

## تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو شیوع کرونا در ایران توسط مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم‌ها - با محوریت سیستم حمل و نقل

مقاله پژوهشی

زینب رحیمی ریسه، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت،  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

محمد‌مهدی ارشادی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت،  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

سید حمیدرضا شهابی حقیقی<sup>\*</sup>، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت،  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>\*</sup>پست الکترونیکی نویسنده مسئول: shahabi@aut.ac.ir

دریافت: ۹۸/۱۱/۰۵ - پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۰

صفحه ۴۸-۳۳

### چکیده

امروزه بیماری کرونا به یکی از تهدیدات بزرگ جهانی تبدیل شده است. ریسک بالای این بیماری در انتقال بین انسان‌ها و نبود دارو و واکسن برای مقابله با آن موجب شده است که برنامه‌ریزی‌های متعددی برای پیشگیری و تخفیف روندهای مرتبط با آن انجام شود. کرونا برای اولین بار در تاریخ ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ در شهر ووهان چین گزارش شده است. این بیماری پس از مدت زمان کوتاهی در کشورهای دیگر گسترش یافته و به یک بیماری همه‌گیر جهانی تبدیل شد. از آنجاکه نحوه برنامه‌ریزی در استفاده از سیستم حمل و نقل توسط مردم تأثیر مهمی در کنترل یا اشاعه این بیماری دارد، با محور قرار دادن این عنصر یک مدل پویایی‌شناسی سیستم‌ها در این مقاله ارائه شده است. این مدل به بررسی دو سناریو متفاوت در خصوص افراد مبتلا، میزان مرگ‌ومیر و میزان بهبودی می‌پردازد. این سیستم با توجه به زیرسیستم‌های مختلفی مانند سیستم‌های مراقبت‌های بی‌داشتی، حمل و نقل، تماس بین مردم و ظرفیت‌های شبکه‌های مواد غذایی و دارویی طراحی شده است. در مدل پیشنهادی این مقاله از یک ساختار جریان برای نشان دادن چگونگی تأثیر بخش‌های مختلف سیستم‌ها و زیرسیستم‌های وابسته بر شیوع این بیماری در طولانی‌مدت استفاده می‌شود. تتابع گرفته شده از مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که بخش‌های مختلف سیستم اصلی و زیرسیستم‌های مرتبط با آن در مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم‌ها دارای حساسیت‌ها و تأثیرات متفاوتی هستند. تحلیل این مدل با توجه به نتایج دو سناریو بررسی شده در اتخاذ تصمیم توسط دولتمردان مفید خواهد بود. تتابع مرتبط با مدل پیشنهادی با فرض عدم وجود واکسن یا داروی مؤثر در یک سال آینده بیانگر این است که تغییر در یک قسمت از سیستم می‌تواند مرگ‌ومیر کرونا را در شش ماه از ۱۰۵۰۰ نفر به بیش از ۶۱ میلیون نفر افزایش دهد. بنابراین میزان مرگ‌ومیر این بیماری به سیاست‌گذاری‌ها و رفتارهای عوامل مؤثر در مدل وابسته است و با برنامه‌ریزی مناسب در مقابل هر سناریو می‌توان میزان مرگ‌ومیر را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: سیستم حمل و نقل، مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم‌ها، کرونا، سیستم سلامت ایران، شیوع همه‌گیر

### ۱- مقدمه

چشمگیری افزایش یافته است. سازمان بهداشت جهانی در آوریل سال ۲۰۲۰ بیش از ۷ میلیون مورد بیمار مبتلا به کرونا و بیش از ۳۰۰ هزار مرگ را گزارش کرده است. به دلیل شیوع بالا و بهتیع آن بالا رفتن میزان مبتلایان و مرگ‌ومیر ناشی از بیماری، نگرانی‌ها در سطح بین‌المللی در حال افزایش است. کشور ایران نیز در بهمن ۱۳۹۸ اولین مبتلایان به بیماری را ثبت

با شیوع بیماری کرونا در شهر ووهان در تاریخ ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹، برنامه‌ریزی کشور چین برای مقابله با این بیماری مورد توجه جهانی قرار گرفته است. این بیماری به سرعت در سایر کشورهای جهان پخش شد و سازمان بهداشت جهانی آن را یکی دیگر از بیماری‌های همه‌گیر جهانی اعلام کرد. تا امروز، تعداد کشورهایی که در گیر این بیماری شده‌اند به طور

نشان داد که هر فرد دارای علامت این بیماری ممکن است در یک اتوبوس یا واگن مترو دهه نفر را مانند خود مبتلا کند [وو و همکاران، ۲۰۲۰]. لذا مدیریت سیستم حمل و نقل عمومی تأثیری مهم در کنترل یا توسعه این بیماری دارد. از دیگر سو بسیاری از تحقیقات سعی در تعیین ابعاد جامع این موضوع داشته‌اند. برخی مطالعات نیز تلاش داشته‌اند تا این ویروس را با ویروس‌های قبلی مقایسه کرده و راهکار بهتری ارائه دهند. همچنین برخی تحقیقات تلاش کردن تا تغییرات تعداد مبتلایان به ویروس را پیش‌بینی کنند تا برای ارائه دستورالعمل‌های کمکی به برنامه‌های دولت مؤثر باشند [وانگ و همکاران، ۲۰۲۰]. یکی از روش‌های مؤثر برای برآورد روند آینده و بهبود برنامه‌های تصمیم‌گیران کلان در کشورها، مدل‌سازی پویائی شناسی سیستمی است [دارابی و همکاران، ۲۰۲۰]. از دیگر سو ازان‌جگاه مدیریت حمل و نقل عمومی یکی از عوامل مؤثر در کنترل یا افزایش تعداد مبتلایان به این بیماری است؛ لذا در این مقاله با استفاده از یک مدل پویائی شناسی سیستمی با محور قرار دادن سیستم حمل و نقل در ایران به بررسی دو سناریو متفاوت و تأثیر این دو بر تغییر در تعداد مبتلایان و افراد فوت شده پرداخته شده است.

## ۲-پیشینه تحقیق

بحran پیشامدی است که به صورت ناگهانی و گاهی فزاینده رخ می‌دهد. در کشور ایران نیز ظهور یک بیماری بیولوژیکی همه‌گیر یکی از مصداق‌های رخ دادن بحران است [شهابی حقیقی و همکاران، ۱۳۹۷]. بنابراین برای پاسخگویی و مدیریت بحران رخ داده لازم است بخش‌های مختلف سیستمها و زیرسیستم‌های مؤثر بر این بحران آمادگی لازم را داشته باشند [شهابی حقیقی و همکاران، ۱۳۹۸]. عوامل مؤثر مختلفی برای پاسخگویی سیستم‌ها تعریف شده است که شامل تنوع خدمات، تبادل اطلاعات، ساختارهای درگیر، شفافیت اطلاعاتی، برابری تجهیزات، شمول شرایط، سطح بالای پیوستگی اجتماعی و سرمایه درگیر تأثیرگذار در سیستم‌های متفاوت هستند [فیدیان و همکاران، ۲۰۱۳]. همچنین نحوه رفتار جامعه تأثیر بالایی بر چگونگی طراحی شبکه‌های مختلف برای پاسخ‌دهی به وضعیت‌های پیش‌آمده در بحران را دارد [ارشادی و همکاران، ۲۰۱۹]. برخی تحقیقات نیز در پی اثبات آن بوده‌اند که تاب‌آوری سیستم پایه‌ای مؤثر برای مراقبت‌های بهداشتی و

کرده و تعداد تجمعی موارد تائید شده در ایران تا هشتم اردیبهشت ۱۳۹۹ بیش از ۹۲۰۰۰ نفر و تعداد کل مرگ‌ومیرها بیش از ۵۸۰۰ نفر گزارش شده است [سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۰]. در یک تحقیق با جامعه مورد مطالعه ۹۹ بیمار مبتلا به بیماری کرونا در شهر ووهان کشور چین شامل ۶۷ مرد و ۳۲ زن با میانگین سنی ۵۵ اطلاعات زیر به دست آمد. ۵۱٪ بیماران دارای سوابقی از بیماری‌های مزمن بودند. همچنین از علائم بالینی این بیماری تب (۸۲٪)، سرفه (۸٪)، تنگی نفس (۳۱٪)، درد عضله (۱۱٪)، گیجی (۹٪)، سردرد (۸٪)، گلودرد (۵٪)، درد قفسه سینه (۲٪)، اسهال (۲٪) و حالت تهوع و استفراغ (۱٪) گزارش شده است [چن و همکاران، ۲۰۲۰]. در تحقیقات دیگری که در تاریخ ۲ ژانویه سال ۲۰۲۰ منتشر شد، ۴۱ بیمار بستری با نتیجه آزمایش کرونا مثبت دارای شرایط زیر بودند: در اولین مورد برای ۵۵٪ از آن‌ها تنگی نفس گزارش شده است، برای دومین مشخصه مهم زمان متوسط از شروع بیماری تا تنگی نفس ۸ روز به طول انجامیده است و همچنین در تصویربرداری سی‌تی اسکن از ریه‌های تمام بیماران موارد غیرطبیعی مشاهده و ثبت شده است. این تحقیق با موردمطالعه قرار دادن بیماران نشان می‌دهد که ۲۹٪ عوارض شامل سندروم پریشانی حاد، ۱۲٪ آسیب حاد قلبی و ۱۰٪ عفونت ثانویه در بیماران گزارش شده است. همچنین حائز اهمیت است که ۳۲٪ بیماران در بخش مراقبت‌های ویژه بستری شده‌اند و ۱۵٪ از آن‌ها فوت کرده‌اند. بیماران مراقبت‌های ویژه در مقایسه با بیماران دیگر سطح پلاسمای بیشتری داشتند [هوانگ و همکاران، ۲۰۲۰]. براساس گزارش‌های تحقیقاتی، ویروس به سرعت باعث عفونت و مرگ می‌شود. از طرفی آزمایش‌های مربوط به واکسن بسیار وقت‌گیر و گران است. بنابراین دولتها مجبور شده‌اند که با تصویب قوانینی جدید مانند قرنطینه شهری و محدودیت حمل و نقل، از شیوع بیشتر این بیماری جلوگیری کنند تا تعداد مبتلایان به این بیماری مهار شده و از تعداد مرگ‌ومیر ناشی از آن کاسته شود. در این‌بین، مقالات مختلفی بر اهمیت مدیریت صحیح شیکه‌های حمل و نقل برای کنترل بیماری کوید ۱۹ تأکید کرده‌اند [ایوانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ووچن و همکاران، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰]. آن‌ها افزایش ارتباطات در مسیرهای حمل و نقل عمومی را اولین عامل برای تقویت گسترش بیماری و انتقال افراد بیمار به مناطق دیگر می‌دانند. نتایج یک مطالعه

و اگن مترو دهها نفر را مانند خود مبتلا کند [و و همکاران، ۲۰۲۰]؛ لذا مدیریت سیستم حمل و نقل عمومی تأثیری مهم در کترل یا توسعه این بیماری دارد. از دیگر سو تحقيقات مدلسازی سیستم بهداشت و درمان معمولاً به دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- (۱) سطح کلان: این سطح عمدتاً از مدلسازی پویایی شناسی سیستم برای مدلسازی وضعیت استفاده می‌کند؛
- (۲) سطح خرد: این سطح ترکیبی از شبیه‌سازی رویدادهای گستره و تعزیز و تحلیل صفت است [رولدر و همکاران، ۲۰۱۳]. بر اساس اسناد مرکز کترول و پیشگیری از بیماری‌ها، تاکنون شیوع بیماری‌های مختلفی در سراسر جهان گزارش شده است. به عنوان مثال، طاعون در سال ۱۷۷۰ ووبا در سال ۱۸۲۰ باعث کشته شدن بسیاری از مردم در سراسر جهان شد. سپس ویروسی معروف به آنفلوانزای اسپانیایی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در جهان را آلوده و باعث کشته شدن بیش از ۵۰ میلیون نفر شد. در سال ۱۹۵۷، آنفلوانزای جدیدی در شرق آسیا ناشی از ویروس آنفلوانزای اسپانیایی ظاهر شد و جان بیش از ۱ میلیون نفر را در سراسر جهان گرفت. این بیماری در سراسر جهان شیوع یافته و با وجود پیشرفت‌های پزشکی، هنوز واکسنی برای آن تولید نشده است. این ویروس هنوز هم به عنوان آنفلوانزای فصلی شناخته می‌شود. ویروس ایدز در سال ۱۹۸۰ ظاهر شد و بیش از ۸۰ میلیون نفر را آلوده کرد که نیمی از آن‌ها فوت شدند. با وجود پیشرفت‌های پزشکی، امروزه بسیاری از افراد به دلیل عدم وجود واکسن مؤثر به این ویروس آلوده می‌شوند [مراکز کترول و پیشگیری از بیماری‌ها، ۲۰۲۰]. کرونا یک بیماری عفونی است که توسط سنتروم حاد تنفسی ایجاد می‌شود. علاوه بر این، ۳ گونه متمایز از ویروس کرونا وجود دارد که نوع اول آن نزدیک‌ترین ویروس به ویروس کرونای شناخته شده در خفاش‌ها و مورچه‌خوارها است. نوع دوم ویروس کرونای متدائل در ووهان بوده که گفته می‌شود از طریق جهش نوع اول حاصل شده است و نوع سوم مشتق از نوع دوم است که از طریق جهش نوع دوم در اروپا و سایر نقاط جهان گسترش یافته است. بنابراین ممکن است این ویروس برای پیشرفت در سیستم‌های ایمنی مختلف بازهم گجهش کند. پس از ادامه گزارش‌های توسعه بیماری کرونا در

مدیریت شیوع بیماری‌های مختلف است [کینی و همکاران، ۲۰۱۴]. چینازی و همکاران یکی از عوامل مهم در انتشار بیماری کوید ۱۹ را عدم مدیریت کارآمد سیستم حمل و نقل دانسته‌اند [چینازی و همکاران، ۲۰۲۰]. آن‌ها به بررسی چگونگی گسترش بیماری در کشور چین پرداختند و برای این منظور تمامی مسافت‌های داخلی و خارجی این شهر با سایر شهرهای چین را از تاریخ ۲۳ ژانویه ۲۰۲۰ به بعد مورد بررسی قرار دادند. سپس سیاست‌های دولت چین برای منعویت مسافت‌ها را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که منعویت مسافت‌های داخلی و خارجی در شهرها می‌تواند موجب کاهش بیش از ۵۰٪ تعداد افراد آلوده به بیماری شود. همچنین کاهش ۹۰ درصدی تمامی مسافت‌ها در مدل آن‌ها شبیه‌سازی شد و اهمیت اثر حمل و نقل‌ها بر ارتباطات بین مردم و شیوع بیماری مشخص گردید. در مقاله‌ای دیگر عوامل مختلف در گسترش بیماری کرونا در چین بررسی شده است و عامل حمل و نقل به‌طور ویژه‌ای از سایر عوامل مهم‌تر شناسایی شده است [دو و همکاران، ۲۰۲۰]. در این مقاله به بررسی اثرات حمل و نقل پیش از اعلام قرنطینه پرداخته شد و احتمال انتقال افراد بیمار از ووهان به سایر شهرهای چین بررسی گردید. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که به احتمال زیاد مسافران شهر ووهان موجب آلوده شدن مستیم ۱۳۰ شهر دیگر چین بوده‌اند. همچنین مهم‌ترین مکان برای پخش آلودگی در هر شهر مراکز شلوغ آن شهر معرفی شده است که عامل حمل و نقل مؤثرترین موضوع برای تقویت شلوغی است.

همچنین مقالات مختلفی بر اهمیت شبکه‌های حمل و نقل برای کترول بیماری کرونا تأکید کرده‌اند [ایوانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ووچن و همکاران، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰]. آن‌ها افزایش ارتباطات در مسیرهای حمل و نقل عمومی را اولین عامل برای تقویت گسترش بیماری و انتقال افراد بیمار به مناطق دیگر را دومین عامل تقویت گسترش بیماری می‌دانند. آن‌ها با استفاده از مدل سازی به بررسی اثر عوامل مختلف پرداخته‌اند. برای مثال در مقاله وو و همکاران به کلیدی‌تر دانسته‌اند. برای امثال حمل و نقل نسبت به سایر عوامل را بررسی محیط‌های داخلی و خارجی وسائل حمل و نقل پرداخته شد و عواملی مانند تعداد نفرات در تماس و مدت زمان نزدیک بودن افراد باهم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر فرد دارای علامت این بیماری ممکن است در یک اتوبوس یا

کرونا در تماس بوده‌اند، شناسایی شوند. همچنین مسافرانی که از کشورهای دیگر به ایران آمده‌اند و افرادی که با آن‌ها در تماس بوده‌اند مورد آزمایش قرار گرفتند تا از سلامت یا بیمار شدن آن‌ها اطمینان حاصل شود، زیرا این افراد دارای ریسک بیشتری برای مبتلا بودن به بیماری کرونا هستند. در جهان کنونی با توجه به افزایش روزافزون پیچیدگی‌ها و دخالت انواع متغیرهای متفاوت در سیستم‌های موجود لازم است تا در کنار تلاش‌های مختلف، از دیدگاه سیستمی با در نظر گیری تمام متغیرهای مربوطه، موارد اثرگذار بر این متغیرها، شرایط آن‌ها و تأثیر هر کدام از متغیرها بر سایر متغیرها برای رفع بحران‌ها استفاده شود. ممکن است عدم وجود دیدگاه سیستمی در یک بخش اثرهای مثبت کوتاه‌مدتی داشته باشد اما به دلیل عدم لحاظ نکردن همه شرایط، احتمال وجود تأثیرات منفی بلندمدت برای آن سیستم بالا است. به همین دلیل حوزه مدل‌سازی پویائی شناسایی سیستم جزو حوزه‌های در حال پیشرفت سریع در علم سیستم است [لونسبوری و همکاران، ۲۰۱۵]. یک مدل سیستمی مشارکتی از یک مجموعه تنها در صورتی حاصل خواهد شد که در مدل مربوطه استفاده از تحلیل سیستم‌های مختلف، شناسایی مسیرهای تهدید اصلی و در نظر گرفتن انطباق با عملکرد خدمات مختلف لحظه شود [دارابی و همکاران، ۲۰۲۰]. سیستم‌های پشتیبانی مرتبط با این مدل‌ها باید با ویژگی‌های قابل تعمیم در زمینه تنوء، خودتنظیمی و ادغام سیستم‌های کمکی تعریف شوند [ایگر و همکاران، ۲۰۲۰]. در تحقیقات مختلف متغیرهایی از جمله منابع انسانی، دانش و مهارت افراد درون سیستم، تجهیزات، فناوری و اطلاعات به کار گرفته شده در تجزیه و تحلیل یک بیماری در نظر گرفته شده است [شین و همکاران، ۲۰۱۵].

سراسر جهان، اقدامات فوری بهداشت عمومی از جمله نظارت بر بیماری، تحقیقات گستره در مورد همه‌گیری و بسته شدن بازارها به سرعت توسط مقامات بهداشت چین در اول ژانویه سال ۲۰۲۰ اجرا شد [هوی و همکاران، ۲۰۱۴]. دانشمندان چینی تلاش کردند تفاوت عالم ناشی از ویروس جدید را با ویروس‌های تنفسی شایع دیگر مانند سارس، آنفلوانزای مرغی و آنفلوانزای فصلی را در مدت زمان کوتاهی مشخص کنند تا سریع‌تر بفهمند که با چه نوع بیماری درگیر هستند [هوی و همکاران، ۲۰۲۰]. برخی تحقیقات بر آمارهای مربوط به این بیماری تمرکز کرده‌اند و نشان داده‌اند که میزان مرگ‌ومیر کسانی که در ابتدای ماه مارس بیمار شده‌اند، ۶٪ بوده است. امروز، بیشتر تحقیقات میزان مرگ‌ومیر را با نرخ پایین‌تری نشان داده‌اند و گزارش شده است که ۷۰٪ از مبتلایان به کرونا احتمالاً آزمایش مربوط به تشخیص بیماری را نداده‌اند و به همین دلیل آمار آن‌ها در موارد ثبت شده مبتلایان قطعی به بیماری وجود ندارد [فاسی و همکاران، ۲۰۲۰]. مطالعه دیگری این تعداد را برای مرحله اولیه بیماری همه‌گیر در چین ۸۶٪ گزارش کرده است [لی و همکاران، ۲۰۲۰]. برخی از کشورها مبادرات اقتصادی و مسافرتی قابل توجهی با چین دارند، از جمله هند، پاکستان، اندونزی، مالزی، ویتنام، میانمار، بنگلادش، فیلیپین و سایر کشورها در جنوب و شرق آسیا که این موضوع بیش از دو میلیارد نفر را در معرض ابتلا به این بیماری قرار می‌دهد. لذا این کشورها به همراه سایر کشورها در تلاش بوده‌اند که روابط خود را با چین محدود کنند [وانگ و همکاران، ۲۰۲۰]. پس از مشاهده اولین موارد مبتلا به این بیماری در ایران نیز تلاش‌های زیادی برای شناسایی افرادی شد که در ارتباط با مبتلایان به این بیماری بوده‌اند. بدین منظور تلاش شده است که تمامی افرادی که با بیماران قطعی مبتلا به

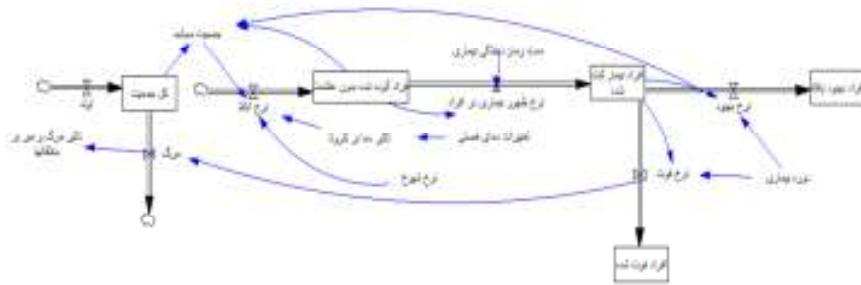
### ۳- مدل‌سازی پویای پیشنهادی برای کرونا

در ابتداء به معرفی هسته اصلی مدل‌سازی پویائی سیستم پیشنهادی به شرح زیر می‌پردازیم. مدل پیشنهادی در این مقاله، بر اساس مدل‌های بیماری‌های عفونی برای افراد مستعد بیماری، افراد در معرض بیماری، افراد بهبودیافته و افراد فوت شده طراحی می‌شود. طبق بررسی مقالات متشرشده در

حوزه این بیماری، اکثر افراد یک جامعه مستعد مبتلا شدن به این بیماری هستند. خوشبختانه بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی میزان جمعیت، تعداد متولدین و مرگ‌ومیرها برای کشور ایران در دسترس است. همچنین باید در نظر گرفت که جمعیت مبتلا به بیماری کرونا ابتدا هیچ‌گونه علامتی ندارند

بر اساس گزارش‌های تأییدشده، درنهایت پس از گذشتן این مدت، افراد بهبود قطعی می‌یابند، آن‌ها از تعداد افراد مستعد کسر می‌شوند. از دیگر سو برخی تحقیقات بیانگر این است که تغییرات دما نیز در گسترش این بیماری تأثیر بسزایی دارد که این موضوع نیز در این مدل در نظر گرفته شده است. شکل ۱ و جدول ۱ جزئیات بیشتر در مورد هسته اصلی مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهند.

و به مرور زمان علائم این بیماری آشکار می‌شوند. زمان آشکار شدن این علامت ممکن است بیش از ۱۴ روز هم طول بکشد. در این مدل فرض شده است که افراد مبتلای قطعی یا بهبود می‌یابند و یا می‌میرند. از آنجاکه طبق تحقیقات صورت گرفته افراد بهبود یافته همچنان ممکن است طی مدت تقریبی ۱۴ روز سایر افراد مستعد را آلوده کنند، احتمال انتقال مجدد بیماری به دیگران نیز در مدل در نظر گرفته شده است. با عنایت به اینکه



شکل ۱. ساختار هسته اصلی مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی

جدول ۱. بررسی هسته اصلی مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی

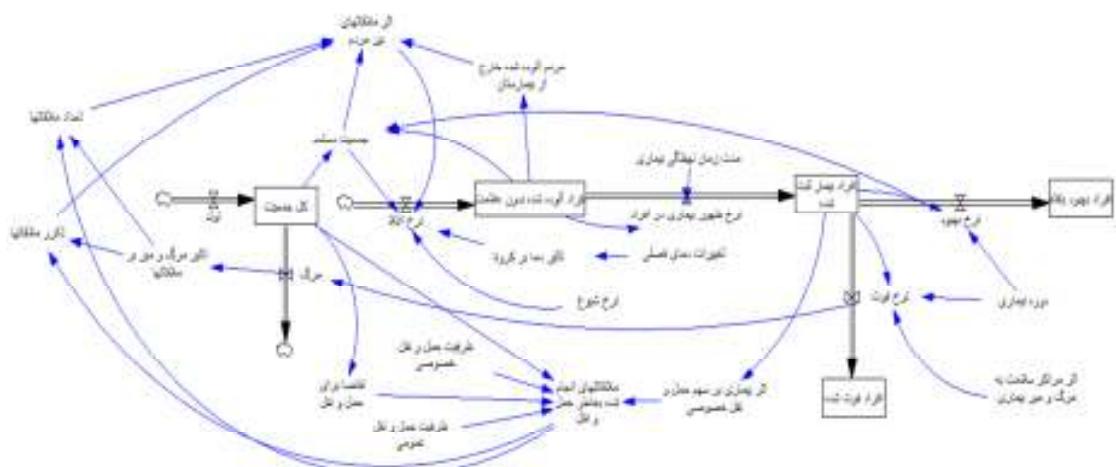
نام متغیر	نوع متغیر	تعریف
تولد	نرخ	تعداد متوسط تولدگان در هرسال
مرگ	نرخ	تعداد متوسط مرگ‌ومیرها در هرسال
کل جمعیت	حالت	جمعیت ایران
جمعیت مستعد	حالت	جمعیت مستعد که ۹۵٪ از مردم ایران هستند
نرخ ابتلا	کمکی	میزان ابتلا به بیماری کرونا
افراد آلوده شده بدون علامت	حالت	تعداد مبتلایان بدون علامت بیماری کرونا
دوره بیماری	ثابت	میانگین زمان مشاهده شده بین ظهور اولین علامت و پایان عفونت‌ها
نرخ ظهور بیماری در افراد	نرخ	تعداد اضافه شده به بیماران تأیید شده
افراد بیمار ثبت شده	حالت	تعداد بیماران قطعی و ثبت شده مبتلا به این بیماری
مدت زمان نهفتگی بیماری	ثابت	میانگین زمان نهفتگی بیماری کرونا
نرخ فوت	نرخ	میزان مرگ‌ومیر بر اثر بیماری کرونا
افراد فوت شده	حالت	تعداد افرادی که بر اثر بیماری فوت شده‌اند
نرخ بهبود	نرخ	نرخ بهبود یافتنگان از کل بیماران
افراد بهبود یافته	حالت	تعداد افراد بیمار بهبود یافته
نرخ شیوع	ثابت	میزان شیوع کرونا
تغییرات دمای فصلی	کمکی	متosط دمای کشور ایران در طول یک سال
تأثیر دما بر بیماری کرونا	کمکی	تأثیر دما بر عملکرد این بیماری برای شیوع

مدیریت کارآمد سیستم حمل و نقل دانسته‌اند [چینازی و همکاران، ۲۰۲۰]. نویسنده‌گان به این نتیجه رسیدند که ممنوعیت مسافرت‌های داخلی و خارجی در شهرها می‌تواند موجب کاهش بیش از ۵۰٪ تعداد افراد آلوده به بیماری شود. در این بین دو و همکاران [دو و همکاران، ۲۰۲۰] در مطالعه جدگاه‌های نتیجه‌گیری کردند که مسافران شهر ووهان مستقیماً موجب آلوده شدن ۱۳۰ شهر دیگر چین بوده‌اند. آن‌ها عامل حمل و نقل مدیریت نشده را مهم‌ترین عامل در انتقال بیماری به افراد سالم دانسته‌اند. برخی دیگر از محققین هم در مقالات مختلف بر اهمیت شبکه‌های حمل و نقل برای کنترل این بیماری تأکید کردند [ایوانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ووچن و همکاران، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰]. آن‌ها افزایش ارتباطات در مسیرهای حمل و نقل عمومی را اولین عامل برای تقویت گسترش بیماری می‌دانند. یک از این مطالعات نشان می‌دهد که هر فرد مبتلا به این بیماری ممکن است در یک اتوبوس یا واگن مترو دهان نفر را مانند خود مبتلا کند [وو و همکاران، ۲۰۲۰]. لذا مدیریت سیستم حمل و نقل عمومی تأثیری مهم در کنترل یا توسعه این بیماری دارد. به همین خاطر ما در این تحقیق یکی از مهم‌ترین بخش‌ها را به طراحی سیستم حمل و نقل و تأثیر آن در شیوع بیماری تحصیص داده‌ایم. شکل ۲ و جدول ۳ جزئیات بیشتری را در مورد زیرسیستم حمل و نقل در مدل پویائی شناسی سیستم حاضر نشان می‌دهند.

سیستم مراقبت‌های بهداشتی یکی از زیرسیستم‌های مدل پیشنهادی در این مقاله است که بخش‌های مختلف آن بر اساس گزارش‌های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ایران تنظیم می‌شود. پس از طراحی روابط مختلف بین اجزای این زیرسیستم، ساختار نهایی به هسته اصلی مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی اضافه می‌شود. این زیرسیستم ظرفیت بیمارستان‌ها و سایر مراکز بهداشتی و درمانی در ایران را برای پذیرش بیماران کرونا در نظر می‌گیرد. تخت‌های اختصاص‌یافته به این بیماران بر اساس تعداد بیماران و ظرفیت‌های سیستم مراقبت‌های بهداشتی افزایش می‌یابد. اثرات سیستم مراقبت‌های بهداشتی بر بهبودی و مرگ‌ومیر بر اساس دسترسی بیماران به مراکز مختلف در نظر گرفته شده است. جدول ۲ بخش‌های در نظر گرفته شده برای این زیرسیستم را نشان می‌دهد. زیرسیستم مهم دیگر در این مدل، بخش حمل و نقل است. امروزه حمل و نقل بخش جدایی ناپذیر زندگی روزمره است که به حمل و نقل عمومی و خصوصی تقسیم می‌شود. ظرفیت هر یک از آن‌ها بر اساس گزارش‌های وزارت راه و ترابری ایران تعیین شده است. حمل و نقل باعث افزایش تعداد تماس بین مردم می‌شود و حمل و نقل عمومی در افزایش ارتباطات میان افراد یک جامعه تأثیر زیادی دارد. افزایش تبلیغات عمومی در مورد بیماری کوید ۱۹ باعث می‌شود که افراد بیشتری از حمل و نقل خصوصی استفاده کنند. مطابق مروء ادبیات، چینازی و همکاران یکی از عوامل مهم در انتشار بیماری کرونا را عدم

جدول ۲. بررسی زیرسیستم سلامت در مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی

نام متغیر	نوع متغیر	تعریف
ظرفیت بیمارستان‌ها	ثبت	ظرفیت تعداد تختخواب‌ها در بیمارستان‌ها
ظرفیت سایر مراکز سلامت	ثبت	ظرفیت تعداد تختخواب‌ها در سایر مراکز
تحت‌های تخصیص یافته برای این بیماران	کمکی	تعداد تخت‌های اختصاص داده شده به بیماران مبتلا به کرونا
نسبت بیمار به تحت	کمکی	نسبت تعداد بیماران مبتلا به کرونا به تعداد تخت‌های اختصاص داده شده
اثر مراکز سلامت به بهبود بیماری	کمکی	تأثیر خدمات مراکز سلامت بر بهبود بیماری
اثر دسترسی به مراکز سلامت	کمکی	تأثیر دسترسی مراکز سلامت بر خدمات آن‌ها
اثر مراکز سلامت به مرگ‌ومیر بیماران	کمکی	تأثیر خدمات مراکز سلامت بر مرگ‌ومیر بیماران



شكل ۲. ساختار زیرسیستم حمل و نقل در ارتباط با هسته اصلی مدل پویایی شناسی سیستم پیشنهادی

### جدول ۳. بررسی زیرسیستم حمل و نقل در مدل پویایی شناسی سیستم پیشنهادی

نام متغیر	نوع متغیر	تعریف
اثر بیماری بر سهم حمل و نقل خصوصی	کمکی	تأثیر اخبار بیماری کرونا در استفاده از وسائل نقلیه خصوصی
ملاقات‌های انجام شده به خاطر حمل و نقل	کمکی	میانگین تعداد بازدیدها در هر حمل و نقل
ظرفیت حمل و نقل خصوصی	ثبت	متوسط ظرفیت حمل و نقل شخصی
ظرفیت حمل و نقل عمومی	ثبت	متوسط ظرفیت حمل و نقل عمومی
نتفاضا برای حمل و نقل	کمکی	میانگین درخواست‌های حمل و نقل

جدول ۴. بررسی زیرسیستم شبکه دارو و غذا در مدل پویایی شناسی سیستم پیشنهادی

نام متغیر	نوع متغیر	تعریف
اثر بیماری بر تقاضا	کمکی	تأثیر اخبار مربوط به بیماری این بر تقاضا برای داروها و مواد غذایی
تقاضای مردم	کمکی	متوسط تقاضای مردم
کمبود کالا	کمکی	متوسط کمبود اقلام مختلف
ظرفیت شبکه‌های غذا و دارو	ثبت	میانگین ظرفیت توزیع مراکز دارویی و غذایی
تأثیر کمبود کالا بر ملاقات‌ها	کمکی	اثرات کمبود متوسط اقلام مختلف بر تعداد مخاطبین

و گفته می شود ساخت واکسن و استفاده از آن ممکن است  
مدت زمان زیادی به طول بینجامد. بنابراین لازم است تا  
رفتارهای مردم با توجه به اخبار منتشرشده بین آنها تحلیل شده  
و لحاظ گردد. در این مدل تقاضای مردم برای  
ضد عغونی کننده ها، ماسک ها و سایر داروهای مورد توجه  
قرار گرفته است. با توجه به گزارش های معاونت غذا و داروی  
وزارت بهداشت و درمان، ظرفیت این مراکز و در دسترس  
بودن آنها به سرعت قابل تغییر نیست؛ بنابراین مدیریت مناسب  
این زیرسیستم نیازمند اطلاعات صحیح در مورد تغییرات تقاضا  
است. جدول ۴ جزئیات بیشتری در مورد این زیرسیستم ارائه

شبکه‌های توزیع مواد غذایی و دارو و ظرفیت‌های آن‌ها می‌تواند در تراکم جمعیت متقاضی روزانه تأثیر بگذارد. عدم توانایی این شبکه‌ها در تأمین نیازهای مردم و افزایش ناگهانی تقاضا به دلیل اخبار منتشر شده مربوط به این بیماری می‌تواند تأثیر بسزایی در گسترش آنودگی داشته باشد. همچنین شایعات و اخبار اشتباه منتشر شده در شبکه‌های غیررسمی تأثیر زیادی بر رفتار مردم یک جامعه می‌گذارد و می‌تواند موارد مربوطه را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، هنوز دارو یا واکسن مؤثی برای این کشف نشده است.

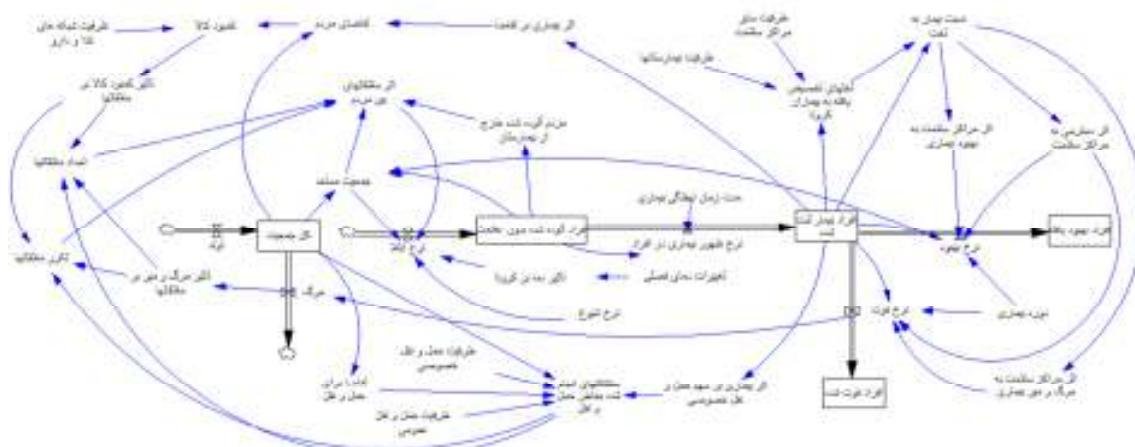
مراکر مواد غذایی و دارو و حمل و نقل است. جدول ۵ جزئیات بیشتر در مورد این زیرسیستم را نشان می‌دهد.

باتوجه به الگوی بیماری‌های عفونی و زیرسیستم‌های مرتبط با آن (مراقبت‌های بهداشتی، حمل و نقل، شبکه‌های مواد غذایی و دارویی و زیرسیستم تماس)، مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی در این مقاله طراحی شده است. شکل ۱ مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی را با زیرسیستم‌های مرتبط نشان می‌دهد.

زیرسیستم مراقبت‌های بهداشتی بخش اصلی مدل پیشنهادی را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال، زیرسیستم‌های حمل و نقل و مراکر مواد غذایی و دارویی به‌طور غیرمستقیم بخش اصلی مدل پیشنهادی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این زیرسیستم‌ها بر تعداد و دفعات بازدید و تماس بین افراد تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین زیرسیستم بازدید و یا تماس نیز در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. این بخش از مدل پیشنهادی شامل حلقه‌های تقویت‌کننده برای زیرسیستم

جدول ۵. بررسی زیرسیستم اثر تماس‌ها در مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی

نام متغیر	نوع متغیر	تعریف
مردم آلوده شده خارج از بیمارستان	حالت	متوسط تعداد افراد آلوده که کرونا در خارج از بیمارستانها
اثر ملاقات بین مردم	کمکی	تأثیر تماس با میزان پخش آلودگی بیماری کوید ۱۹
تأثیر مرگ و میر بر ملاقات‌های بین مردم	کمکی	تأثیر مرگ و میر بر تعداد ملاقات‌های بین افراد
تکرار ملاقات‌ها	کمکی	متوسط تعداد تکرار ملاقات‌های بین افراد
تعداد ملاقات‌ها	کمکی	تعداد متوسط مخاطبین برای هر نفر



شکل ۳. نمایی از مدل پویائی شناسی سیستم پیشنهادی

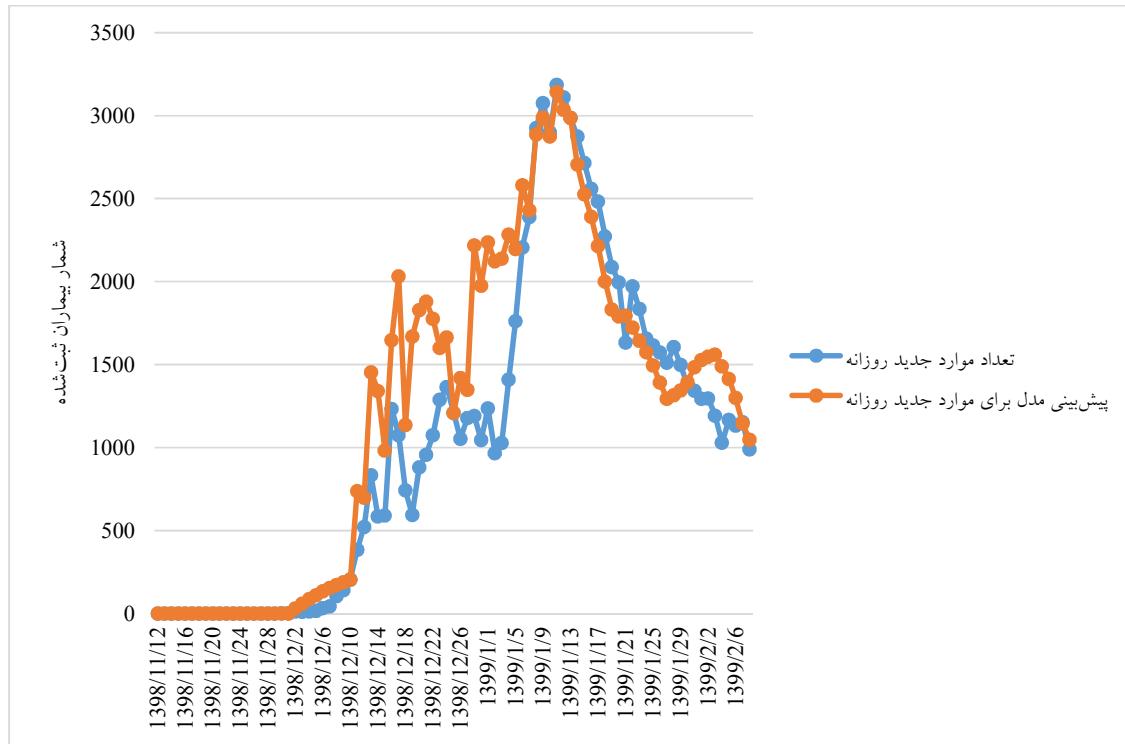
- اثرات کرونا برای ۶ ماه یا ۱۸۲ روز (۱۲ بهمن ۱۳۹۸ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۹) در ایران شبیه‌سازی می‌شود؛
- فرض بر این است که در این دوره، هیچ واکسن یا داروی مؤثر برای مبارزه با کرونا در ایران ارائه نمی‌شود؛
- با توجه به قرنطینه کشورها و قوانین جدید اعلام شده، روابط ایران با سایر کشورها به شدت محدود است، لذا این روابط در نظر گرفته نشده است؛
- رویکرد قانون‌گذاران و مردم ایران توجه کامل به این بیماری است؛

مدل پیشنهادی در این مقاله شامل هسته اصلی سیستم بیماری‌های عفونی است. تعداد چهار زیرسیستم به شرح زیر نیز تکمیل‌کننده مدل پویائی شناسی سیستم در این مقاله هستند. این چهار زیرسیستم عبارت‌اند از: زیرسیستم مراقبت‌های بهداشتی، زیرسیستم حمل و نقل، زیرسیستم شبکه‌های مواد غذایی و دارویی و زیرسیستم تماس بین مردم. برای شبیه‌سازی و طراحی این مدل از نرم افزار ونسیم استفاده شده است. برای بررسی اعتبار مدل به تحلیل نتایج تعداد افراد مبتلا قطعی می‌پردازیم. فرضیات این مدل به شرح زیر است:

توسط مدل و  $\bar{x}$  برابر با مقادیر واقعی مرتبط با یک روند دارای  $n$  مقدار باشند، آنگاه مقدار خطای جذر میانگین مربعات

$$\text{استاندارد شده به صورت } \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n} \text{ به دست می‌آید. با توجه به اینکه خطای جذر میانگین مربعات استاندارد شده برای مقایسه تعداد موارد جدید روزانه و پیش‌بینی‌های مدل برای این مقدار کمتر از } 0,13 \text{ است، پس می‌توان روند شبیه‌سازی را مورد تایید و قابل‌اتکا دانست.}$$

داده‌های تاریخی در این مقاله از سایت Worldometers به مدت ۸۷ روز (۱۲ بهمن ۱۳۹۸ تا ۸ اردیبهشت ۱۳۹۹) گرفته شده است. نتایج مدل شبیه‌سازی شده برای این مدت به خوبی با روندهای تاریخی اطباق دارد که این موضوع در شکل ۴ نشان داده شده است. برای درک بهتر این روند از خطای جذر میانگین مربعات استاندارد شده استفاده شده است که به بررسی تفاوت بین روندهای پیش‌بینی شده و واقعی می‌پردازد [هیندمان، ۲۰۰۶]. اگر  $\bar{x}$  برابر با مقادیر پیش‌بینی شده



شکل ۴. مقایسه تعداد مبتلایان به دست آمده توسط مدل با واقعیت

### سناریوها و نتایج شبیه‌سازی‌های مختلف

در این مقاله، دو سناریو ارائه شده است تا روندهای احتمالی کرونا در ایران را به شرح زیر پیدا کند:

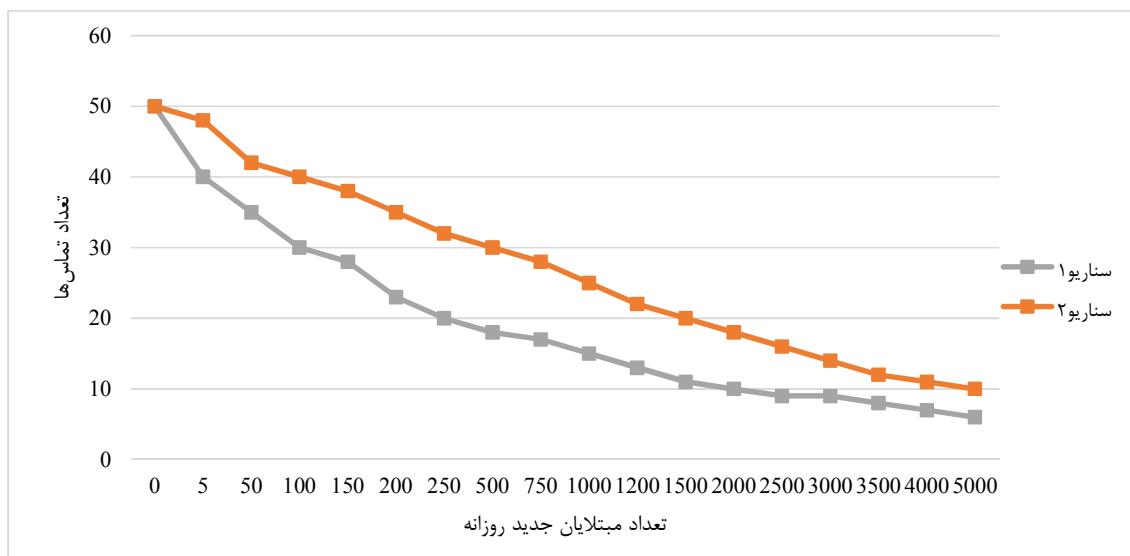
سناریو ۱: در این سناریو دولت با ارائه قوانین سخت‌گیرانه مانع فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی غیرضروری در جامعه می‌شود و مردم هم به خوبی از این قوانین تبعیت خواهند کرد. در این حالت دولت حمل و نقل عمومی و خصوصی را محدود کرده و بسیاری از مشاغل غیرضروری را تعطیل می‌کند. همچنین مدارس و دانشگاه‌ها تعطیل هستند و هرگونه تجمع غیرضروری نیز ممنوع است. در این سناریو فرض بر این است

که بیشتر افراد به مقررات محدودکننده جدید دولت پایند و در صورت عدم تبعیت از این مقررات، تنبیهات سخت‌گیرانه‌ای اعمال خواهد شد.

سناریو ۲: در سناریوی دوم فرض بر این است که مردم زندگی عادی خود را ادامه خواهند داد و دولت نیز نمی‌تواند ظرفیت بیمارستان و سایر زنجیره‌های تأمین را افزایش دهد. در این سناریو دولت محدودیتی در بخش‌های اقتصادی و نیز فعالیت‌های اجتماعی ایجاد نخواهد کرد. لذا حمل و نقل عمومی نیز با ظرفیت عادی به کار خود ادامه خواهد داد. بنابراین مدیریت مناسبی بر روند بیماری صورت نمی‌گیرد.

تنها در صورت ضرورت و طی ضوابط خاصی اجازه تردد به سایر استان‌ها را دارند. تمام پارامترهای نسبی مدل ارائه شده بر اساس موقعیت‌های هر سناریو تنظیم می‌شوند. به عنوان مثال، تغییر در تماس بین افراد و سهم وسایل نقلیه شخصی در حمل و نقل با توجه به تعداد موارد جدید روزانه در شکل ۵ و شکل ۶ ارائه شده است. بدینهی است که حمل و نقل یا با استفاده از وسایل حمل و نقل شخصی و یا وسایل حمل و نقل عمومی انجام می‌شود، بنابراین با افزایش سهم وسایل نقلیه شخصی در حمل و نقل، سهم وسایل نقلیه عمومی کاهش می‌یابد و بالعکس.

در سناریوی اول محدوده‌های طرح ترافیک حذف می‌شوند. به این معنی که مردم آزاد خواهند بود که از وسایل نقلیه شخصی خود برای ورود به محدوده‌های طرح ترافیک بدون پرداخت هرگونه وجهی استفاده کنند. این موضوع به کاهش ازدحام در وسایل نقلیه عمومی کشور در شهرهای بزرگ کمک خواهد کرد. از دیگر سو، صندلی‌های تمامی وسایل حمل و نقل عمومی علامت‌دار می‌شوند و فاصله اجتماعی در آن‌ها رعایت می‌شود. همچنین در این سناریو فرض بر این است که تردد بین استان‌ها محدود می‌شود و مردم



شکل ۵. تعداد تماس‌های بین مردم در سناریوهای مختلف



شکل ۶. سهم وسایل نقلیه شخصی در حمل و نقل برای سناریوهای مختلف

۱۸۲ روز شبهه‌سازی شده و نتایج مربوط به آن در جدول ۶ ارائه شده است. سناریو ۲ با بیشترین مبتلایان روزانه، بیماران

سایر پارامترهای نسبی بر اساس موقعیت‌های هر سناریو و فرضیات آن به طور مشابه تنظیم می‌شوند. سپس، این مدل برای

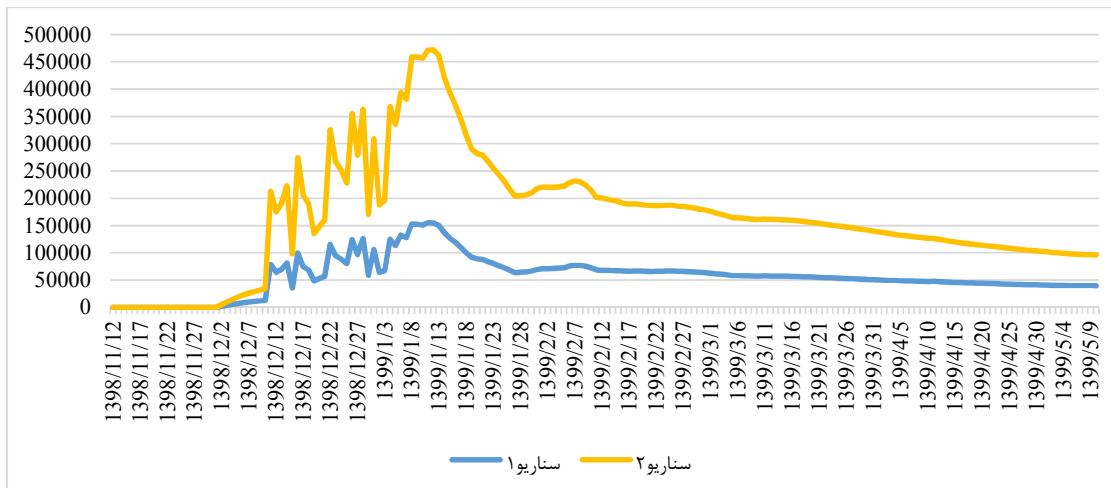
بهبودیافته روزانه و مرگ و میر روزانه سناریو بدتری نسبت به سناریو ۱ است. این سناریو نشان می‌دهد که اگر موارد مدیریتی خواهد داد.

جدول ۶. نتایج مدل پیشنهادی با سناریوهای متفاوت

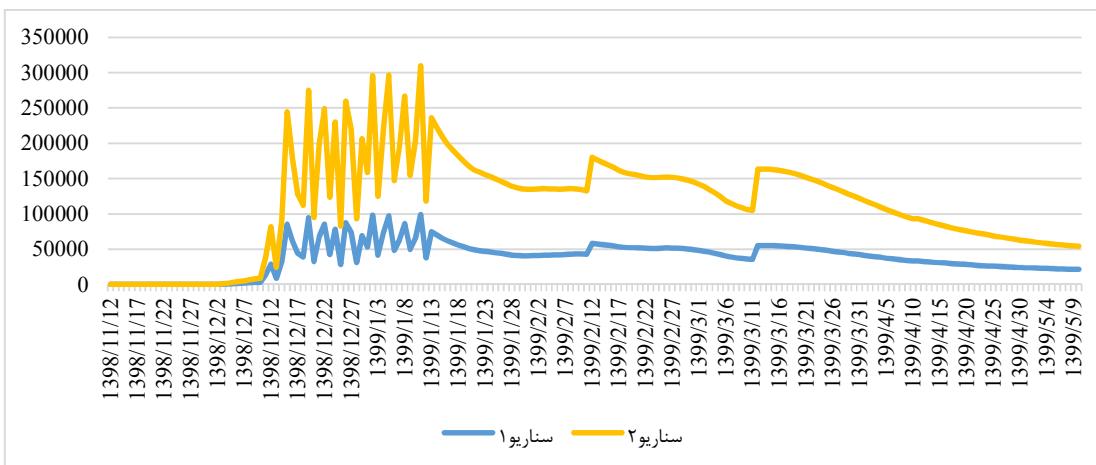
نتایج مدل شبیه‌سازی شده	
کل موارد پس از ۱۸۲ روز شبیه‌سازی	
۱۶۶۲۷۰	مجموع مبتلایان جدید روزانه
۱۳۲۳۷۱	مجموع بیماران بهبودیافته روزانه
۱۰۵۱۱	مجموع مرگ و میر روزانه
۳۰۱۱۲۰۵۶	مجموع مبتلایان جدید روزانه
۲۰۷۸۳۴۵۵	مجموع بیماران بهبودیافته روزانه
۱۶۹۱۶۲۷	مجموع مرگ و میر روزانه

اگرچه هزینه‌هایی برای دولت در بردارد، از آنجاکه باعث کاهش بستری این افراد در بیمارستان‌ها می‌شود؛ هزینه درمان عمومی را کاهش خواهد داد. همچنین اجرای هر اقدامی که باعث شود مردم در مراکز مختلف کمتر تجمع کنند نیز از زمرة اقدامات مفید برای مدیریت مناسب این بیماری خواهد بود. به عنوان مثال مدارس و دانشگاه‌ها بایستی کاملاً بر روی دانش آموزان و دانشجویان بسته بماند، بستان‌ها و تفرجگاه‌ها و هتل‌ها بازگشایی نشوند و بازگشایی مراکز مذهبی را رعایت ضوابط فاصله‌گذاری و استفاده از دستکش و ماسک تحت تدبیر خاصی انجام شوند. در عین حال، مردم در صورتی از قوانین سخت‌گیرانه موردنیاز جهت کنترل این بیماری تعیت خواهند کرد که دولت بتواند حداقل معاش و نیازهای جامعه خصوصاً افراد کمتر برخوردار را تأمین کند. این موارد نیازمند برنامه‌ریزی دقیق خواهد بود.

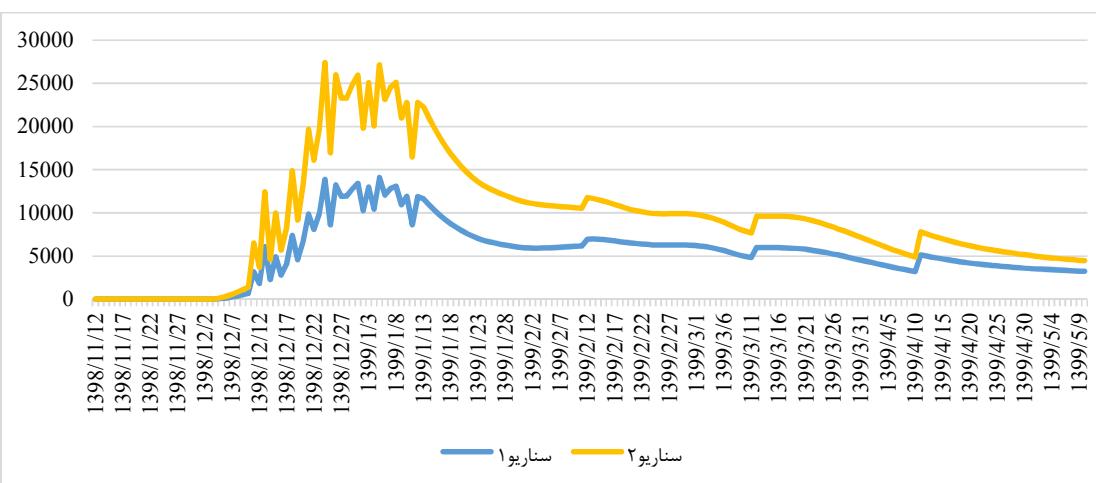
برای درک بهتر اثرات دو سناریوی بررسی شده در این مقاله، آمار موارد جدید ابتلا به بیماری، بیماران بهبودیافته و مرگ و میر مرتبط با آن‌ها در هر روز در طول مدت ۱۸۲ روز بر اساس مدل پیشنهادی در شکل‌های ۸ و ۹ ارایه شده است. این شکل‌ها به خوبی اثر نمایی تغییرات جزئی عوامل در چگونگی افزایش مبتلایان، بهبودیافتگان و مرگ و میر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در بخش‌های پیشین نیز اشاره شده است یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر شیوع بیماری کرونا مدیریت حمل و نقل کشور است. لذا علاوه بر مفروضات این مقاله برخی دیگر از تمهدیات نیز باید اندیشه شوند. از جمله جابجایی مسافران فاقد وسیله حمل و نقل شخصی آسیب‌پذیر مانند افراد مسن و افراد دارای بیماری‌های زمینه‌ای با توان اقتصادی محدود باید تدبیر شود. زیرا این افراد در عین اینکه دارای وسیله شخصی نیستند در ابتلا به بیماری کرونا از سایر افراد مستعدتر و آسیب‌پذیرتر هستند. مدیریت حمل و نقل این افراد



شکل ۷. نمای ششم ماهه از تعداد موارد جدید روزانه مرتبط با بیماری کرونا با توجه به سناریوهای مختلف



شکل ۸. نمای شش ماهه از تعداد روزانه بیماران بهبودیافته مبتلا به کرونا با توجه به سناریوهای مختلف



شکل ۹. نمای شش ماهه از تعداد مرگ و میر روزانه مرتبط با بیماری کرونا با توجه به سناریوهای مختلف

## ۵-نتیجه‌گیری

می‌تواند موارد آلوده را بیش از ۲,۵ برابر افزایش دهد. بیشترین تأثیرات در تعداد مبتلایان جدید روزانه دیده می‌شود. سپس دو سناریوی خوشبینانه و بدینسانه (سناریو ۱ و ۲) مطرح شد و پارامترهای نسبی مدل بر اساس آن‌ها تنظیم شد. این موارد به فراخور بر همه پارامترهای مدل پیشنهادی تأثیر می‌گذارند. برای درک هر سناریو نتایج مرتبط با تعداد مبتلایان جدید روزانه، تعداد بیماران بهبودیافته و تعداد افراد فوت شده در مدت شش ماه یا ۱۸۲ روز بررسی شد. با توجه به نتایج دو سناریوی مختلف، بدترین وضعیت زمانی رخ می‌دهد که مردم حاضر نباشد زندگی عادی خود را تغییر دهند (سناریو ۲) و دولت نیز نتواند ظرفیت بیمارستان و سایر زنجیره‌های تأمین را افزایش دهد. در این سناریو، مجموع مبتلایان جدید روزانه، بیماران بهبودیافته روزانه و تعداد مرگ و میر روزانه به ترتیب

در این مقاله، یک مدل‌سازی پویائی شناسی سیستم پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل شیوع بیماری کرونا در ایران ارائه شده است. این مدل مبتنی بر مدل بیماری‌های عفونی است و زیرسیستم‌های مربوطه شامل مراقبت‌های بهداشتی، حمل و نقل، شبکه‌های مواد غذایی و دارویی و تماس بین افراد را در نظر گرفته است. همچنین ظرفیت زیربخش‌ها و تأثیرات مختلف زیرسیستم‌ها در مدل بیماری‌های عفونی نیز در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج تحلیل حساسیت، اثرات بیماری کرونا در حمل و نقل دارای بیشترین حساسیت و تأثیر تماس‌ها به ویژه در روزهای اولیه تأثیر قابل توجهی بر میزان مبتلایان دارد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که عدم توجه به اثرات حمل و نقل می‌تواند تعداد مرگ و میرها را بیش از ۳,۵ برابر افزایش دهد. علاوه بر این، عدم رعایت نکات بهداشتی در تماس بین افراد

تعداد مرگ‌ومیر روزانه به ترتیب برابر ۱۶۶۲۷۰، ۱۳۲۳۷۱ و ۱۰۵۱۱ نفر است. در این حالت، در تمامی روزها به اندازه کافی تخت بیمارستان برای خدمت به بیماران جدید وجود دارد و مسائل مربوط به بیماری کرونا به خوبی کنترل می‌شود. بنابراین بایستی برنامه‌ریزی‌های متناسبی برای مهار این بیماری در ایران انجام شود تا اثرات این بیماری همواره تحت کنترل باشد و تلفات مربوطه به حداقل برسد. نویسنده‌گان این مقاله پیشنهاد می‌کنند که اثرات اقتصادی سنتاریوی اول در ایران نیز در تحقیقات دیگر بررسی شود.

متلايان جديد روزانه در اين سنتاريyo بيش از ۴۷۰۰۰ نفر است. اين اتفاق پس از حدود ۶۰ روز شبيه‌سازی رخ می‌دهد و در اين زمان ظرفيت كامل سистем مراقبت‌های بهداشتی پر شده و ميزان مرگ‌ومير به طرز چشمگيري افزایيش می‌باشد. در سنتاريyo اول، فرض بر اين است که مردم محدوديتهای اعلام شده توسط دولت را خواهند پذيرفت و دولت نيز می‌تواند موقعیت‌های مختلف را کنترل و مدیریت کند و ظرفیت‌های مربوط به زیرسیستم‌های مختلف را افزایيش دهد. مجموع متلايان جديد روزانه، بيمارan بهبوديافت‌ه روزانه و

## ۶- مراجع

Medicine: A Systematic Literature Review”, System Dynamics Review.

-Du, Z., Wang, L., Cauchemez, S., Xu, X., Wang, X., Cowling, B. J., & Meyers, L. A., (2020), “Risk for transportation of 2019 novel coronavirus disease from Wuhan to other cities in China”. Emerging infectious diseases, pp.26 (5).

-Ershadi, M. M., & Shemirani, H. S., (2019), “Using mathematical modeling for analysis of the impact of client choice on preventive healthcare facility network design”. International Journal of Healthcare Management, pp.1-15.

-Fauci, A. S. Lane, H. C., & Redfield, R. R., (2020), “Covid-19—navigating the uncharted”. -Fiddian-Qasmiyah, E., & Ager, A., (2013), “Local Faith Communities and the promotion of resilience in humanitarian situations”.

-Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y. ... & Cheng, Z., (2020), “Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China”, The Lancet, 395(10223), pp.497-506.

-Hui, D. S., Azhar, E. I., Madani, T. A., Ntoumi, F., Kock, R., Dar, O. ... & Zumla, A. (2020), “The continuing 2019-nCoV epidemic threat of novel coronaviruses to global health—the latest 2019 novel coronavirus outbreak in Wuhan, China”. International Journal of Infectious Diseases, 91, pp.264.

-شهابی حقیقی، س.ج.ر. و ارشادی، م.م. (۱۳۹۷)، "سازمان مدیریت بحران، درس‌هایی از ایران و جهان"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-شهابی حقیقی، س.ج.ر.، ارشادی، م.م. و رحیمی ریسه، ز. (۱۳۹۸)، "مدیریت بحران و پاسخ ملی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-Ager, A. K., Lembani, M., Mohammed, A., Ashir, G. M., Abdulwahab, A., de Pinho, H. & Zarowsky, C., (2015), “Health service resilience in Yobe state, Nigeria in the context of the Boko Haram insurgency: a systems dynamics analysis using group model building”, Conflict and health, 9(1), pp.30.

-“Centers for Disease Control and Prevention”, available at: <https://www.cdc.gov>.

-Chen, N., Zhou, M., Dong, X., Qu, J., Gong, F., Han, Y. ... & Yu, T., (2020), “Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study”, The Lancet, 395(10223), pp.507-513.

-Chinazzi, M., Davis, J. T., Ajelli, M., Gioannini, C., Litvinova, M., Merler, S. & Viboud, C., (2020), “The effect of travel restrictions on the spread of the 2019 novel coronavirus (COVID-19) outbreak”, Science.

-Darabi, N., & Hosseinichimeh, N., (2020), “System Dynamics Modeling in Health and

- Wang, W., Li, Y., & Zhang, J., (2009), "System Dynamics Modeling of SARS Transmission-A Case Study of Hebei Province", In 2009 International Conference on Management and Service Science, pp. 1-4. IEEE.
- Web of Science, available at: <http://apps.webofknowledge.com>.
- WHO reports about countries, available at: <https://experience.arcgis.com/experience/685d0ace521648f8a5beeeee1b9125cd>.
- WHO, available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2020>.
- WHO, (2020), "Emergencies preparedness, response, Pneumonia of unknown origin – China. Disease outbreak news, 5 January, Available at: <https://www.who.int/csr/don/05-january-2020-pneumonia-of-unkown-cause-china/en>.
- World meters, (2020), "COVID-19 CORONAVIRUS OUTBREAK.", available at: <https://www.worldometers.info/coronavirus>.
- Wu, Y. C., Chen, C. S., & Chan, Y. J., (2020), "The outbreak of COVID-19: An overview", Journal of the Chinese Medical Association, 83(3), pp.217.
- Wu, Z., & McGoogan, J. M., (2020), "Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention, Jama".
- Zhang, H., Yang, Z., Pawelek, K. A., & Liu, S., (2020), "Optimal control strategies for a two-group epidemic model with vaccination-resource constraints", Applied Mathematics and Computation, 371, 124956.
- Hyndman, R.J. and Koehler, A.B., (2006), "Another look at measures of forecast accuracy", International journal of forecasting, 22(4), pp.679-688.
- Ivanov, D., (2020), "Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case". Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 136, 101922.
- Kierny, M. P., Evans, D. B., Schmets, G., & Kadandale, S., (2014), "Health-system resilience: reflections on the Ebola crisis in western Africa".
- Li, R., Pei, S., Chen, B., Song, Y., Zhang, T., Yang, W., & Shaman, J., (2020), "Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2)".
- Lounsbury, D. W., Schwartz, B., Palma, A., & Blank, A., (2015), "Simulating patterns of patient engagement, treatment adherence, and viral suppression: A system dynamics approach to evaluating HIV care management". AIDS patient care and STDs, 29(S1), S55-S63.
- Rohleder, T. R., Cooke, D., Rogers, P., & Egginton, J., (2013), "Coordinating health services: an operations management perspective. In Handbook of Healthcare Operations Management, pp. 421-445.
- Shin, N., Kwag, T., Park, S., & Kim, Y. H., (2017), "Effects of operational decisions on the diffusion of epidemic disease: a system dynamics modeling of the MERS-CoV outbreak in South Korea. Journal of theoretical biology, 421, pp.39-50.
- Wang, M., Jiang, A., Gong, L., Luo, L., Guo, W., Li, C. ... & Chen, Y., (2020), "Temperature significant change COVID-19 Transmission in 429 cities, medRxiv.

# **Scenario-Based Analysis about COVID-19 Outbreak in Iran using Systematic Dynamics Modeling - with a Focus on the Transportation System**

*Zeynab Rahimi Rize, M.Sc., Grad., Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.*

*Mohammad Mahdi Ershadi, M.Sc. Grad., Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.*

*Seyed Hamidreza Shahabi Haghighi, Department of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: [shahabi@aut.ac.ir](mailto:shahabi@aut.ac.ir)*

Received: February 2020 -Accepted: June 2020

## **ABSTRACT**

Today, coronavirus (COVID-19) has become a major global threat. A lot of programs are proposed to prevent and estimate its associated processes due to the high risk of its transmitting among humans and the lack of drugs and vaccines to stop it. COVID-19 was first reported on 31 December 2019 in Wuhan, China. After a short time, the disease spread to other countries and became a global disease. According to the lives of most people, the transportation system has a significant impact on controlling or spreading the disease. Therefore, this subsystem is considered as an element of a proposed system dynamics model in this article. This model examines two different scenarios for infected people, mortality rates, and recovery rates. The system is designed according to various subsystems such as health care systems, transportation, public contact, and the capacity of food and drug networks. In the proposed model of this paper, a flow structure is utilized to show the effects of different sections of systems and subsystems depend on the COVID-19 outbreak over a long time. The results of the proposed model show that different parts of the main system and its related subsystems have different sensitivities and effects. Analyzing this model will be useful for government decision-making based on the results of the two scenarios examined. It is assumed that there is no effective vaccine or drug in the next 6 months. The results of the proposed model show that different changes in subsystems could increase COVID-19 mortality in six months from 10,500 to more than 1.6 million. Therefore, the mortality rate of this disease depends on the policies and behaviors of the factors influencing the model. Consequently, the mortality rate can be reduced based on proper planning against each scenario.

**Keywords:** Transportation System, Systems Dynamics Modeling, COVID-19, Iran Healthcare System, Comprehensive Outbreak