی امکانات بیشتری به نسبت سایر مدل‌ها در اختیار ما قرار می‌دهد، امکان بررسی چندین فاکتور و نهایتاً انجام آزمایشات عددی را نیز فراهم خواهد آورد. همچنین با افزایش افراد مبتلا و در معرض ابتلا، این امکان به وجود خواهد آمد که تعدادی بیشتر رأس و یال به گراف اضافه کنیم و به کمک مشخص نمودن اولین مورد ابتلا و طی کردن پروسه بیماری به کمک ارتباطات اشخاص، روند احتمالی بیماری را مشخص نموده و از طریق آن بتوانیم پیش‌بینی از موارد کشف نشده ابتلا و تعداد افراد در معرض ابتلا داشته باشیم. پس به طور کلی کافیت برای پیش‌بینی افراد در معرض ابتلا تعداد اولیه افراد مبتلا و نحوه ارتباط آنها با سایرین و همچنین شاخصه‌های اصلی انتقال بیماری را به گراف داده و به کمک آن نتیجه نهایی را بعد از گذشت زمانی مشخص دریافت کنیم.

## ۲-۳ ارائه یک نمونه از مدل سازی

در شکل زیر مدل گراف پیشنهادی افراد آورده شده است. این گراف نمونه‌ای از افراد یک جامعه کوچک می‌باشد که وضعیت ابتلا و بهبودی افراد پس از گذشت چندین روز مدل سازی شده است.



شکل ۲-۲: مدل گرافی انتشار ویروس کووید-۱۹

همانطور که در گراف مشخص است افراد جامعه به پنج دسته اصلی تقسیم شده اند و تحت تأثیر ویروس، در حالت ابتلا، در معرض ابتلا، در بیمارستان و قرنطینه، در حالت بهبود و یا فوت شده اند. همانطور که مشخص است این گراف نمونه کوچک از یک جامعه را ارائه می دهد و در اینجا می بینیم که در مدل گرافی رنگ آمیزی شده، نحوه ارتباط افراد و وضعیت بیماری آنها و همچنین تعداد افراد مبتلا یا در معرض ابتلا را به خوبی مشخص است.

## فصل ۳

# مدل سازی نحوه انتشار کووید-۱۹ به کمک

## زبان برنامه نویسی پایتون

### ۱-۳ زبان برنامه نویسی پایتون چیست؟

#### ۱-۱-۳ تعریف

پایتون یک زبان برنامه نویسی چند الگویی است که توسط خیدو فان روسوم اولین بار در سال ۱۹۹۱ منتشر شده است. فلسفه اصلی طراحی پایتون "خوانایی بالای کد" و "کاراکترهای فاصله" برای معناداری به کدها است. ساختار زبانی و الگوی شی گرای پایتون به گونه ای طراحی شده است که به برنامه نویسان مبتدی تا پیشرفته امکان نوشتن کدهای منطقی قابل فهم و بدون ابهام را برای پروژه های کوچک و بزرگ می دهد. کلمات کلیدی و اصلی این زبان به صورت حداقلی تهیه شده اند و از طرفی پایتون کتابخانه هایی دارد که در اختیار کاربران خود قرار داده و بسیار وسیع می باشند. بر خلاف بعضی زبان های برنامه نویسی رایج دیگر، که بلاک های کد در آکولاد تعریف می شوند (مانند زبان C و ++C) در زبان پایتون از "کاراکتر فاصله" و "جلو بردن متن برنامه به مقدار مشخص" برای مشخص کردن بلاک های کد استفاده می شود. به این معنا که تعدادی یکسان از کاراکتر فاصله در ابتدای سطرهای هر بلاک قرار می گیرند و این تعداد، در بلاک های کد درونی افزایش می یابند (معمولاً تعریف هر بلاک با چهار کاراکتر فاصله از ابتدای سطر تعریف می شود) به این ترتیب بلاک های کد به صورت خودکار ظاهری مرتب خواهند داشت.

#### ۲-۱-۳ تاریخچه

پایتون اولین بار، اواخر دهه ۱۹۸۰ در موسسه ملی تحقیقات ریاضی و رایانه در کشور هلند شد در آن زمان هدف خیدو از توسعه پایتون ایجاد یک جانشین برای زبان برنامه نویسی ای بی اس بود. پیاده سازی پایتون در دسامبر ۱۹۸۹ آغاز شد و پس از آن پایتون ۲،۰ در ۱۶ اکتبر ۲۰۰۰ با ویژگی های مهم و جدید بسیاری منتشر شد که شامل بازیافت

حافظه با قابلیت شناسایی دور و پشتیبانی از یونیکود بود. پایتون ۳ در ۳ دسامبر ۲۰۰۸ منتشر شد. این نسخه بازنویسی عمده‌ای از نسخه قبل بود که سازگاری عقب رو را شکسته بود (سازگاری عقب رو به نوعی از سازگاری برنامه با کدهای تعریف شده قبلی است به طوری که توانایی خواندن، مشاهده کردن یا پخش استانداردها و قالب‌های پیش از خود را هم داشته باشد). اما نسخه‌های منتشر شده از پایتون ۳ ابزاری دارند که کار ترجمه کد پایتون ۲ به پایتون ۳ را تا حدودی انجام می‌دهند. در سال ۲۰۱۵ مقرر شد که نسخه‌های پایتون ۲،۷ تنها تا سال ۲۰۲۰ پشتیبانی خواهند شد و لذا در سال ۲۰۲۰ آخرین سری پایتون یعنی ۲،۷،۱۸ منتشر شد و پشتیبانی از سری ۲ پایتون به پایان رسید.

### ۳-۱-۳ کتابخانه استاندارد

پایتون یک کتابخانه استاندارد بزرگ دارد که از آن به عنوان یکی از بزرگترین توانایی پایتون یاد می‌شود. ماژول‌های کتابخانه استاندارد می‌توانند به شیوه ماژول‌های نوشته شده در C یا پایتون آرگومان دهی شوند. اخیراً به منظور ایجاد قابلیت همکاری بین ++C و پایتون، کتابخانه‌های ++C به یک کتابخانه به عنوان Boost.Python رشد یافته است. به دلیل تنوع گسترده در ابزارهای تولید شده توسط کتابخانه استاندارد و توانایی استفاده و ترکیب با یک زبان سطح پایین مانند C و ++C پایتون می‌تواند یک واسطه قوی بین زبان‌ها و ابزارها باشد. همچنین پایتون ماژول‌هایی برای ایجاد واسط کاربری گرافیکی، اتصال به پایگاه داده رابطه‌ای، تولید اعداد شبه تصادفی، محاسبات با دقت دلخواه اعشاری و دست کاری عبارات با قاعده و آزمایش واحد دارد. در نوامبر ۲۰۱۹ اعلام شد که مخزن رسمی نرم افزارهای شخص سوم پایتون بیش از ۲۰۰ هزار پکیج دارد. این پکیج‌ها در زمینه‌های گوناگونی کاربر دارند:

پایگاه داده

آنالیز داده

شبکه

محاسبه علمی

پردازش تصویری

پردازش متن

رابط کاربری گرافیکی

اپ موبایل

یادگیری ماشین

چارچوب‌های نرم افزاری تحت وب

ابزار تست نرم افزارها

سند پردازی

در این بین به منظور مدل سازی نحوه انتشار ویروس کووید-۱۹ از پکیج NetworkX که در زمینه شبکه است، استفاده خواهیم کرد.

### ۳-۱-۴ کتابخانه NetworkX

شبکه‌ها امروزه بخش مهمی از زندگی روزمره انسان‌ها شده‌اند. شبکه‌ها در همه جا هستند؛ شبکه جاده‌ها، شبکه دوستان و دنبال‌کنندگان در شبکه‌های اجتماعی، شبکه همکاران، شبکه دانشجویان و اساتید، شبکه انتشار بیماری از شخصی به شخص دیگر، تنها بخشی از انواع شبکه‌هایی هستند که در اطراف ما وجود دارد. توانایی تحلیل شبکه‌ها و تصمیم‌گیری‌های اطلاعات محور، مهارت تحلیلگران داده می‌باشد و از اهمیت بسیاری برخوردار است. NetworkX یک کتابخانه‌ی پایتون برای مطالعه ساختار و توابع شبکه‌های پیچیده است و از آن برای توسعه و تحلیل انواع شبکه استفاده می‌شود. تعدادی از امکانات این کتابخانه در زیر آورده شده است:

ساختار داده‌ها برای نمودارها و گراف‌ها

انواع الگوریتم‌های مربوط به گراف

ساختار شبکه و آنالیز مقادیر آن

تعریف گره‌ها و یال‌ها به صورت متن، عدد یا تصویر

توانایی ساخت نمونه اولیه سریع و آسان

برای مدل‌سازی این مسئله ما از قابلیت تعریف گراف و ارتباطات شبکه گراف، در Networkx استفاده خواهیم

کرد.

### ۳-۲ طرح کلی کدنویسی مسئله و اجرای کد نهایی

برای مدل‌سازی نحوه انتشار ویروس لازم است که گرافی تعریف کنیم که گویای شبکه ارتباطی اشخاص جامعه هدف باشد؛ سپس با قراردادن افراد به عنوان رئوس گراف و توصیف ارتباط افراد به عنوان یال‌های گراف، تعریف گراف را کامل کرده و آنگاه با در نظر گرفتن رنگ‌ها به عنوان مراحل بیماری نحوه انتشار ویروس را با مبتلا شدن اولین و دومین فرد به طور تصادفی دنبال خواهیم کرد. در این راستا لازم به ذکر است که بدانیم هر فرد مبتلا با توجه به عکس فصل ۲ افرادی که در پیرامون خود قرار دارد را در معرض ابتلا قرار خواهد داد و به این صورت ویروس انتشار می‌یابد. ابتدا برای شروع برنامه لازم است که چند سری کتابخانه را در محیط پایتون فراخوانی کنیم. این کتابخانه‌ها قابلیت دسترسی به انواع کدهای مورد نیاز در این برنامه را به ما می‌دهند. کتابخانه‌های مورد نیاز به شرح زیر است:

Networkx

Matplotlib

Numpy

Random



### ۳-۲-۱ تعریف گراف

اکنون نیاز است که گراف تصادفی جامعه هدف را تعریف کنیم. از این رو تعریف این گراف را با عدد  $n$  به عنوان تعداد افراد جامعه یا شبکه شروع می‌کنیم. سپس به تعداد افراد جامعه، لیستی از اعداد سه رقمی به عنوان رشته تولید خواهیم کرد. این لیست مانند شماره ملی افراد است لذا هر فرد، شماره مخصوص به خود را دارد. همانطور که شماره ملی افراد تکراری نیست، شماره‌ای که به هر فرد اختصاص می‌یابد نیز فاقد تکرار می‌باشد. برای تولید و نسبت‌دهی این شماره‌ها به افراد جامعه از کتابخانه "random" استفاده می‌کنیم. حالا یک لیست داریم که هر عضو آن نماینده هر شخص از جامعه و لذا به اندازه  $n$  است. پس لیست را به رئوس گراف نسبت می‌دهیم. برای کشیدن یال‌ها مجدداً به کمک کتابخانه "random" عددی با احتمال بین  $0/35$  تا  $0/45$  انتخاب می‌کنیم. سپس برای عدد انتخابی دو کران پایین و بالا برای تعداد یال‌ها انتخاب می‌کنیم و به تعداد یال‌ها به طور تصادفی از لیست رئوس برداشته و هر دو رأس تصادفی پشت سر هم انتخاب شده را، به عنوان یک یال معرفی می‌کنیم و به مجموعه یال‌های گراف می‌افزاییم.

### ۳-۲-۲ انتخاب اولین فرد مبتلا

در این قسمت لازم است که از مجموعه رئوس گراف، دو رأس را به طور تصادفی انتخاب کرده و آن را در لیست افراد مبتلای اولیه (لیست قرمز) قرار دهیم. حال باید افرادی که در ارتباط نزدیک با این افراد قرار دارند و به عبارتی همسایه‌های رئوس مبتلا را شناسایی کرده و در لیست افراد در معرض ابتلا (لیست آبی) قرار دهیم. همچنین ذکر این نکته الزامی است که برای این که شخصی که در لیست اول حضور دارد، وارد لیست دوم نشود نیاز داریم که در هر مرحله با تولید لیست‌های جدید، هر لیست را از حضور افراد لیست‌های دیگر پاکسازی نماییم. به همین صورت لیست افراد مبتلا، لیست افراد در معرض ابتلا را تولید کرده و در ادامه آن با تحت درمان قرار گرفتن افراد مبتلا این لیست به لیست تحت درمان تبدیل شده و لذا لیست افراد در معرض ابتلا به لیست افراد مبتلا تبدیل شده و همسایه‌های افراد در معرض ابتلا به لیست افراد در معرض ابتلا تبدیل خواهد شد. به همین صورت لیست‌های جدید تولید شده و لیست‌ها از حالت در معرض ابتلا به حالت مبتلا و سپس تحت درمان و سپس بهبود یافته و یا فوت شده تبدیل می‌شوند؛ و در ادامه آن فرد بهبود یافته به حالت خنثی در جامعه برمی‌گردد. به ترتیب این لیست‌ها را به رئوس رنگی به رنگ‌های قرمز، آبی، زرد، سبز، سیاه و خاکستری نسبت داده‌ایم.

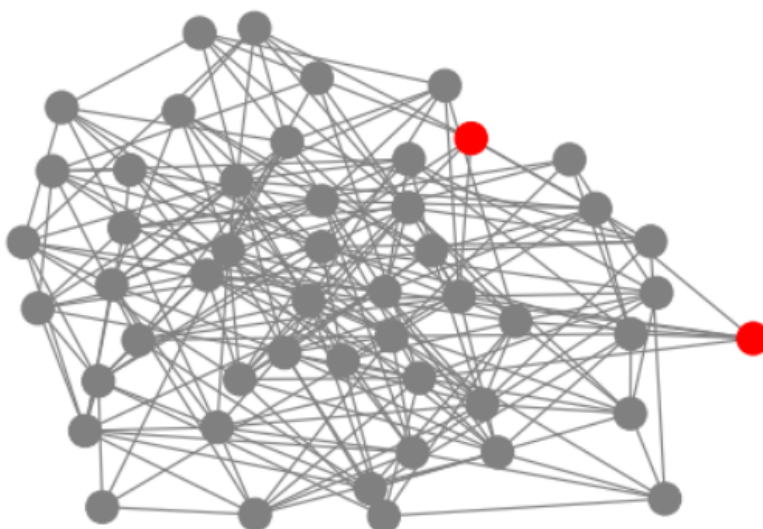
### ۳-۲-۳ رنگی کردن رئوس

جهت اختصاص پیدا کردن رنگ مورد نیاز به رئوس هدف، در هر مرحله حلقه ایجاد می‌کنیم. در این حلقه با قرار دادن شرط‌های مکرر در رئوس گراف پیمایش خواهیم کرد. این شرط‌ها به این صورت می‌باشند که اگر رأس مورد نظر به عنوان مثال، در مرحله دوم انتشار ویروس، در لیست افراد در معرض ابتلا باشد، لیست رنگی اختصاص یافته به گراف، رنگ آبی تولید می‌کند و اگر رأس مورد نظر در لیست افراد مبتلا باشد لیست رنگی، رنگ قرمز تولید می‌کند و در غیر اینصورت رنگ خاکستری را به رئوس نسبت خواهد داد. به همین صورت برای پیشرفت انتشار ویروس در هر گراف لیست رنگی تولید می‌کنیم و لیست‌های جدید افراد در معرض ابتلا را، از حضور دیگر افراد موجود در لیست‌های

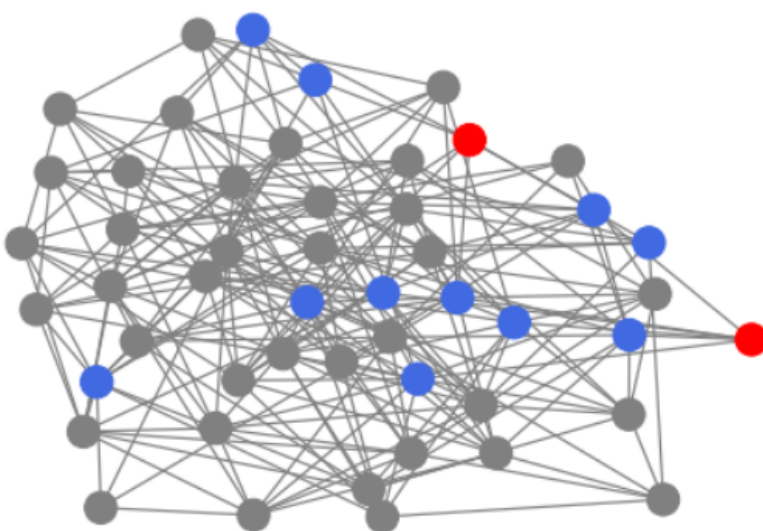
قبل از پاکسازی می‌کنیم. در این صورت نهایتاً گراف‌های رنگی خواهیم داشت که شامل رنگ‌های مختلف برای تشریح وضعیت بیماری هر فرد در هر مرحله می‌باشد. نتیجه کد بالا را در بخش بعدی گردآوری کرده‌ایم.

### ۴-۲-۳ اجرای کد و نمایش نتیجه

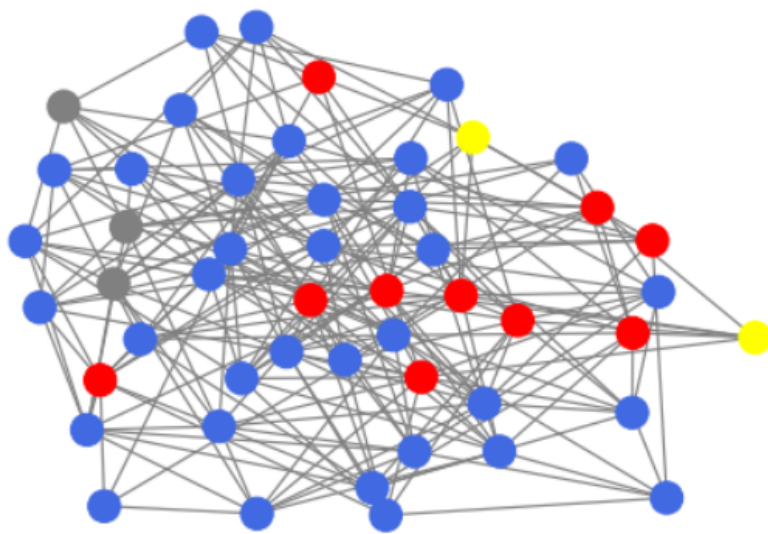
در بخش قبل به طور مفصل به توضیح کد پرداختیم. در این بخش نتیجه حاصل شده از اجرای کد به صورت تصاویری از گراف جامعه هدف در هر مرحله گردآوری شده‌است. تفاوت هر تصویر با تصویر بعدی، جهش انتشار ویروس از هر فرد به فرد دیگر است.



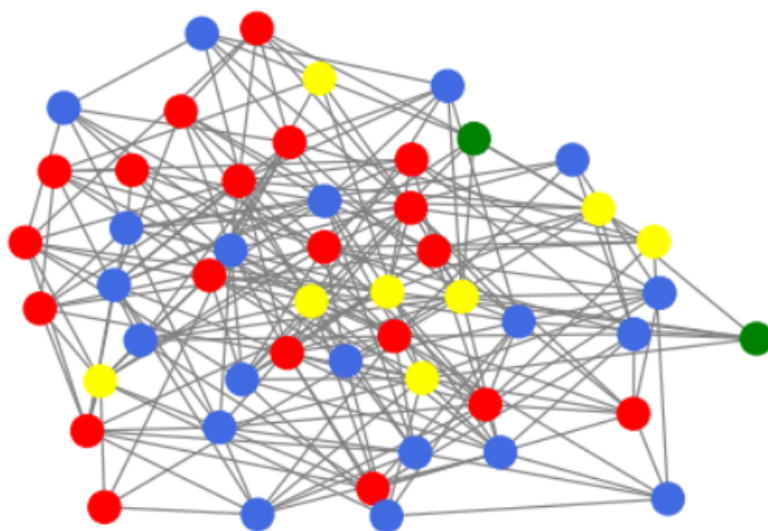
شکل ۳-۱: شروع بیماری با دو شخص مبتلا



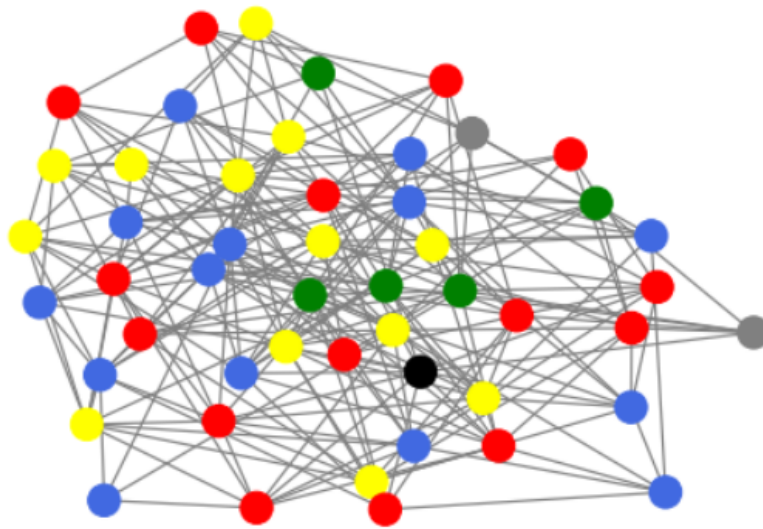
شکل ۳-۲: افراد در معرض ابتلای لیست قرمز



شکل ۳-۳: مرحله سوم انتشار ویروس



شکل ۳-۴: مرحله چهارم انتشار ویروس



شکل ۳-۵: مرحله پنجم انتشار ویروس

### ۳-۳ نتیجه‌گیری

با توجه به نتیجه‌کد و نحوه انتشار ویروس در می‌یابیم که در یک جامعه با تنها ۲ فرد مبتلا و احتمال ارتباطات بین فردی بین ۳۵ تا ۴۵ درصد پس از چند روز کل جامعه درگیر ویروس به طور گسترده خواهد شد لذا بهترین پیشگیری جهت جلوگیری از انتشار بیشتر ویروس کم کردن ارتباطات بین فردی و در صورت امکان قرنطینه شدن افراد می‌باشد. در این صورت گراف حاصل از جامعه به یک گراف که هر راس آن ایزوله می‌باشد تبدیل خواهد شد و انتشار ویروس متوقف می‌گردد. با امید آن روزی که تمامی افراد جهان سلامت خود را بازیابند.

# مراجع

- [١] Alguliyev, R., Aliguliyev, R., and Yusifov, F., Graph modelling for tracking the covid-19 pandemic spread. *Infectious Disease Modelling*, 6:112–122, 2021. ٢
- [٢] Chen, T.-M., Rui, J., Wang, Q.-P., Zhao, Z.-Y., Cui, J.-A., and Yin, L., A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus. *Infectious diseases of poverty*, 9(1):1–8, 2020. ٢
- [٣] Currie, C. S., Fowler, J. W., Kotiadis, K., Monks, T., Onggo, B. S., Robertson, D. A., and Tako, A. A., How simulation modelling can help reduce the impact of covid-19. *Journal of Simulation*, 14(2):83–97, 2020. ١
- [٤] Ivorra, B., Ferrández, M. R., Vela-Pérez, M., and Ramos, A. M., Mathematical modeling of the spread of the coronavirus disease 2019 (covid-19) taking into account the undetected infections. the case of china. *Communications in nonlinear science and numerical simulation*, 88:105303, 2020. ١
- [٥] Kristiansen, I. S., Burger, E. A., and De Blasio, B. F., Covid-19: Simulation models for epidemics. *Tidsskrift for Den norske legeforening*, 2020. ١
- [٦] Sameni, R., Mathematical modeling of epidemic diseases; a case study of the covid-19 coronavirus. *arXiv preprint arXiv:2003.11371*, 2020. ١
- [٧] Tracing, C., Public health management of persons, including healthcare workers, having had contact with covid-19 cases in the european union—second update. stockholm, sweden: European centre for disease prevention and control; 2020. *ECDC. Available from: <https://www.ecdc.europa.eu/en/covid-19-contact-tracing-public-health-management> [Last accessed on 2020 May 20]*[Google Scholar], 2020. ٣
- [٨] World Health Organization, . et al., Statement on the second meeting of the international health regulations (2005) emergency committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-ncov). 2020. ١