



بررسی شرایط مهار بیماری کرونا براساس مدل پویایی شناسی همه گیری آن در ایران

بهنام عزیزی: دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
عباس سیفی: استاد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران (* نویسنده مسئول) aseifi@aut.ac.ir

چکیده

کلیدواژه‌ها

بیماری کرونا،
مدل‌سازی پویاشناسی سیستم،
شرایط مهار،
اقدامات کنترلی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۲۰

تاریخ چاپ: ۹۹/۰۸/۱۹

زمینه و هدف: بیماری‌های واگیردار با اثری که بر سلامت جسمی و روانی و همچنین شاخص‌های اقتصادی در جوامع دارند بسیار حائز اهمیت هستند. شناخت نحوه شیوع و پویایی انتشار ویروس در جامعه جهت اتخاذ تصمیمات صحیح و به موقع حیاتی است.

روش کار: رویکرد پویایی شناسی سیستم (System Dynamics) یک روش مناسب و علمی برای مدلسازی و مطالعه رفتار شیوع این نوع همه‌گیری هاست. مطالعات زیادی در مورد بیماری‌های واگیردار در ادبیات همه‌گیری شناسی وجود دارد اما در مورد ویروس کرونا، سابقه بررسی و مدل سازی رفتار شیوع آن در ایران چندان به چشم نمی‌خورد. در این مطالعه، علاوه بر بررسی شرایط ایران به طور خاص، یک مدل جدید SEIR (Susceptible, Exposed, Infectious, or Recovered) شامل جداسازی جمعیت مستعد، شناسایی و قرنطینه افراد آلوده و نقش اطلاع رسانی در شیوع بیماری ارائه شده است.

یافته‌ها: یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این مطالعه آن است که شرایط اصلی مهار شیوع بیماری بر حسب میزان تست و قرنطینه و نرخ تماس در اثر رعایت نکات بهداشتی بدست می‌آید که در صورت رسیدن به آن شرایط و البته حفظ آن، دیگر نباید نگران بروز موج‌های بعدی شیوع بیماری بود.

نتیجه‌گیری: همچنین جداسازی جمعیت مستعد در مهار بیماری یک ابزار کمکی جهت رسیدن به شرایط مذکور محسوب شده و به تنهایی ناکافی است.

تعارض منافع: گزارش نشده است.
منبع حمایت کننده: حامی مالی نداشته است.

شیوه استناد به این مقاله:

Azizi B, Seifi A. A system dynamics model of COVID-19 epidemic in Iran and controlling measures. Razi J Med Sci. 2020;27(8):115-128.

*انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است.



Original Article

A system dynamics model of COVID-19 epidemic in Iran and controlling measures

Behnam Azizi: PhD Student, Amirkabir University of Technology, Tehran Iran

Abbas Seifi: Professor, Amirkabir University of Technology, Tehran Iran (*Corresponding author) aseifi@aut.ac.ir

Abstract

Infectious diseases significantly distress the physical and mental health as well as economic conditions of the societies. Understanding how a virus spreads, especially the dynamics of an epidemic is critical in order to make proper decisions and take proper measures. System dynamics approach is a scientific and appropriate method for modeling and studying the behavior of epidemics. There are many studies on system dynamics modeling of infectious diseases in the literature. However, in case of Coronavirus, there are few extensive studies on the behavior of this outbreak especially calibrated to the actual situation in a specific region. In this study, we develop an SEIR model of Covid-19 epidemic in Iran that is actually calibrated to the real data. More Importantly Most of the previous studies are focused only on projecting the number of infected people and deaths. In this study, in addition to projecting the simulation results under different scenarios, sensitivity analysis of the influential parameters are performed. Also studying the effect of quarantine measure for patients on the results and isolating the susceptible population as two different yet indirectly connected sections is not largely considered in previous studies. The developed model in this study includes Susceptible and Exposed population, identification and quarantine of infected individuals, number of Recovered cases and Deaths. The effect of asymptomatic infected people has been included as well. The quarantine itself has been expressed by several sub-variables such as required time for a person to be quarantined, the percentage of the infected who are quarantined (testing capabilities) and the efficiency of the process. There is a same decomposition for other variables such as Isolation of susceptible population and contact rate. Contact rate is defined by sub-variables: media impact, initial contact rate and a slope which determines the increase in contact rate based on the population density. The media Impact also starts at a minimum level and gradually reaches its maximum. This definition demonstrates the gradual growth in public awareness which improves the hygiene and social distancing commitment among the individuals. Isolation process is highly depended on economic pressure. As isolation period last longer, the more resources are required to keep people fed and healthy in isolation. A simple variable to illustrate the economic pressure is defined which based on an assumed function table limits the isolation duration and percentage of the healthy people who remain isolated. Although this relationship requires more research to indicates the economic impact more accurately it is still useful and enough in order to demonstrate a limitation for isolation process. After developing the model, it is validated through applying it for a previous real epidemic situation of H1N1 and the results are valid. Also, running the model in extreme conditions returns the expected results. It is assumed that infectivity of the virus is constant (the virus does not mutate during the period of the study) so that through a calibration process it can be obtained based on other parameters. The asymptomatic rate (the percent of people who get exposed to the infection but do not develop any symptoms) and the incubation period (average required time for a person from getting exposed to infection until developing the symptoms) are also assumed constant. After validating the model, it is used to study the spread of Covid-19 in Iran and is calibrated to official data. This stage generates a basic simulation in which the results for target variables produce real data pattern and numbers. As the official data are usually lower than the real cases, a variable to introduce the official data is considered. The official data is

Keywords

COVID-19 epidemic,
System dynamics model,
Controlling measures

Received: 10/08/2020

Published: 09/11/2020

a portion of the real data and this portion is a given value for the model. Having the basic calibrated model, developing scenarios and performing sensitivity analysis is the next stage. In particular, we study the impacts of people isolation as well as media, quarantine rate and other given variables on spread of the virus. We investigate and advise the required conditions for controlling the spread of the disease mainly based on the testing capabilities and quarantine of the infected people and contact rate. This study includes several sensitivity analysis for important target variables such as number of daily deaths, total deaths, daily new infected, total infected, required hospital beds and ICU rooms. This analysis is based on changes in entry factors such as quarantine of patients, contact rate, media impact, asymptomatic rate, averaged required time for quarantine, recovery time, isolation of susceptible population and quarantine efficiency. The results show that total number of death and infected are highly sensitive to changes in two key factors: Quarantine of patients and contact rate. The sensitivity of mentioned target variables to isolation of susceptible population, however, is considerably less than those two key factors. We developed several scenarios with different values of isolation rate while other variables are constant. The results indicate that in absence of either reliable quarantine measure or desired contact rate level, isolating the susceptible population will only lead to continues oscillation in the target variables unless the isolation remains for a very long time. However, in scenarios where the quarantine rate or contact rate or both are below the desired level the sensitivity of deaths or infected to isolation rate is higher. Therefore, Isolation could help in providing time for applying proper quarantine measures or to reduce contact rate to desired level. These results indicate the priority level of launching the controlling measures. Also, through performing the sensitivity analysis a minimum level of quarantine rate is obtained. The results show a required contact rate level as well. In fact for both contact rate and quarantine, a lower level than the minimum level will cause the epidemic to get out of control. Another important outcome of the study is an important guidance about the contact rate controlling policy. The results show that the contact rate should be sustained at a desired level through media and public awareness. Most models link the contact rate to the daily deaths or total deaths. We developed two scenarios where in the first one contact rate is controlled by policy making and media and in the other one it is defined based on the feedback of number of deaths. The results show that in the latter the outbreak goes out of control and takes a very long time while in the first scenario it will be controlled in an acceptable time. Therefore, although this is true that practically feedbacks from deaths influences the contact rate, the model shows that if this behavior remains uncontrolled, the epidemic will not be controlled. In a third combined scenario the results show by securing the required contact rate through public awareness and media, feedbacks from deaths could be helpful for policy makers to control the outbreak even faster. Therefore, through performing several sensitivity analysis and developing different scenarios, controlling conditions for the epidemic are obtained. There are two main requirements: first a proper testing and quarantine practice in which more than 87 percent of infected are identified and quarantined within a day and a quarantine efficiency level more than 95 percent. Secondly, contact rate must be level downed and sustained at least to the desired level through media and policy making. This is especially important because reaching and sustaining these conditions will suppress the disease and prevent the next waves of the outbreak.

Conflicts of interest: None

Funding: None

Cite this article as:

Azizi B, Seifi A. A system dynamics model of COVID-19 epidemic in Iran and controlling measures. Razi J Med Sci. 2020;27(8):115-128.

***This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence.**

مقدمه

تأثیر بیماری های واگیردار در اقتصاد و سلامت روان و جسم افراد در جوامع بسیار حائز اهمیت است. بسیاری از جوامع نیازمند شناخت رفتار سیستم در شیوع بیماری ها به منظور مقابله و برنامه ریزی مناسب می باشند. مخصوصاً شناخت پویایی رفتار شیوع به منظور آمادگی سامانه های سلامت، تجهیزات و کادر درمانی بسیار مهم است (۱). آمادگی سیستم های درمانی و پاسخ متناسب در راستای کاهش اثر نامطلوب شیوع بیماری بسیار وابسته به آگاهی دقیق از رفتار شیوع بیماری است. حتی برای کشورهایی که از وضعیت مطلوبی در بهداشت و درمان هستند، ممکن است در مواجهه با شیوع بیماری در صورتی که از رفتار شیوع شناخت کافی نداشته باشند دچار کمبود شوند. به عنوان مثال کره جنوبی در هنگام شیوع بیماری سارس در سال ۲۰۱۵ از وضعیت بسیار خوبی برخوردار بود (۲) با این وجود در مواجهه با بیماری دچار کمبودها و مشکلاتی شد (۳). استفاده از مدل های ریاضی و شبیه سازی در سال های اخیر کمک بسیاری به شناخت رفتار سیستم شیوع بیماری ها کرده است. این شناخت در به کارگیری روشهای مناسب در برخورد با شیوع بیماری ها بسیار موثر بوده است (۴). استفاده از تحلیل پویایی سیستم یک روش بسیار کارآمد و شناخته شده برای مطالعه رفتار سیستم در شیوع بیماری ها است (۵). روش مدلسازی در پویاشناسی سیستم برای بررسی مسائل حوزه سلامت و پیچیدگی و پیش بینی رفتار سیستمی بسیار مناسب است. امکان استفاده از بازخوردها و تهیه سناریوها و بررسی حساسیت سیستم به پارامترها از دلایل مهم کارآمدی این ابزار هستند (۶). به طور طبیعی بسیاری از مدل ها بر اساس مدل های SIR (مستعد، مبتلا، بهبود) هستند که در آن ها بیماران مبتلا می شوند و پس از یک دوره نهان علامت ها ظاهر می شود و سپس تحت درمان قرار می گیرند. در این مدل ها بیماری در دوره نهان منتقل می شود. این در حالی است که برخی از بیماری ها مخصوصاً بیماری های اخیر از جمله سارس و کرونا جدید، بیماری پس از طی دوره نهان ظاهر می شود و در دوره نهان بیمار به ندرت ناقل است. برای این دسته از بیماری ها لازم است مدل های SIR

بررسی مجدد شوند و بر این اساس مدل هایی که ابتدا و ناقل بودن را تفکیک می کنند (SEIR Models) توسعه یابند (۷). از طرفی مدلسازی بیماری های واگیردار به داده های صحیح و به روز نیاز دارد و لازم است که مدل ها بر اساس یافته های صحیح در طول زمان به روز شوند. دلیل این موضوع مبهم بودن داده های مهمی مانند دوره نهان بیماری و زمان لازم برای بهبود است (۸). بررسی شیوع Covid-19 به دلیل تازه بودن شیوع و عدم قطعیت بالا در داده ها بسیار مشکل است. با این حال انجام مطالعات به روز بر اساس داده ها همچنان لازم و بسیار مفید است. به عنوان مثال می توان نقش مطالعات به روز در اعمال اقدامات کنترلی در ووهان چین و قرنطینه که موجب کاهش قابل توجه شیوع بیماری Covid-19 گردید، اشاره کرد (۹). در مورد انتشار ویروس کرونای جدید، با توجه به اینکه بیماری هنوز در حال انتشار است بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه بررسی شیوع و برآورد نتایج آن در فاز اولیه هستند. علی الخصوص در ایران که تعداد مقالات نیز محدود است. در یک تحقیق که به وسیله محققان دانشگاه MIT و دانشگاه Virginia Tech انجام شده است، نحوه گسترش بیماری و برآورد نتایج از طریق مدلسازی پویاشناسی سیستم بررسی شده است. محققان در این تحقیق اشاره می کنند که برآورد برخی از پارامترهای ورودی مشکل بوده و مبتنی بر فرضیات بیان شده است (۱۰). همچنین در یک تحقیق دیگر محققان از دانشگاه صنعتی شریف نیز نحوه شیوع بیماری را با سناریوهای مختلف از طریق مدلسازی پویاشناسی سیستم بررسی و نتایج را ارائه کردند. در این تحقیق نیز اشاره شده است که نتایج بر اساس پارامترهای تایید نشده می باشد که لازم است با مطالعات میدانی به روز رسانی شوند (۱۱). در مطالعات دیگر نیز غالباً کالبراسیون مدل ها با داده های موجود از معضلات عنوان شده می باشد (۱۲). استفاده از داده های رسمی با در نظر گرفتن درصد خطا یک راه مناسب برای کالبراسیون مدل ریاضی می باشد (۱۳). در مدلسازی شیوع در بسیاری از تحقیقات انجام شده تفکیک اقدامات کنترلی از جمله قرنطینه بیماران و جداسازی جمعیت چندان به چشم نمی خورد. در این مطالعه بر اساس مدلسازی

بیماران با وضعیت متوسط یا شدت کم بیماری این زمان ها در بیمارستان یا غیر از بیمارستان تقریباً یکسان است و دوره بهبود طولانی تر از دوره مرگ است. دوره بهبودی بین یک تا سه هفته متغیر گزارش شده است که برای بیماران بد حال، نزدیک به یک ماه از آغاز زمان بیماری تا مرگ یا بهبود طول می کشد. همچنین برای بیماران با علائم خفیف هنوز اطلاعات دقیقی در دسترس نیست اما تا کنون بررسی ها نشان داده است که بیماری به طور متوسط ۱۴ روز از آغاز ظهور علائم تا حصول نتیجه به طول می انجامد (۱۶) و (۱۷). با توجه به عدم قطعیت بالای این پارامترها و عدم وجود مطالعات دقیق (هنوز بیماری تمام نشده است)، در حال حاضر از میانگین استفاده می شود.

توسعه مدل و تحلیل حساسیت: در ادامه در بخش دوم پس از جمع آوری داده ها مدل پویاشناسی سیستم بر اساس مدل های SEIR ایجاد شده و از نرم افزار Vensim برای اجرای آن استفاده می شود. داده می شود که این مدل پس از اعتبارسنجی مطابق با داده های رسمی کالبره شده و با توسعه سناریوهای مختلف تحلیل حساسیت برای پارامترهای ورودی اجرا می شود. در اجرای تحلیل حساسیت با بررسی مقادیر متغیرهای هدف نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی، حساسیت مدل به این متغیرهای ورودی بررسی می گردد. بدیهی است در حالات ترکیبی (تغییر همزمان چند متغیر) ممکن است این حساسیت نیز تغییر یابد که تاثیری در نتیجه اصلی برای بررسی متغیر ورودی مورد نظر به طور خاص ندارد. از طرفی از آنجایی که نشان دادن تاثیر تغییر در متغیرهای ورودی بر همه نرخ ها و انباشت های هدف در این مجال نمی گنجد، در هر بخش تنها تاثیر تغییرات بر دو انباشت یا نرخ هدف بررسی می گردد. از طرفی با توجه به ساختار مدل انباشت های نهایی متفاوت الگوی مشابه به هم دارند که این موضوع برای انباشت های میانی و نرخ های مرتبط با آن صادق است. بنابراین جهت آشنایی بیشتر خواننده با تغییرات بیشتر انباشت ها و نرخ های مدل، ممکن است از پارامترهای هدف متفاوتی برای تحلیل حساسیت مدل به پارامترهای ورودی استفاده شود.

پویاشناسی سیستم یک مدل SEIR مناسب برای شرایط فعلی ایران شامل اقدامات کنترلی از جمله جداسازی جمعیت سالم، شناسایی و قرنطینه بیماران و نقش اطلاع رسانی و آموزش با کالبراسیون بر اساس داده های موجود جهت بررسی شیوع ویروس Covid-19 ایجاد می شود.

روش کار

داده ها: از آنجایی که هنوز در سراسر جهان بیماری در حال انتشار است، برای بدست آوردن داده های اولیه ی مدل از قبیل نرخ بیماری زایی، دوره نهان بیماری، دوره بهبود بیماری، زمان بین ظهور علائم تا مرگ برخی مبتلایان و تفاوت این زمان ها در بیماران بستری شده و سایرین، از داده های موجود در وبسایت سازمان بهداشت جهانی و مرکز کنترل و پیشگیری بیماری های آمریکا (CDC) و اروپا (ECDC) استفاده می شود. برای کالبره کردن نرخ ها بر اساس داده های واقعی، تنها راه ممکن بررسی داده ها بر اساس آمار رسمی است. از آنجایی که با توجه به کمبود امکانات تشخیصی و طبیعت بیماری که در بسیاری از افراد بدون عارضه و یا با علائم بسیار خفیف ظاهر می شود داده های رسمی کمتر از داده های واقعی است. این مسئله با در نظر گرفتن تعریف مبتلایان رسمی (Case) که تنها از طریق انجام آزمایش تایید شده صورت می گیرد قوت می گیرد. بنابراین کالبره کردن نرخ ها بر اساس چند برابر داده های واقعی نیز تخمین خوبی از واقعیت خواهد بود (۱۴). همچنین زمان آغاز بیماری در این مطالعه اول بهمن در نظر گرفته می شود. از آنجایی که اولین مورد ابتلا اول اسفند اعلام شده است و با توجه به دوره نهان ۲ تا ۱۴ روزه با میانگین ۵ روز (۱۵) و (۱۶) و در نظر گرفتن این موضوع که آن مورد گزارش شده اولین بیمار نبوده است، حداقل یک ماه قبل از گزارش زمان خوبی برای در نظر گرفتن اولین بیمار است. همچنین میزان انتقال بیماری در دوره پنهان ضعیف است (۱۶). دوره بیماری از آغاز ظهور علائم تا رسیدن به نتیجه (مرگ یا بهبود) متغیر است. معمولاً برای بیماران با وضعیت حاد، بهبود در بیمارستان سریعتر انجام می شود در حالی که مرگ در خارج از بیمارستان سریعتر اتفاق می افتد. برای

توسعه مدل

مدل اولیه: ایجاد مدل پویاشناسی سیستم بر اساس مدل های معروف به SEIR (شکل ۱) به عنوان مدل اولیه می باشد که مدل های شناخته شده و تایید شده در بررسی شیوع بیماری ها هستند (۱۸). در اینجا مدل پایه بر اساس شرایط فعلی و نیازها و اقدامات ممکن به روز می شود. به منظور انطباق هرچه بیشتر با واقعیت، علاوه بر پارامترهای اصلی در مدل پایه، پارامترهایی جهت بررسی عواملی مانند: مرگ و میر، قرنطینه بیماران، جداسازی جمعیت، بیماران دارای علائم، نقش رسانه و بیماران بدون علائم در مدل ارائه شده گنجانده شده است. در ادامه اجزای مدل اولیه معرفی می شود.

جمعیت مستعد بیماری (Susceptible Population): این متغیر که از جنس متغیر انباشت است، جمعیتی را نشان می دهد که در هر دوره از بررسی مستعد بیمار شدن هستند. این جمعیت در آغاز در واقع همان کل جمعیت است. به مرور با ابتلای افراد به بیماری و یا مرگ و یا بهبودی آنان، از جمعیتی که ممکن است بیمار شوند کم می شود. این کم شدن در واقع با ابتلا آغاز می شود.

سطح تماس (Contact Rate): نشان دهنده نرخ ارتباط عادی و بدون محافظت بین افراد در جامعه است. این نرخ در ابتدا پایین می باشد (Initiate contact rate) زیرا بیماری به جمعیت های کوچک محلی دسترسی دارد اما با گذشت زمان (Contact Rate Duration) چون جامعه ی درگیر بزرگ می شود با شیب (Contact Rate Slope) به حداکثر خود می رسد. از طرفی این نرخ (بدون محافظت) با شناخت بیماری در اثر آموزش و رعایت بهداشت کاهش پیدا می کند که

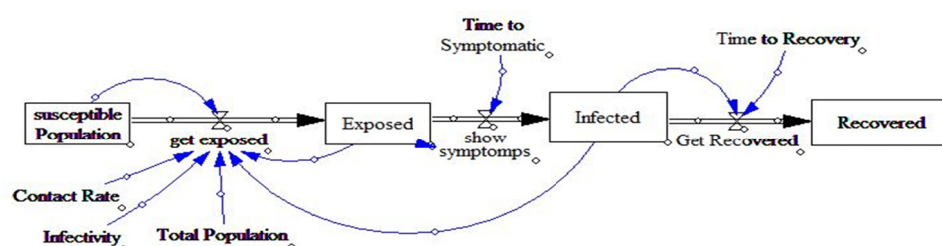
در مدل توسعه داده شده در بخش های بعدی چگونگی این کاهش نشان داده می شود.

بیماری زایی (Infectivity): این متغیر به طبیعت عامل بیماری زایی بستگی دارد. در اینجا ویروس مورد بررسی دارای بیماری زایی یا واگیری بسیار شدید است. این متغیر نشان دهنده احتمال انتقال بیماری از فرد مبتلا به افراد سالم در صورت برقراری تماس معمولی بین آنان است. محاسبه دقیق این احتمال بسیار دشوار است اما معمولاً تخمین های خوبی برای آن به دست می آید.

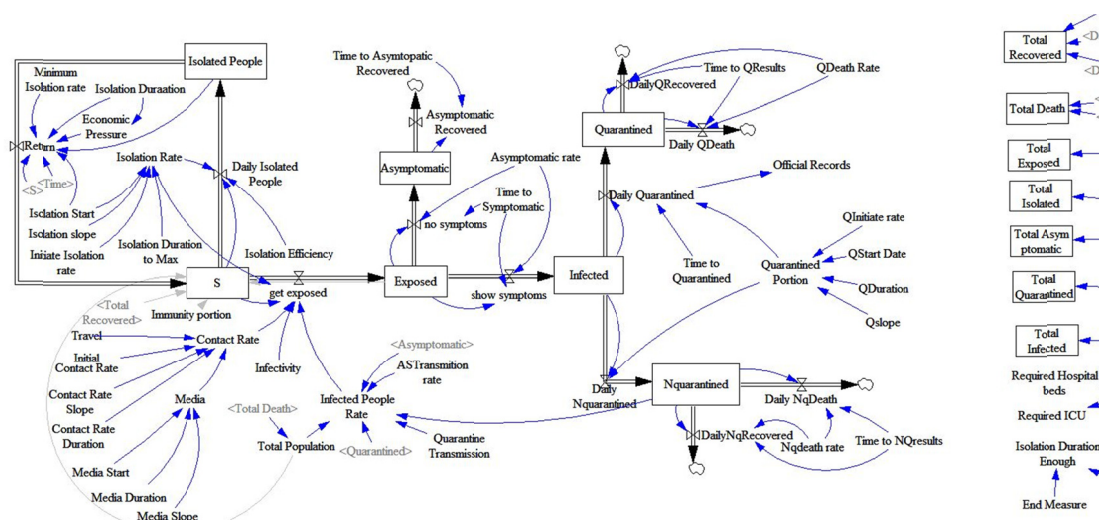
جمعیت کل (Total Population): کل جمعیت در آغاز ورود بیماری. در اینجا جمعیت مطابق با آخرین سرشماری رسمی کشور و برآوردهای موجود در مرکز آمار ایران در نظر گرفته می شود. بر اساس آمار رسمی مرکز آمار ایران (۱۹) جمعیت ایران تا سال ۱۳۹۶ از ۸۳ میلیون نفر عبور کرده است. همچنین براساس برآوردها جمعیت تا سال ۱۴۰۵ به بیش از ۸۹ میلیون نفر می رسد. بنابراین در حال حاضر جمعیت نزدیک به ۸۴ میلیون نفر برآورد می شود. جمعیت کل کشور در این مطالعه ۸۴ میلیون نفر در نظر گرفته می شود.

نرخ قرار گرفتن در معرض بیماری (Get exposed): تعداد افرادی که روزانه در معرض بیماری قرار می گیرند را نشان می دهد. در مدل های شیوع، دوره معمولاً روز است. این نرخ بر اساس ضرب درصدی از جمعیت مستعد که بیمار می شوند در جمعیت مستعد به دست می آید. برای محاسبه این نرخ از متغیرهای نرخ تماس، توان گسترش یا بیماری زایی ویروس و نسبت افراد بیمار به کل افراد جامعه استفاده می شود.

تعداد افرادی که در معرض بیماری قرار گرفته اند (Exposed): این متغیر انباشت تعداد



شکل ۱- مدل اولیه SEIR (۱۸)



شکل ۲- مدل پیشنهادی دارای مازول های قرنطینه بیماران، جداسازی جمعیت مستعد، نقش رسانه و اطلاع رسانی و بیماران بدون علائم و علامتدار

توسعه مدل جدید

همانطور که مشاهده می شود مدل پایه بسیار خلاصه و با در نظر گرفتن فرض های ساده ساز بسیاری ایجاد شده است. مثلاً مرگ و میر در آن در نظر گرفته نشده است. همچنین شناسایی و قرنطینه بیماران و جداسازی جمعیت و نقش اطلاع رسانی نیز در نظر گرفته نشده است. به منظور نزدیک تر شدن مدل به واقعیت، مدل جدید که موارد فوق را شامل می شود (شکل ۲) توسعه می یابد. در ادامه اجزای جدید مدل معرفی می شود. علاوه بر آن، از آنجایی که برخی از اجزای قبلی نیز در مدل جدید اندکی جایگاه متفاوتی پیدا می کنند، آن اجزا نیز مجدداً بر اساس نقش جدیدی که ایفا می کنند معرفی می شوند.

شناسایی و قرنطینه بیماران (Quarantine)

نسبت قرنطینه (Quarantine Portion): بعد از ظهور علائم، بیماران شناسایی و قرنطینه می شوند. معمولاً تعدادی از بیماران علامتدار شناسایی نمی شوند. از طرف دیگر به دلیل کمبود فضا و تجهیزات بیماران شناسایی شده نیز همگی در بیمارستان و مراکز درمانی قرنطینه نمی شوند. بسیاری به قرنطینه خانگی تشویق می شوند که تعدادی از آنها شرایط قرنطینه را رعایت نمی کنند. در نتیجه به طور کلی نسبتی از بیماران قرنطینه می شوند. از طرفی ممکن است مدت زمانی طول بکشد تا بیماری شناخته

افرادی را نشان می دهد که در معرض قرار گرفته اند اما آنهایی که مبتلا شده اند از این انباشت کم می شوند.

نرخ ابتلا (Show Symptoms): تعداد روزانه افرادی است که پس از قرار گرفتن در معرض ویروس علائم در آنها ظاهر شده یا به عبارتی ابتلای آنها مشخص می شود.

زمان نهان بیماری (Time to Symptomatic):

نشان دهنده متوسط زمان لازم برای افراد پس از قرار گرفتن در معرض ویروس تا ظهور علائم است. این زمان همان دوره نهان بیماری (Incubation Time) است.

تعداد مبتلایان (Infected): تعداد خالص مبتلایان

در هر دوره است. به این معنی که آن دسته از مبتلایانی که بهبود یافته اند در این انباشت نشان داده نمی شوند.

نرخ بهبود از قرنطینه (Get Recovered): تعداد

بیمارانی است که روزانه بهبود می یابند. این نرخ با تقسیم کردن تعداد مبتلایان بر دوره بیماری بدست می آید.

دوره بهبودی بیماری (Time to Recovery):

متوسط زمانی که یک فرد مبتلا بیمار می ماند.

بهبود یافتگان (Recovered): انباشت بهبود

یافتگان تعداد کل بیمارهایی که بهبود یافته اند را نشان می دهد.

ارتباط کنترل نشده آنها با دیگران حذف شود.. این کار با کاهش سطح تماس فرق دارد و در واقع سطح تماس را برای نسبتی از جامعه به طور کامل به صفر می‌رساند. جداسازی با تاخیر در زمانی پس از آغاز انتشار بیماری (Isolation Start) با یک نرخ حداقل (Initiate Isolation rate) آغاز می‌شود و به مرور زیاد شده (Isolation Slope) تا در نهایت پس از گذشت یک دوره (Isolation Duration to Max) به مقدار نهایی می‌رسد. این جداسازی می‌تواند تا پایان بیماری باشد یا به صورت محدود که در این حالت به اندازه (Isolation Duration) روز طول می‌کشد. در حالت جداسازی محدود، افراد جداسازی شده بعد از دوره جداسازی با نرخ (Return) به جامعه بر می‌گردند. این نرخ به پارامتر فشار اقتصادی (Economic Pressure) وابسته است. از طرفی خود فشار اقتصادی با افزایش دوره جداسازی بیشتر می‌شود. هرچه زمان جداسازی بیشتر باشد، جداسازی با شیب تندتری انجام می‌شود. از طرفی ممکن است تعدادی از افراد جداسازی شده تا آخر بیماری برنگردند که در این حالت نرخ افراد باقیمانده با (Minimum Isolation rate) مشخص می‌شود. کارآمدی جداسازی (Isolation efficiency): ممکن است جداسازی به هر دلیل کاملاً موفق نشود. این متغیر کمکی نشان دهنده میزان موفقیت جداسازی است.

آموزش و اطلاع رسانی (Media): تاثیر آموزش و اطلاع رسانی در زمینه نحوه واکنش به شیوع بیماری و رعایت اصول بهداشتی که از طریق رسانه ها چه دولتی و چه غیر دولتی انجام می‌گیرد در قالب این متغیر در مدل گنجانده شده است. این آموزشها بر روی سطح تماس اثر گذاشته و آن را کاهش می‌دهد. معمولاً این اثرگذاری با تاخیر آغاز شده (Media Start) و به مرور زیاد می‌شود (Media Slope) تا جایی که با گذشت یک دوره (Media Duration) به حداکثر خود برسد.

تفکیک افراد دارای علامت و بدون علامت: مبتلایان علامت‌دار (Symptomatic): آن دسته از مبتلایان هستند که پس از طی دوره پنهان بیماری علامت‌ها در آنها ظهور می‌کند. این دسته‌بندی به آن دلیل لازم است که برای رسیدگی به بیماران و انجام اموری مانند قرنطینه معمولاً ابتدا باید علائم بیماری

شود و قرنطینه آغاز شود (Quarantine Start). قرنطینه با یک نرخ اولیه (Quarantine Initiate Rate) آغاز و با شیب (Quarantine Slope) در مدت زمانی (Duration Quarantine) به حداکثر خود می‌رسد. با دانستن این نسبت، تعداد بیماران قرنطینه در روز با ضرب این نسبت در انباشت بیماران دارای علائم مشخص می‌شود. این جریان با قرنطینه شدن (get quarantined) نشان داده شده است. با انباشت این جریان تعداد خالص بیماران قرنطینه در هر روز (Quarantined) بدست می‌آید. ممکن است این اتفاق متأثر از زمان تشخیص قطعی و نیاز به قرنطینه (Time to Quarantine out of) تاخیر داشته باشد. سایر بیماران علامت‌دار که قرنطینه نمی‌شوند با جریان (quarantine out of) وارد دسته قرنطینه نشده‌ها (Nquarantined) می‌شوند. این دسته از مبتلایان عامل اصلی انتشار بیماری هستند. با این وجود به دلیل درصد رعایت نشدن اصول در قرنطینه از جمله در اثر خطای انسانی بیماران یا مراقبان چه در خانه و چه در بیمارستان، درصد کمی (Quarantine Transmission) از بیماران قرنطینه شده بیماری را منتقل می‌کنند. لازم به ذکر است که زمان رسیدن به حداکثر قرنطینه بیماران در واقع به کل جمعیت و زمان آغاز قرنطینه وابسته است. هرچه زمان آغاز دیرتر باشد، تعداد بیماران شناسایی نشده بیشتر است و در نتیجه شناسایی آنها زمان بیشتری نیاز دارد. از طرفی، هرچه کل جمعیت بیشتر باشد، شناسایی بیماران مشکل‌تر می‌شود. بنابراین اجرای مدل برای جمعیت‌های مختلف با زمان و شیب یکسان در رسیدن به حداکثر قرنطینه بیماران صحیح نیست. علی‌الخصوص برای درصدهای نهایی بالاتر از ۹۰ درصد این موضوع باید در نظر گرفته شود. همچنین بیماران قرنطینه شده شامل بیماران بستری شده در بیمارستان و بیمارانی است که با روش‌های مختلف از جمله غربالگری عمومی شناسایی شده‌اند و در خانه مانده‌اند. فرض شده است که این بیماران کاملاً نکات بهداشتی را رعایت می‌کنند.

جداسازی افراد سالم مستعد بیماری (Isolation): نرخ جداسازی (Isolation rate): جدا شدن بخشی از جمعیت سالم به شکلی که هرگونه

NqResults) نیز جداگانه در نظر گرفته شده است. نرخ مرگ و میر افراد بدون علامت صفر در نظر گرفته شده است.

پارامترهای گزارش گیری: متغیرهایی که در محاسبات ساختاری تأثیری ندارند و صرفاً جهت گزارش گیری و دسترسی سریع به نتایج ایجاد شده است. مسافرت (Travel): این متغیر به دلیل شرایط خاص ایران و تأثیر مسافرت های نوروزی به مدل اضافه شده که در نتایج تحقیق دخالت داده نشده است. با این حال در شرایطی که بشود رابطه نزدیک به واقعیت حجم مسافرت ها با سطح تماس را استخراج کرد می تواند بسیار مفید واقع شود. انباشت های تعداد کل: به عنوان مثال "تعداد کل افراد مبتلا شده از آغاز بیماری" Total Infected یک انباشت از این دست است که با انباشت "تعداد بیماران علامت دار در هر زمان" Infected متفاوت است. این تفاوت در اینجا است که از انباشت "بیماران علامت دار در هر زمان" تعدادی خارج می شود (به دلیل بهبود یا مرگ و میر) در حالی که انباشت "کل بیماران علامت دار از آغاز بیماری" تنها نرخ ورودی را حساب می کند. همه انباشت های کل از این دست انباشت ها به حساب می آیند. تخت بیمارستانی (Required Hospital beds) و ICU مورد نیاز (Required ICU): فرض شده است که برای بیمارانی که شناسایی و قرنطینه می شوند، ۲۰ درصد نیاز به بستری و ۵ درصد نیاز به اتاق مراقبت های ویژه ICU دارند. حداقل زمان مورد نیاز جداسازی (Isolation Duration Enough): بیماری وقتی کاملاً از بین می رود که هیچ فرد ناقلی باقی نمانده باشد. با این حال می شود با توجه به کاهش تعداد ناقلان با تابع نمایی اگر تعداد ناقلان از معیار توقف (END Measure) کمتر شد، بیماری را شکست خورده در نظر گرفت. در این مدل کمینه مقدار پارامتر Isolation Duration Enough بر اساس تعداد افراد باقی مانده در انباشت Nquarantined حداقل روزهای لازم برای جداسازی را نشان می دهد. منطق تعیین متغیر فوق در بخش ۴ پیوست موجود است. همچنین نرخ مرگ و میر بیماران شناسایی شده از طریق حداکثر پذیرش نرخ مرگ و میر (MaxQD) می تواند بر نرخ تماس اثرگذار باشد. به این شکل که اگر نرخ

ظاهر شوند. در واقعیت با توجه به شیوع بالای بیماری، تمام مبتلایان مورد آزمایش قرار نمی گیرند مگر اینکه علائمی از خود بروز دهند. دوره نهان بیماری همان زمان مورد نیاز برای ظهور علائم (Time to Symptomatic) است. همچنین تعداد روزانه مبتلایانی که علائم بیماری در آنها ظهور پیدا می کند همان جریان مذکور است که با نرخ ظهور علائم (Show Symptom) نشان داده شده است. بر اساس مطالعه جدید دانشگاه جان هاپکینز این زمان ۵,۱ روز است (۱۵). افراد بدون علامت (Asymptomatic): این دسته افرادی هستند که به ویروس آلوده شده اند اما علائم پس از گذشت دوره نهان بیماری نیز ظاهر نشده و یا علائم آن ها غیر قابل تشخیص است. با اینکه هنوز به طور قطعی نمی شود گفت برای بیماری COVID19 چه نسبتی از بیماران اینگونه اند، تخمین هایی برای آن وجود دارد. نسبت این بیماران با (Asymptomatic rate) نشان داده می شود که بر اساس آن تعداد روزانه آنها (no symptoms) پس از گذشت دوره نهان بیماری از انباشت بیماران در معرض قرار گرفته جدا می شوند.

نسبت افراد بیمار در جامعه (Infected People Rate): این متغیر بیانگر نسبت افرادی که بیماری را منتقل می کنند به تمام افراد جامعه است. به عبارتی احتمال برخورد با یک ناقل را نشان می دهد. با توجه به اعلامیه مراکز کنترل و پیشگیری بیماری ها در آمریکا و اروپا تا لحظه نگارش این مطالعه، انتقال بیماری عمدتاً بر اساس درصد بیماران دارای علائم به کل جامعه اندازه گیری می شود. با این حال مطالعاتی وجود دارد که نشان می دهند ممکن است درصدی (AS Transmission rate) از بیمارانی که علائمی ندارند نیز بیماری را منتشر کنند. این درصد نهایتاً تا ۱۰٪ از این بیماران را شامل می شود (۲۰). از طرفی ممکن است بیماران قرنطینه شده نیز میزانی (Quarantine Transmission) از بیماری را منتشر کنند.

بهبودی و مرگ: نرخ مرگ و میر برای بیماران قرنطینه (Quarantined death rate) و سایرین (Nquarantined death rate) متفاوت است که در این مدل در نظر گرفته شده است. زمان مورد نیاز برای رسیدن بیماران به نتیجه در قرنطینه (Time to Qresults) و برای سایر بیماران (Time to

همچنین با کالیبره کردن مدل در آن شرایط، نرخ بیماری‌زایی مناسب برای ویروس H1N1 در مدل ۰/۴۲ به دست می‌آید. این نرخ می‌تواند کران پایین برای ویروس Covid-19 باشد بیماری‌زایی COVID19 از بیماری‌زایی آنفلانزا بیشتر است اما عدد دقیق آن مشخص نیست. بر این اساس می‌توان نرخ را برای مدل کرونا با مقداری افزایش اصلاح کرد که مقدار آن (۰/۴۸) در نظر گرفته می‌شود. ورودی‌ها و نتایج در پیوست بخش ۱ قابل مشاهده است.

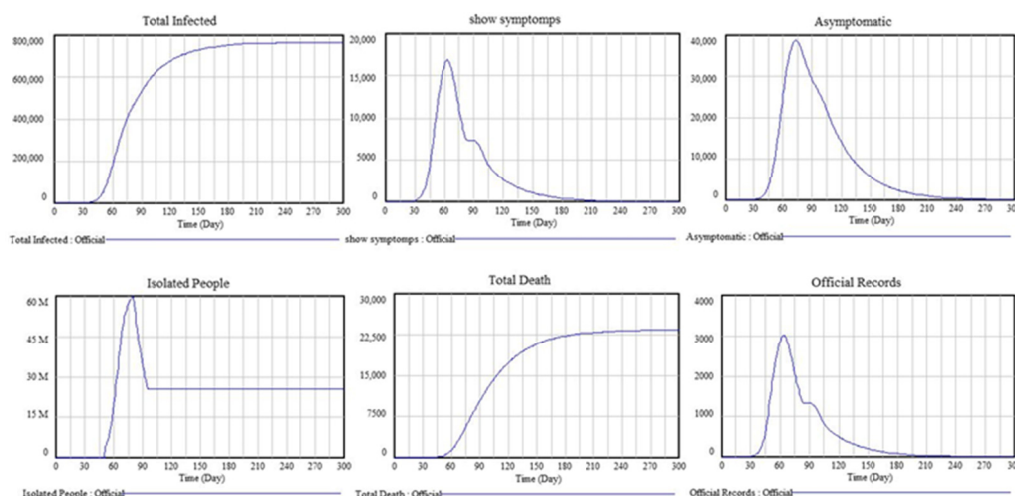
کالیبراسیون مدل با داده‌های رسمی: برای شبیه سازی سناریوی نزدیک به آمار رسمی، مبتلایان روزانه در ایران تا روز ۱۲۰ (آخر فروردین) شرایط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. از روز ۵۰ ام جداسازی با ۵ درصد جمعیت آغاز شده است و به تدریج در ۳۰ روز نزدیک به ۶۰ میلیون نفر رسیده است. همچنین همه جمعیت فوق تا ۳۰ روز پس از آغاز، همچنان در جداسازی باقی مانده است. از طرفی به تدریج بخشی از این جمعیت به جامعه بازگردانده می‌شود اما بیش از ۲۵ میلیون نفر از جمعیت همچنان در جداسازی می‌ماند. قرنطینه بیماران از روز ۲۰ ام با ۱۰ درصد آغاز می‌شو و طی ۳۰ روز نزدیک به ۹۰ درصد می‌رسد.

یافته‌ها

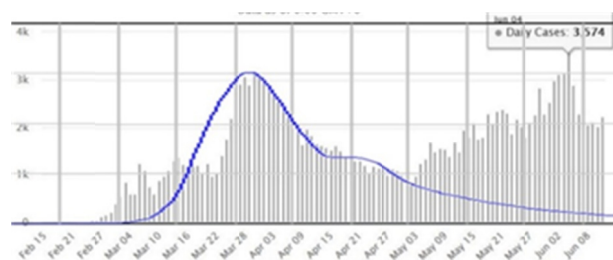
در شکل‌های ۳-۱۳ نتایج مربوط به تحلیل حساسیت حداکثر نرخ شناسایی و قرنطینه بیماران، بررسی نرخ

مرگ‌ومیر به حداکثر پذیرش برسد، حداکثر کاهش را در نرخ تماس (حداکثر رعایت نکات بهداشتی) ایجاد می‌کند. روابط مربوطه در بخش ۵ پیوست موجود است.

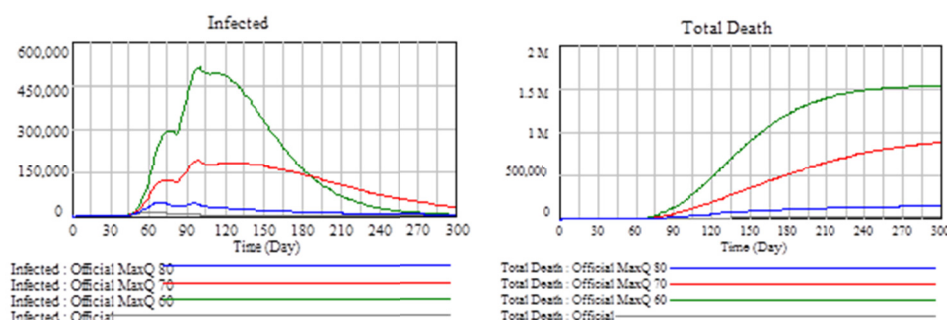
اعتبارسنجی مدل: برای اعتبار سنجی ساختار و معادلات مدل از دو روش استفاده می‌شود. ابتدا مدل در دو شرایط حدی کران بالا و پایین آزمایش می‌شود. سپس جهت آزمون مدل با داده‌های واقعی، داده‌های یک شیوع مشابه در گذشته با خروجی مدل آزمایش می‌شوند. در شرایط کران پایین با دقت حداکثری در تشخیص بیماری و اعمال سریع و صد درصد قرنطینه انتظار می‌رود که مدل عدم انتشار بیماری را گزارش دهد. پس از اجرای مدل در این شرایط، نتایج نشان می‌دهد که بیماری به هیچ وجه منتشر نشده است. در شرایط کران بالا بیماری به طور کامل رها می‌شود که انتظار می‌رود تمام جمعیت به مرور آلوده شوند و تلفات حداکثری اتفاق بیفتد. پس از اجرای مدل در این شرایط، همانطور که انتظار می‌رود این حالت به سرعت به ابتلای کل جمعیت با مرگ‌ومیر حداکثری می‌انجامد. برای آزمایش مدل در شرایط واقعی، مدل با داده‌های شیوع ویروس H1N1 در سال ۲۰۰۹ در کالیفرنیا آزمایش می‌شود. با ورود داده‌های مربوط به آن (۲۱) و (۲۲) و شیوع و بررسی نتایج و انطباق آن با داده‌های تاریخی در دسترس، مشاهده می‌شود که نتایج مدل با داده‌های تاریخی چه از نظر الگوی رشد و چه از نظر تعداد مبتلایان و مرگ‌ومیر منطبق است.



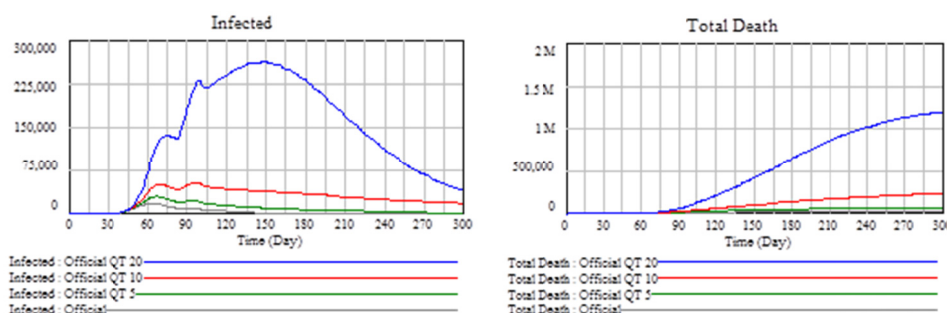
شکل ۳- نتایج اجرای مدل کالیبره شده بر اساس داده‌ها تا ۱۳ اردیبهشت (۱۰۰ روز از آغاز بیماری)



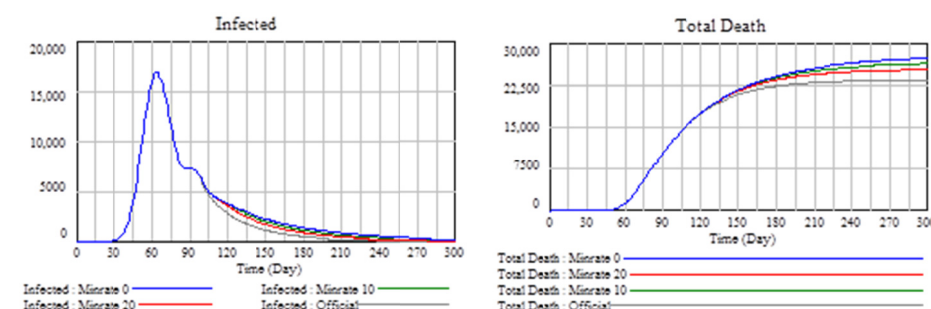
شکل ۴- نتایج اجرای مدل برای آمار رسمی مبتلایان (آبی) و داده‌های تاریخی (خاکستری) بر اساس داده‌های ۱۰۰ روز اول بیماری (May 3)



شکل ۵- حساسیت آمار مرگومیر کل به حداکثر نرخ قرنطینه شکل ۶- حساسیت مبتلایان علامت‌دار در هر زمان به حداکثر نرخ قرنطینه



شکل ۷- حساسیت کل مرگومیر به تغییرات در دقت قرنطینه شکل ۸- حساسیت مبتلایان علامت‌دار در هر زمان به تغییرات در دقت قرنطینه

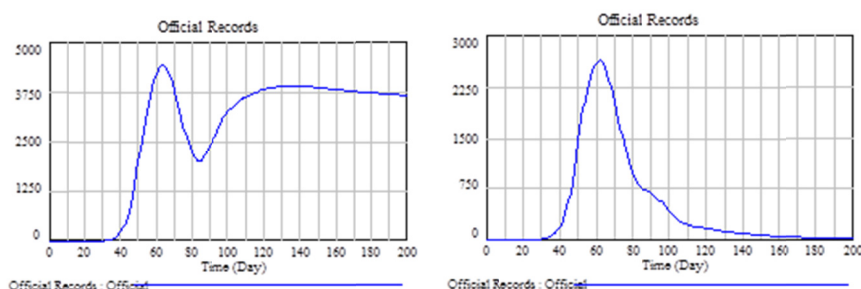


شکل ۹- حساسیت کل میزان مرگومیر به تغییرات در میزان جمعیت نگهداری شده تا پایان بیماری شکل ۱۰- حساسیت مبتلایان علامت‌دار در هر زمان به تغییرات در میزان جمعیت نگهداری شده تا پایان بیماری

بخش با آزادسازی این فرض برای نرخ حداکثر پذیرش مرگومیر به اندازه ۳۰۰ مورد در روز به دست آمده است. در شکل ۱۱ رسیدن به حداکثر کاهش در نرخ تماس از طریق آموزش ایجاد نمی شود و بخش قابل توجهی از آن وابسته به میزان مرگ و میر است. بنابراین دوره تاثیر آموزش از ۸۰ روز به ۵۰ روز کاهش می یابد و از طرفی شدت این کاهش نیز کم شده

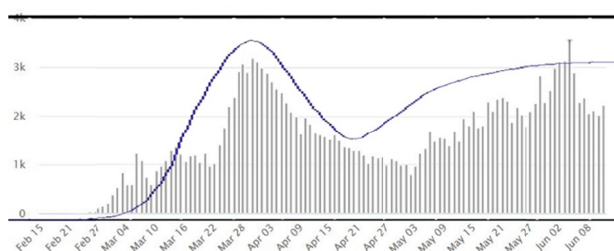
بیماری‌زایی در قرنطینه (دقت قرنطینه)، بررسی میزان جمعیت جداسازی شده تا آخر بیماری و بررسی نرخ تماس و ارتباط رعایت بهداشت با آموزش و میزان مرگومیر می‌پردازد.

در حالت‌های پیشین فرض شده است که نرخ تماس با آموزش‌های ارائه شده از طریق رسانه‌ها به میزان مطلوب پایین آمده و پایدار مانده است. نتایج این



شکل ۱۱- مبتلایان رسمی روزانه در صورت وابستگی نرخ تماس به میزان مرگومیر

شکل ۱۲- مبتلایان رسمی در شرایط وابستگی نرخ تماس به مرگومیر در حالت وابستگی حد مطلوب فقط به آموزش



شکل ۱۳- نتایج اجرای مدل در حالت وابستگی شدید سطح تماس به تعداد مرگ و میر روزانه با حداکثر پذیرش ۳۰۰ (آبی) و داده های تاریخی (خاکستری)

هرگز مهار نشده و نرخ تلفات، ابتلا و همچنین دوره بیماری بسیار طولانی می شود. از طرفی جداسازی جمعیت مستعد در صورت عدم رسیدن به نرخ مطلوب شناسایی و قرنطینه بیماران کارساز نخواهد بود و در این شرایط علاوه بر رشد مجدد بیماری، زمان مورد نیاز برای جداسازی افراد بسیار طولانی خواهد بود. در حالتی که حداکثر نرخ قرنطینه ۷۰ درصد باشد، برای کاهش مبتلایان جدید ناشناخته به ۱۰۰۰ نفر، لازم است جداسازی جمعیت نزدیک به دو سال به طول بینجامد. همچنین پایین نگه داشتن سطح تماس از طریق آموزش نکات بهداشتی و رسانه ها لازم است. وابستگی سطح تماس تنها به نتایج انتشار بیماری می تواند موجب ایجاد امواج بعدی شیوع بیماری شود. البته در صورتی که رعایت بهداشت و پایین نگه داشتن سطح تماس توسط آموزش و رسانه ها در حد مطلوب (مانند شرایط قبل) اتفاق بیفتد، تاثیرپذیری از میزان مرگومیر می تواند مفید هم واقع شود. نکته قابل توجه این است که لازم است "حد مطلوب سطح تماس" مستقل از مرگومیر باشد نه "حداقل نرخ تماس".

سیاست های اهرمی پیشنهادی

چند اقدام اساسی برای مهار بیماری لازم است. اول

است. مقادیر به روز رسانی شده پارامترها در پیوست بخش ۵ موجود است. شکل ۱۲ بیانگر حالتی است که آموزش و رسانه ها مستقلاً سطح تماس را به میزان مطلوب می رساند و بازخورد مرگومیر نقش کمکی را ایفا می کند.

بحث و نتیجه گیری

بر اساس یافته های این مطالعه، ویروس جدید کرونا قابلیت انتشار بسیار بالایی در جامعه ایران دارد. این موضوع در شرایط عدم شناسایی زود هنگام افراد آلوده به ویروس و اعمال به موقع قرنطینه و همچنین عدم امکان قرنطینه بیماران با نرخ مطلوب بسیار شدیدتر می شود. یافته ها نشان می دهد که مدل حساسیت بسیار بالایی به حداکثر نرخ شناسایی و قرنطینه بیماران نشان می دهد. با پایین آمدن این مقدار از ۸۹٫۵ درصد در مدل اولیه به ۶۰ درصد، آمار تلفات از حدود ۲۳ هزار نفر به بیش از یک و نیم میلیون نفر می رسد. این آمار برای حداکثر قرنطینه بیماران در ۷۰ و ۸۰ درصد به ترتیب به ۹۰۰ هزار و ۱۵۳ هزار نفر می رسد. همچنین لازم است بیماران قرنطینه شده حداقل بیماری زایی را داشته باشند. بیماری در مقادیر بالای ۱۰ درصد برای بیماری زایی افراد قرنطینه شده

تدریجی جمعیت جداسازی شده موجب اوج گیری بیماری به شکل غیر قابل کنترل نمی شود و بیماری در نهایت مهار خواهد شد. با این حال این خطر همواره وجود دارد که در صورت عدم پایداری در شناسایی و قرنطینه بیماران مجدداً بیماری اوج خواهد گرفت. از آنجایی که جداسازی جمعیت سالم باعث می شود که فرصت لازم برای رسیدن به نرخ شناسایی و قرنطینه مطلوب فراهم شود، در صورت ظهور امواج مجدد بیماری، می توان از سیاست جداسازی جمعیت مستعد جهت رسیدن به نرخ مطلوب قرنطینه بیماران استفاده کرد. اگر مجموعه شرایط فوق رعایت گردد و پایدار بماند، نتایج نشان می دهد که بیماری تقریباً پس از گذشت ۱۸۰ روز از آغاز آن یعنی اواخر تیر ۱۳۹۹ مهار می شود. در غیر این صورت اوج گیری مجدد بیماری چه در اثر کاهش نرخ شناسایی و قرنطینه بیماران و چه در اثر افزایش نرخ تماس اجتناب ناپذیر است. شرایط کنونی (تا ۱۴) خرداد به گونه ای است که نشان دهنده افزایش نرخ تماس می باشد که اگر اقدام کنترلی در راستای کاهش آن صورت نگیرد، می تواند موجب طولانی شدن حضور بیماری و افزایش شدید آمار مبتلایان و مرگومیر شود. بنابراین به طور خلاصه مطمئن ترین راه مهار بیماری رسیدن به حد مطلوب شناسایی و قرنطینه سریع (بالای ۸۵ درصد) با کارآمدی بالای ۹۵ درصد و نرخ مطلوب سطح تماس (نزدیک به ۱) بدون تأثیرپذیری افزایشی از کاهش میزان مرگومیر به صورت پایدار می باشد.

References

1. Nikakhtar A, Hsiang SM. Incorporating the dynamics of epidemics in simulation models of healthcare systems. *Simul Model Pract Theory*. April 2014;43:67-78.
2. Park ECh, Jang SIThe diagnosis of healthcare policy problems in Korea. *J Korean Med Assoc* October 2012;55(10):932-939.
3. Nina Shin, Taewoo Kwag, Sangwook Park, Yon Hui Kim. Effects of operational decisions on the diffusion of epidemic disease: A system dynamics modeling of the MERS-CoV outbreak in South Korea. *J Theo Bio*. 2017; 421: 39-50
4. Fan M, Li MY, Wang K. Global stability of an SEIS epidemic model with recruitment and a varying total population size. *Math Biosci*. 2001;170(2):199-

افزایش درصد شناسایی و قرنطینه کردن بیماران شناسایی شده. این عامل مهمترین ابزار و اقدام در راستای کنترل بیماری است. تمرکز و اختصاص انرژی و منابع در راستای انجام آزمایش های زیاد و فراهم آوردن شرایط قرنطینه بیماران شناسایی شده از سوی سیستم های سلامت و دولت ها حیاتی است. در واقع رسیدن به شناسایی و قرنطینه بیماران با نرخ بالای ۸۵ درصد به مهار بیماری می انجامد. اقدام مهم دیگر در همین زمینه، فراهم آوردن شرایط قرنطینه بیماران به شکلی است که کمترین بیماری زایی از سوی آن ها ایجاد شود. لازم است اطمینان حاصل شود که حداقل ۹۵ درصد از بیماران قرنطینه شده به هیچ عنوان عامل انتقال بیماری به فرد دیگری نباشند. همچنین نگه داشتن نرخ حداکثری قرنطینه بیماران به صورت پایدار بسیار حیاتی است. بدیهی است که اگر این نرخ کاهش یابد، بیماری مجدداً اوج خواهد گرفت. دومین اقدام مهم حفظ نرخ تماس در پایین ترین حد ممکن توسط افراد جامعه می باشد. این مسئله نباید با نرخ مرگومیر تنظیم شود بلکه باید آموزش لازم در جامعه ایجاد شود که تنها در صورت رسیدن به مرحله مهار بیماری می توان نحوه رعایت نکات بهداشتی را مجدداً تنظیم کرد. یافته ها نشان می دهد که اصلی ترین عامل ایجاد امواج پی در پی بیماری افزایش مجدد نرخ تماس پس از اعمال محدودیت ها و رعایت اولیه نکات بهداشتی می باشد. بنابراین لازم است آموزش ها و سرمایه گذاری لازم در این زمینه طوری اعمال شود که سطح مطلوب رعایت نکات بهداشتی کمترین وابستگی را به میزان مبتلایان روزانه یا نرخ مرگومیر جدید داشته باشد. این شرایط اصلی مهار بیماری است که در صورت رسیدن به آن جامعه از هزینه های بالای جداسازی افراد مستعد و بسته بودن کسب و کارها رهایی می یابد. با این حال در صورت عدم امکان فراهم شدن شرایط فوق، اقدام مهم دیگر که می تواند موثر باشد جداسازی جمعیت مستعد است. این کار به دولت ها و سیستم های درمانی فرصت می دهد تا در برهه ای از زمان انتشار بیماری بسیار کند شود و فرصت لازم جهت شناسایی حداکثری بیماران و قرنطینه کردن آن ها به دست آید. در صورتی که قرنطینه بیماران و کارایی این قرنطینه به اندازه کافی برسد، رهاسازی

- 208
5. Li J, Zou X. Dynamics of an epidemic model with non-local infections for diseases with latency over a patchy environment. *J Math Biol.* 2010;60(5):645-86
 6. Homer JB, Hirsch GB. System dynamics modeling for public health: background and opportunities. *Am J Public Health.* 2006;96(3):452-8
 7. Yi N, Zhang Q, Mao K, Yang D, Li Q. Analysis and control of an SEIR epidemic system with nonlinear transmission rate. *Math Comput Model.* 2009;50(9):1498-513
 8. Camacho A, Kucharski A, Aki-Sawyerr Y, White MA, Flasche S, Baguelin M, et al. Temporal Changes in Ebola Transmission in Sierra Leone and Implications for Control Requirements: a Real-time Modelling Study. *PLoS Curr.* 2015;7
 9. Kucharski AJ, Russell TW, Diamond C, Liu Y, Edmunds J, Funk S, Eggo RM; Centre for Mathematical Modelling of Infectious Diseases COVID-19 working group. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. *Lancet Infect Dis.* 2020 May;20(5):553-558
 10. Ghaffarzadegan N, Rahmandad H. Simulation-based estimation of the early spread of COVID-19 in Iran: actual versus confirmed cases. *Syst Dyn Rev.* 2020;36(1):101-29
 11. Mashayekhi AN, Aghaei M. Coronavirus epidemics in Iran. *Sharif Uni of Tech.* March 13 2020[Persian]. Available at: https://static1.tinn.ir/servev2/tgRHjZeywi26/hhF3zQUm1m4/647098_288.pdf
 12. Einian M, Tabarraei HR. Modeling the Epidemic Dynamics of COVID-19 Outbreak in Iran, *medRxiv*, 2020, preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.27.20045849>
 13. Ahmadi A, Fadaei Y, Shirani M, Rahmani F. Modeling and forecasting trend of COVID-19 epidemic in Iran until May 13, 2020. *Med J Islam Repub Iran.* 2020;34:27
 14. CDC, Lesson 1: Introduction to Epidemiology, Section 5: The Epidemiologic Approach Available Online: <https://www.cdc.gov/csels/dsepd/ss1978/lesson1/section5.html>
 15. Johns Hopkins University Bloomberg School of Public Health. "New study on COVID-19 estimates 5.1 days for incubation period: Median time from exposure to symptoms affirms earlier estimates and supports CDC's current 14-day quarantine period." *ScienceDaily.*, 10 March 2020. Available Online: www.sciencedaily.com/releases/2020/03/200310164744.html
 16. WHO. incubation period, <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses>
 17. Matthau D. If you get coronavirus, how long will it take you to recover?. *Newjersey 101.5*, March 2020, available Online: <https://nj1015.com/if-you-get-coronavirus-how-long-will-it-take-you-to-recover/>
 18. Abta A, Kaddar A, Alaoui HT. Global stability for delay SIR and SEIR epidemic models with saturated incidence rates. *Elect J of Diff Equ.* 2012; 386: 956-965
 19. Statistical Centre of Iran. Population forecast until 1415, Available Online: <https://www.amar.org.ir/Portals/0/News/1397/jameat.pdf>
 20. CDC, COVID-19: Study estimates rate of silent transmission. *Emerging Infectious Diseases.* 2020; 26. Available Online: <https://wwwnc.cdc.gov/eid/>,
 21. Talha N et al, H1N1 Influenza (Swine Flu), *StatPearls*, Available Online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513241/>
 22. Who Situation updates - Influenza A(H1N1), Available Online: <https://web.archive.org/web/20090513070835/http://www.who.int/csr/disease/swineflu/updates/en/index.html>