

## تجزیه و تحلیل مبتنی بر سناریو شیوع کرونا در ایران توسط مدل سازی پویائی شناسی سیستم‌ها- با محوریت سیستم حمل و نقل

### مقاله پژوهشی

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

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

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

\*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 تخمین 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 مدت‌زمان کوتاهی در کشورهای دیگر گسترش یافت 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 پویائی شناسی 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 بهداشتی، 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. نتایج گرفته شده از مدل پیشنهادی نشان می‌دهد که بخش‌های مختلف سیستم اصلی و زیرسیستم‌های مرتبط با آن در مدل سازی پویائی شناسی 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. نتایج 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 ۱٫۶ 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، مدل سازی پویائی شناسی 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 به تبع 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 درگیر این بیماری شده‌اند به‌طور

نشان داد که هر فرد دارای علامت این بیماری ممکن است در یک اتوبوس یا واگن مترو ده‌ها نفر را مانند خود مبتلا کند [وو و همکاران، ۲۰۲۰]. لذا مدیریت سیستم حمل‌ونقل 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 کردند 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 پویایی‌شناسی سیستمی است [دارابی و همکاران، ۲۰۲۰]. از دیگر سو از آنجاکه مدیریت حمل‌ونقل عمومی یکی از عوامل مؤثر در کنترل یا افزایش تعداد مبتلایان به این بیماری است؛ لذا در این مقاله با استفاده از یک مدل پویایی‌شناسی سیستمی با محور قرار دادن سیستم حمل‌ونقل در ایران به بررسی دو سناریو متفاوت و تأثیر این دو بر تغییر در تعداد مبتلایان و افراد فوت‌شده پرداخته شده است.

## ۲- پیشینه تحقیق

بحران پیشامدی است که به‌صورت 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 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 [آرشادی 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 تأیید 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 (۸۳٪)، سرفه (۸۲٪)، تنگی نفس (۳۱٪)، درد عضله (۱۱٪)، گیجی (۹٪)، سردرد (۸٪)، گلودرد (۵/۵٪)، 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 سی‌تی‌اسکن از ریه‌های تمام بیماران موارد غیرطبیعی مشاهده و ثبت شده است. این تحقیق با مورد مطالعه قرار دادن بیماران نشان می‌دهد که ۲۹٪ عوارض شامل سندرم 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 پلاسماوی بیشتری داشتند [هوانگ و همکاران، ۲۰۲۰]. براساس گزارش‌های تحقیقاتی، ویروس به‌سرعت 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 حمل‌ونقل، 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 این بین، مقالات مختلفی بر اهمیت مدیریت صحیح شبکه‌های حمل‌ونقل برای کنترل بیماری کوید ۱۹ تأکید کرده‌اند [ایوانو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ووچن و همکاران، ۲۰۲۰؛ وو و همکاران، ۲۰۲۰]. آن‌ها افزایش ارتباطات در مسیرهای حمل‌ونقل عمومی را اولین عامل برای تقویت گسترش بیماری و انتقال افراد بیمار به مناطق دیگر می‌دانند. نتایج یک مطالعه

مدیریت شیوع بیماری‌های مختلف است [کینی و همکاران، ۲۰۱۴]. چین‌سازی و همکاران یکی از عوامل مهم در انتشار بیماری کوید ۱۹ را عدم مدیریت کارآمد سیستم حمل و نقل دانسته‌اند [چین‌سازی و همکاران، ۲۰۲۰]. آن‌ها به بررسی چگونگی گسترش بیماری در کشور چین پرداختند و برای این منظور تمامی مسافرت‌های 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 ممنوعیت مسافرت‌ها را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ممنوعیت مسافرت‌های داخلی و خارجی در شهرها می‌تواند موجب کاهش بیش از ۵۰٪ تعداد افراد آلوده به بیماری شود. همچنین کاهش ۹۰ درصدی تمامی مسافرت‌ها 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 مستقیم 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 کنترل 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 مدل‌سازی به بررسی اثر عوامل مختلف پرداخته‌اند و اثر عامل حمل و نقل نسبت به سایر عوامل را کلیدی‌تر دانسته‌اند. برای مثال در مقاله وو و همکاران به بررسی محیط‌های داخلی و خارجی وسایل 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

واگن مترو ده‌ها 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 تحقیقات مدل‌سازی سیستم بهداشت و درمان معمولاً به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

(۱) سطح کلان: این سطح عمدتاً از مدل‌سازی پویایی‌شناسی سیستم برای مدل‌سازی وضعیت استفاده می‌کند؛

(۲) سطح خرد: این سطح ترکیبی از شبیه‌سازی رویدادهای گسسته و تجزیه و تحلیل صف است [زولدر و همکاران، ۲۰۱۳]. بر اساس اسناد مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها، تاکنون شیوع بیماری‌های مختلفی در سراسر جهان گزارش شده است. به‌عنوان مثال، طاعون در سال ۱۷۲۰ و وبا در سال ۱۸۲۰ باعث کشته شدن بسیاری از مردم در سراسر جهان شد. سپس ویروسی معروف به آنفلوآنزای اسپانیایی بیش از ۵۰۰ میلیون نفر در جهان را آلوده و باعث کشته شدن بیش از ۵۰ میلیون نفر شد. در سال ۱۹۵۷، آنفلوآنزای جدیدی در شرق آسیا ناشی از ویروس آنفلوآنزای 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 به‌عنوان آنفلوآنزای 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 کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها، ۲۰۲۰].

کرونا یک بیماری عفونی است که توسط سندرم 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 متداول 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 جهش کند. پس از ادامه گزارش‌های توسعه بیماری کرونا در

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 نظرگیری تمام متغیرهای مربوطه، موارد اثرگذار بر این متغیرها، شرایط آن‌ها و تأثیر هرکدام 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 پویایی شناسی 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 لحاظ شود [دارابی و همکاران، ۲۰۲۰]. سیستم‌های پشتیبانی مرتبط با این مدل‌ها باید با ویژگی‌های قابل تعمیم در زمینه تنوع، 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 گسترده 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 علائم ناشی از ویروس جدید را با ویروس‌های تنفسی شایع دیگر مانند سارس، آنفلوآنزای مرغی و آنفلوآنزای فصلی را در مدت‌زمان 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، ۶٫۳٪ بوده است. امروزه، 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 ثبت‌شده 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 مبادلات 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

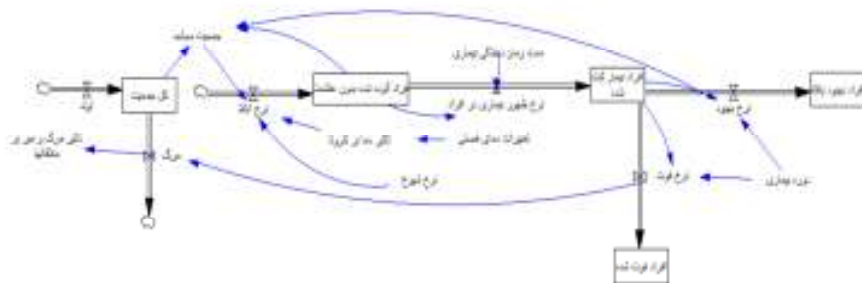
### ۳- مدل‌سازی پویای پیشنهادی برای کرونا

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

در ابتدا به معرفی هسته اصلی مدل‌سازی پویایی 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 منتشرشده در

بر اساس گزارش‌های تأییدشده، در نهایت پس از گذشتن 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 پویایی شناسی سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهند.

و به‌مرور 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 بهبودیافته 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 پویایی شناسی سیستم پیشنهادی

جدول ۱. بررسی هسته اصلی مدل پویایی شناسی سیستم پیشنهادی

تعریف	نوع متغیر	نام متغیر
تعداد متوسط تولدها در هر سال	نرخ	تولد
تعداد متوسط مرگ‌ومیرها در هر سال	نرخ	مرگ
جمعیت ایران	حالت	کل جمعیت
جمعیت مستعد که ۹۵٪ از مردم ایران هستند	حالت	جمعیت مستعد
میزان ابتلا به بیماری کوید ۱۹	کمکی	نرخ ابتلا
تعداد مبتلایان بدون علامت بیماری کرونا	حالت	افراد آلوده شده بدون علامت
میانگین زمان مشاهده شده بین ظهور اولین علامت و پایان عفونت‌ها	ثابت	دوره بیماری
تعداد اضافه شده به بیماران تأیید شده	نرخ	نرخ ظهور بیماری در افراد
تعداد بیماران قطعی و ثبت شده مبتلا به این بیماری	حالت	افراد بیمار ثبت شده
میانگین زمان نهفتگی بیماری کرونا	ثابت	مدت زمان نهفتگی بیماری
میزان مرگ‌ومیر بر اثر بیماری کرونا	نرخ	نرخ فوت
تعداد افرادی که بر اثر بیماری فوت شده‌اند	حالت	افراد فوت شده
نرخ بهبودیافتگان از کل بیماران	نرخ	نرخ بهبود
تعداد افراد بیمار بهبودیافته	حالت	افراد بهبودیافته
میزان شیوع کرونا	ثابت	نرخ شیوع
متوسط دمای کشور ایران در طول یک سال	کمکی	تغییرات دمای فصلی
تأثیر دما بر عملکرد این بیماری برای شیوع	کمکی	تأثیر دما بر بیماری کرونا

مدیریت کارآمد سیستم حمل و نقل دانسته‌اند [چینازی و همکاران، ۲۰۲۰]. نویسندگان 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 جداگانه‌ای نتیجه‌گیری کرده‌اند 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 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 می‌دانند. یک از این مطالعات نشان می‌دهد که هر فرد مبتلا به این بیماری ممکن است در یک اتوبوس یا واگن مترو ده‌ها 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 تخصیص داده‌ایم. شکل ۲ و جدول ۳ جزئیات بیشتری را در مورد زیرسیستم حمل و نقل در مدل پویایی 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 پویایی 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 جدایی‌ناپذیر 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 مرور ادبیات، چینازی و همکاران یکی از عوامل مهم در انتشار بیماری کرونا را عدم

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

نام متغیر	نوع متغیر	تعریف
ظرفیت بیمارستان‌ها	ثابت	ظرفیت تعداد تختخواب‌ها در بیمارستان‌ها
ظرفیت سایر مراکز سلامت	ثابت	ظرفیت تعداد تختخواب‌ها در سایر مراکز
تخت‌های تخصیص‌یافته برای این بیماران	کمکی	تعداد تخت‌های اختصاص داده شده به بیماران مبتلا به کرونا
نسبت بیمار به تخت	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



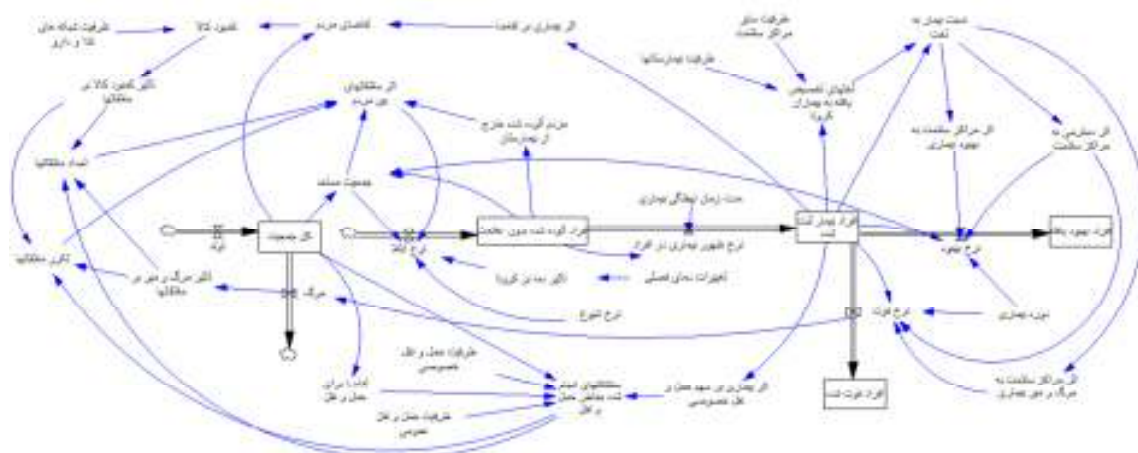
مراکز مواد غذایی و دارو و حمل و نقل است. جدول ۵ جزئیات بیشتر در مورد این زیرسیستم را نشان می‌دهد.

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

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



شکل ۳. نمایشی از مدل پویایی شناسی سیستم پیشنهادی

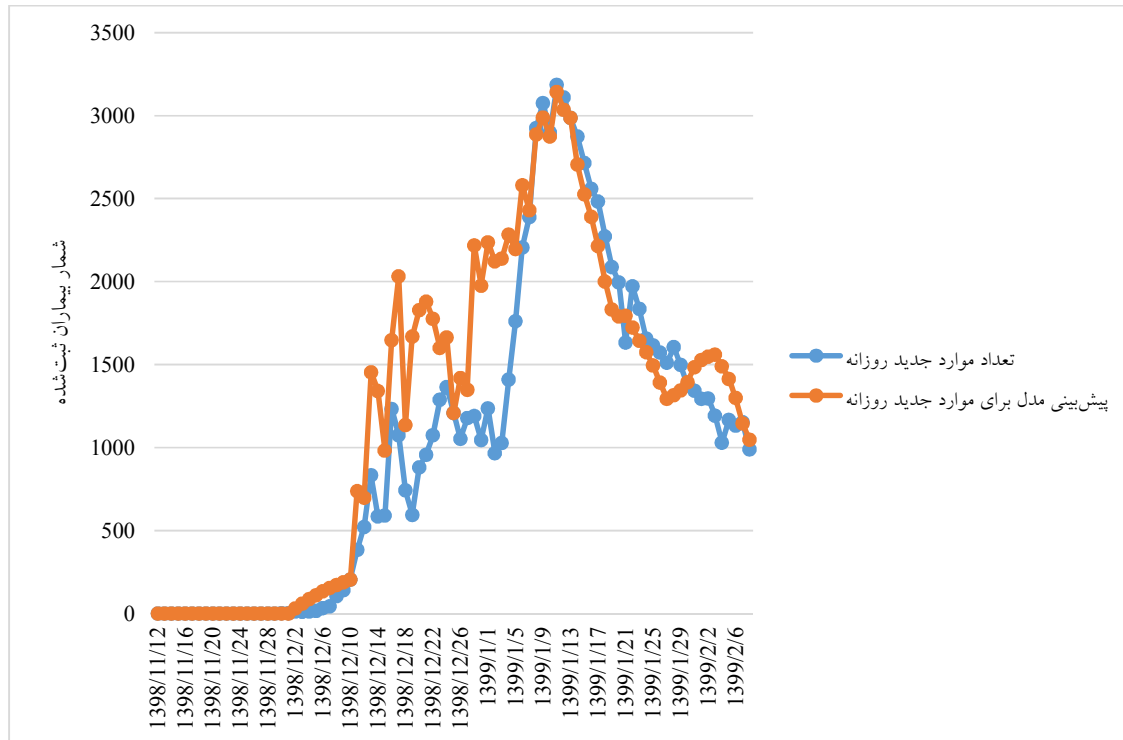
- اثرات کرونا برای ۶ ماه یا ۱۸۲ روز (۱۲ بهمن ۱۳۹۸ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۹) در ایران شبیه‌سازی می‌شود؛
- فرض بر این است که در این دوره، هیچ واکسن یا داروی مؤثر برای مبارزه با کرونا در ایران ارائه نمی‌شود؛
- باتوجه به قرنطینه کشورها و قوانین جدید اعلام‌شده، روابط ایران با سایر کشورها به شدت محدود است، لذا این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

مدل پیشنهادی در این مقاله هسته اصلی سیستم بیماری‌های عفونی است. تعداد چهار زیرسیستم به شرح زیر نیز تکمیل‌کننده مدل پویایی 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 نرم‌افزار ونسیم استفاده شده است. برای بررسی اعتبار مدل به تحلیل نتایج تعداد افراد مبتلای قطعی می‌پردازیم. فرضیات این مدل به شرح زیر است:



توسط مدل و  $x_i$  برابر با مقادیر واقعی مرتبط با یک روند دارای  $n$  مقدار باشند، آنگاه مقدار خطای جذر میانگین مربعات استاندارد شده به صورت  $\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}}{n \cdot (x_{max} - x_{min})}$  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 ۰,۱۳ است، پس می‌توان روند شبیه‌سازی را مورد تایید و قابل اتکا 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 انطباق 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 [هیندمن، ۲۰۰۶]. اگر  $\bar{x}_i$  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:

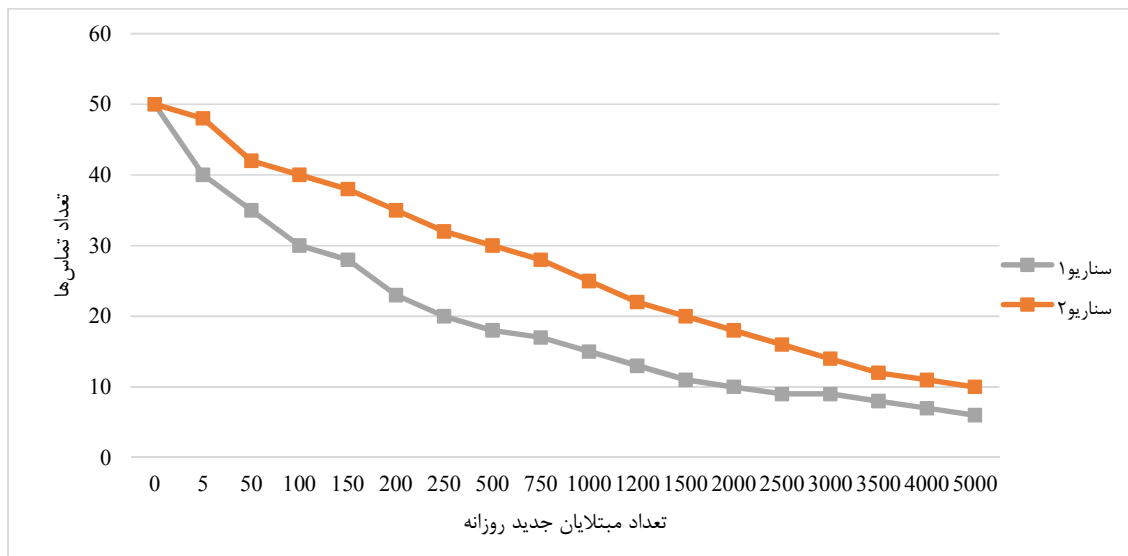
سناریو ۱: در این سناریو دولت با ارائه قوانین سخت‌گیرانه مانع فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی غیرضروری در جامعه می‌شود و مردم هم به خوبی از این قوانین تبعیت خواهند کرد. در این حالت دولت حمل و نقل عمومی و خصوصی را محدود کرده و بسیاری از مشاغل غیرضروری را تعطیل می‌کند. همچنین مدارس و دانشگاه‌ها تعطیل هستند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

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

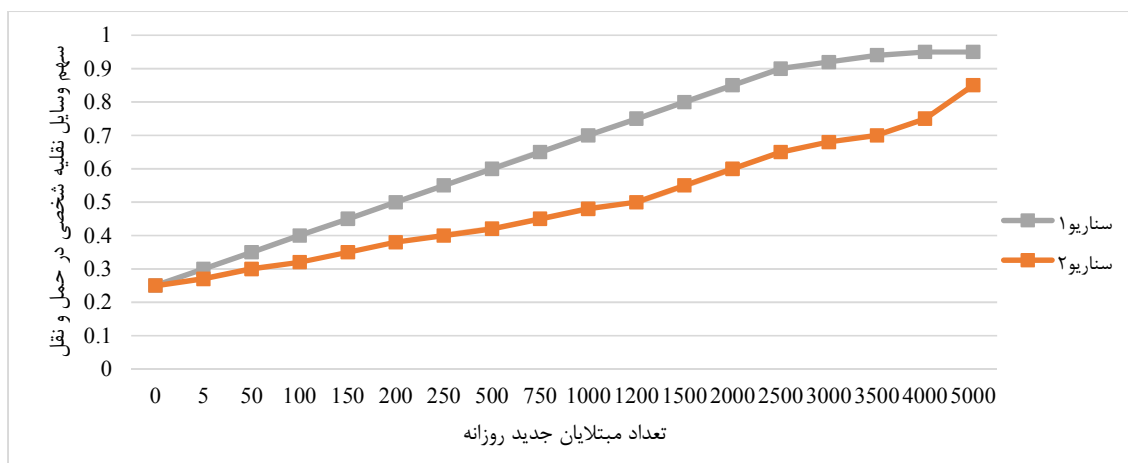
سناریو ۲: در سناریوی دوم فرض بر این است که مردم زندگی عادی خود را ادامه خواهند داد و دولت نیز نمی‌تواند ظرفیت بیمارستان و سایر زنجیره‌های تأمین را افزایش دهد. در این سناریو دولت محدودیتی در بخش‌های اقتصادی و نیز فعالیت‌های اجتماعی ایجاد نخواهد کرد. لذا حمل و نقل عمومی نیز با ظرفیت عادی به کار خود ادامه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



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

۱۸۲ روز شبیه‌سازی 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 به‌طور مشابه تنظیم می‌شوند. سپس، این مدل برای

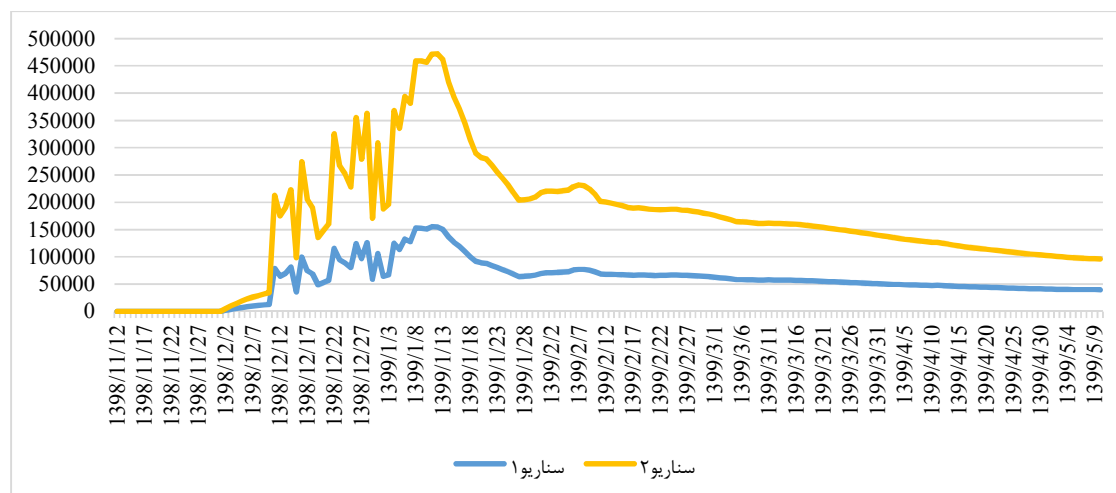
بهبودیافته روزانه و مرگومیر روزانه سناریو بدتری نسبت به سناریو ۱ است. این سناریو نشان می‌دهد که اگر موارد مدیریتی مربوطه توسط دولت به‌خوبی اعمال نشود چه اتفاقی رخ خواهد داد.

جدول ۶. نتایج مدل پیشنهادی با سناریوهای متفاوت

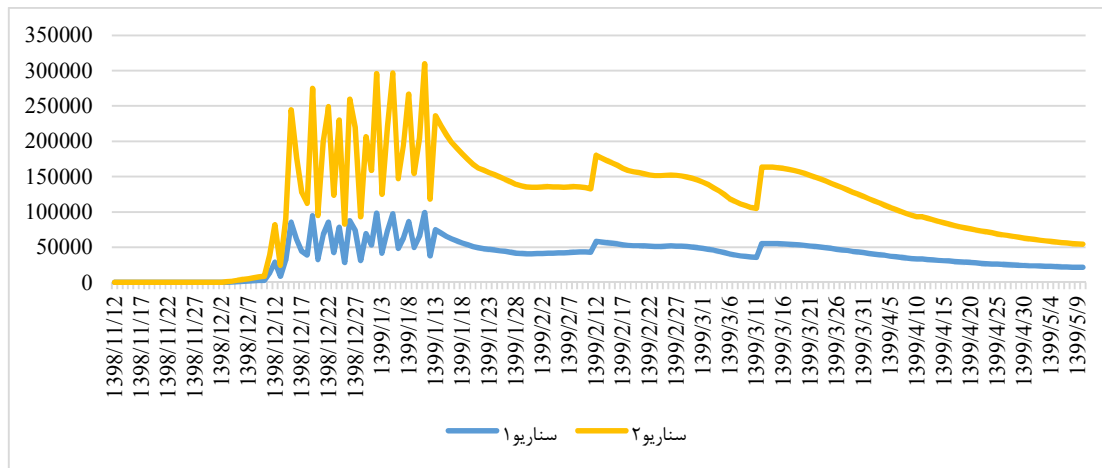
کل موارد پس از ۱۸۲ روز شبیه‌سازی	نتایج مدل شبیه‌سازی شده	
۱۶۶۲۷۰	مجموع مبتلایان جدید روزانه	سناریو یک
۱۳۲۳۷۱	مجموع بیماران بهبودیافته روزانه	
۱۰۵۱۱	مجموع مرگومیر روزانه	
۳۰۱۱۲۰۵۶	مجموع مبتلایان جدید روزانه	سناریو دو
۲۰۷۸۳۴۵۵	مجموع بیماران بهبودیافته روزانه	
۱۶۹۱۶۲۷	مجموع مرگومیر روزانه	

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 زمره اقدامات مفید برای مدیریت مناسب این بیماری خواهد بود. به‌عنوان مثال مدارس و دانشگاه‌ها بایستی کاملاً بر روی دانش‌آموزان و دانشجویان بسته بماند، بوستان‌ها و تفریح‌گاه‌ها و هتل‌ها بازگشائی نشوند و بازگشائی مراکز مذهبی با رعایت ضوابط فاصله‌گذاری و استفاده از دستکش و ماسک تحت تدابیر خاصی انجام شوند. درعین حال، مردم در صورتی از قوانین سخت‌گیرانه موردنیاز جهت کنترل این بیماری تبعیت خواهند کرد که دولت بتواند حداقل معاش و نیازهای جامعه خصوصاً افراد کمتر برخوردار را تأمین کند. این موارد نیازمند برنامه‌ریزی دقیق خواهد بود.

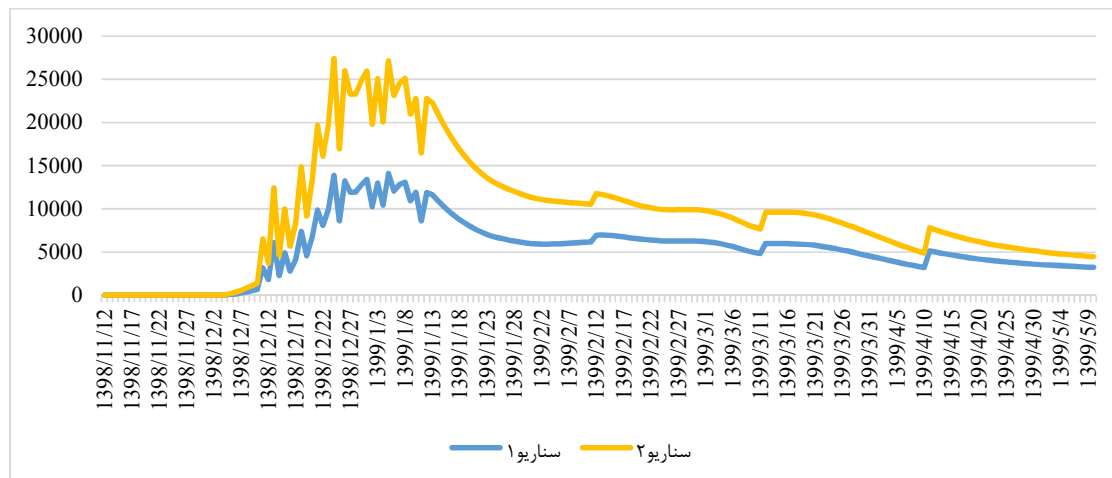
برای درک بهتر اثرات دو سناریوی بررسی شده در این مقاله، آمار موارد جدید ابتلا به بیماری، بیماران بهبودیافته و مرگومیر مرتبط با آن‌ها در هر روز در طول مدت ۱۸۲ روز بر اساس مدل پیشنهادی در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ ارائه شده است. این شکل‌ها به‌خوبی اثر نمایی تغییرات جزئی عوامل در چگونگی افزایش مبتلایان، بهبودیافتگان و مرگومیر 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 تمهیدات نیز باید اندیشیده 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 شش‌ماهه 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- نتیجه گیری

می تواند موارد آلوده را بیش از ۲,۵ برابر افزایش دهد. بیشترین تأثیرات در تعداد مبتلایان جدید روزانه دیده می شود. سپس دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه (سناریو ۱ و ۲) مطرح شد و پارامترهای نسبی مدل بر اساس آن ها تنظیم شد. این موارد به فراخور بر همه پارامترهای مدل پیشنهادی تأثیر می گذارند. 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 می دهد که مردم حاضر نباشند زندگی عادی خود را تغییر دهند (سناریوی ۲) و دولت نیز نتواند ظرفیت بیمارستان و سایر زنجیره های 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 مدل سازی پویایی شناسی سیستم پیشنهادی برای تجزیه و تحلیل شیوع بیماری کرونا در ایران ارائه شده است. این مدل مبتنی بر مدل بیماری های عفونی است و زیرسیستم های مربوطه شامل مراقبت های بهداشتی، حمل و نقل، شبکه های مواد غذایی و دارویی و تماس بین افراد را در نظر گرفته است. همچنین ظرفیت زیربخش ها و تأثیرات مختلف زیرسیستم ها در مدل بیماری های 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 تماس ها به ویژه در روزهای اولیه تأثیر قابل توجهی بر میزان مبتلایان دارد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که عدم توجه به اثرات حمل و نقل می تواند تعداد مرگ و میرها را بیش از ۳,۵ برابر افزایش دهد. علاوه بر این، عدم رعایت نکات بهداشتی در تماس بین افراد

تعداد مرگ و میر 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 می شود. بنابراین بایستی برنامه ریزی های متناسبی برای مهار این بیماری در ایران انجام شود تا اثرات این بیماری همواره تحت کنترل باشد و تلفات مربوطه به حداقل برسد. نویسندگان این مقاله پیشنهاد می کنند که اثرات اقتصادی سناریوی اول در ایران نیز در تحقیقات دیگر بررسی شود.

۳۰۱۱۲۰۵۶، ۲۰۷۸۳۴۵۵ و ۱۶۹۱۶۲۷ خواهد بود. بیشترین مبتلایان جدید روزانه در این سناریو بیش از ۴۷۵۰۰۰ نفر است. این اتفاق پس از حدود ۶۰ روز شبیه سازی رخ می دهد و در این زمان ظرفیت کامل سیستم مراقبت های بهداشتی پر شده و میزان مرگ و میر به طرز چشمگیری افزایش می یابد. در سناریو اول، فرض بر این است که مردم محدودیت های اعلام شده توسط دولت را خواهند پذیرفت و دولت نیز می تواند موقعیت های مختلف را کنترل و مدیریت کند و ظرفیت های مربوط به زیرسیستم های مختلف را افزایش دهد. مجموع مبتلایان جدید روزانه، بیماران بهبودیافته 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-Qasmiyeh, 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.ح.ر. و ارشادی، م.م. (۱۳۹۷)، “سازمان مدیریت بحران، درس هایی از ایران و جهان”، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

-شهابی حقیقی، س.ح.ر.، ارشادی، م.م. و رحیمی ریس، 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/685d0ace521648f8a5beeee1b9125cd>.
- 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-unknown-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.
- Kieny, 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 Rise, 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*

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