

مدلسازی تاثیر سیستم حمل و نقل عمومی بر انتشار ویروس کرونا

مقاله علمی - پژوهشی

علیرضا آبسالان، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*علیرضا سرکار، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: sarkar@srbiau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۱ - پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۱

صفحه ۴۸۲-۴۶۹

چکیده

ظهور بیماری‌های واگیردار جدید عفونی به یک مشکل جدی جهانی تبدیل شده است و شبکه‌های حمل و نقل عمومی عامل مهمی در زمینه گسترش سریع اینگونه بیماری‌ها می‌باشند. در این مقاله، مدلسازی انتشار ویروس کووید-۱۹ (COVID-19) با بکارگیری مدل ریاضی دینامیکی شناخته شده با نام SIR برای افراد مستعد به آلودگی، آلوده و بهبود یافته، با استفاده از نرم افزار MATLAB انجام پذیرفته است. این مطالعه با استفاده از آمار دقیق موارد مبتلایان و مرگ و میر ناشی از ویروس کرونا در ایران در بازه‌های زمانی مشخص، به تاثیر سیستم‌های حمل و نقل ریلی، هوایی و جاده‌ای بر انتشار ویروس کرونا از مبدأ شهر تهران به مقصد شهرهای مشهد و شیراز پرداخته است. براساس نتایج این مطالعه، میانگین نرخ شیوع ویروس کرونا در ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، برای سیستم‌های حمل و نقل ریلی، هوایی و جاده‌ای به ترتیب از مبدأ تهران به مقصد مشهد برابر با ۲/۱۰، ۲/۱۱ و ۲/۱۶ و برای مبدأ تهران به مقصد شیراز برابر با ۲/۰۹، ۲/۱۰ و ۲/۱۲ می‌باشد. با توجه به آمار مبتلایان و مرگ و میر مسافران تهران به مشهد و تهران به شیراز و همچنین محاسبه شده، نتایج حاکی از این‌تر بودن سفرها از نظر شیوع ویروس کووید-۱۹ با سیستم حمل و نقل ریلی نسبت به حمل و نقل هوایی و جاده‌ای و همچنین حمل و نقل هوایی نسبت به حمل و نقل جاده‌ای می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: حمل و نقل عمومی، نرخ شیوع، مدلسازی انتشار، مدل ریاضی COVID-19، SIR

۱- مقدمه

سلامتی، اقتصادی و روابط اجتماعی تحت تاثیر قرار داده است. اقدامات محدودیت دسترسی توسط بسیاری از کشورها انجام شده است که پاسخ سریع و در عین حال موثر برای مهار شیوع ویروس بوده است (McNally, 2020). در این مقاله از مدل کلاسیک SIR^۱ برای مدلسازی شیوع کووید-۱۹ در حمل و نقل عمومی در ایران بهره گرفته شده است. حجم زیادی از مسافران در حال جابجایی میان کلان شهرها جهت انجام سفرهای زیارتی و سیاحتی با استفاده از حمل و نقل عمومی برون شهری (اعم از حمل و نقل ریلی، هوایی و جاده‌ای) می‌باشند. با شیوع پاندمی جدید در سال ۲۰۱۹ به نام COVID-19 همه کشورها تحت شعاع قرار گرفتند و یکی از دلایل بسیار مهم شیوع و گسترش پاندمی جدید استفاده از سیستم‌های حمل و نقل بوده است.

در دسامبر سال ۲۰۱۹، ویروس کرونا (COVID-19) از شهر ووهان در چین بطور گسترده ایی انتشار یافت و طی چند هفته به یک بیماری همه گیر در سراسر جهان تبدیل شد. این بیماری بعنوان یک چالش بزرگ برای سیستم حمل و نقل عمومی در سراسر جهان مطرح گردید که نتیجه آن، کاهش کم سابقه تقاضا و درآمد حاصل از استفاده از حمل و نقل عمومی از زمان شیوع این بیماری بوده است (Tirachini, 2020). سازمان بهداشت جهانی نام رسمی COVID-19 را صادر کرد که CO به عنوان کرونا، VI به عنوان ویروس، D به عنوان بیماری و ۱۹ برای اولین سال شناسایی است. در نتیجه گسترش سریع ویروس در کشورهای دیگر، کووید-۱۹ به عنوان یک بیماری همه گیر طبقه بندی شد. این ویروس زندگی مردم سراسر جهان را به لحاظ

شبکه‌های حمل و نقل شامل حمل و نقل دریایی، ریلی، هوایی و جاده‌ای بوده است (Chappell and Romo, 2020). شاهد این مدعا افزایش تعداد مبتلایان و مرگ و میرهای ناشی از انتشار این ویروس می‌باشد که دولت‌ها را وادار به اعمال محدودیت‌های اجتماعی برای شهروندان نمود. پاندمی کرونا نشان داد که سیستم‌های حمل و نقل عمومی باید با شرایط جدید سازگار شوند. بنابراین بایستی تمهیداتی مثل کاهش تعداد مسافران در هر مسیر تردد، ضد عفونی مداوم، توزیع ماسک، غربالگری بیماران و تغییراتی در طراحی ایستگاه‌ها و توزیع بر اساس تراکم جمعیت اندیشیده شود (Ryan, 2020). به دلیل انجام سفرها برای شرکت در جشنواره‌ایی در چین ویروس کرونا شیوع گسترده‌ای یافت و شبکه‌های حمل و نقلی، انتشار ویروس و بیماری را تسریع نمودند. مطالعات انجام گرفته در چین در مورد نقش حمل و نقل بر شیوع گسترده ویروس کووید-۱۹ به دو دسته تقسیم شده است، دسته اول افرادی بودند که بر نقش حمل و نقل در گسترش داخلی کووید-۱۹ قبل از قرنطینه ووهان تمرکز داشتند و دسته دوم افرادی که تاثیر سیاست‌های قرنطینه و محدودیت‌های سفر را بررسی می‌نمودند. مطالعات نشان داد، قطارهای سریع السیر نقش مهمی در گسترش شیوع ویروس دارد. یکی از مطالعات انجام شده در سال ۲۰۲۰ توسط Wan نشان داد که اتصال از طریق قطارهای سریع السیر به ووهان، منجر به افزایش تعداد کل موارد تایید شده تجمعی می‌شود (Wan, 2020). مطالعه دیگری توسط Guo و Zhu در سال ۲۰۲۱ با استفاده از داده‌های ۲۷۱ شهر چین انجام شد. نمونه شامل ۱۳۵۵۰ مشاهده از ۲۷۱ شهر، که ۵۰ روز از ۱۱ ژانویه تا ۲۹ فوریه را پوشش می‌داد و متغیر وابسته در این مدل تعداد موارد تایید شده جدید روزانه در هر شهر بود. داده‌ها از مرکز کنترل و پیشگیری بیماری کشور چین جمع‌آوری شده بود (China CDC). همچنین وضعیت آب و هوا، از جمله شاخص کیفیت هوای شهرها، رطوبت نسبی و سرعت باد از دیگر پارامترهای مورد نظر در این تحقیق بود (Zhu and Guo, 2021). بر این اساس یک مدل اثر تصادفی بصورت زیر تعریف شد.

به علت شیوع و انتقال سریع ویروس کرونا در بین افراد، امکان انتقال سریع‌تر ویروس در فضاهای بسته سیستم‌های حمل و نقل برون شهری وجود دارد (Hart, 2020). ویروس کرونا وجود اطلاعات محدود از این بیماری، ناکارآمدی ابعاد مختلف سیستم حمل و نقل عمومی را آشکار کرد. در حقیقت، رشد جمعیت و نیاز بیش از پیش در استفاده از ناوگان عمومی، توسعه حمل و نقل بین شهری، علت سرعت بالای انتشار این ویروس است. این موضوع سبب شد تا کنترل این بیماری در سیستم حمل و نقل عمومی نیازمند اتخاذ مکانیزم‌هایی از جمله ایجاد فضای حایل میان مسافران و جدا کردن آنان از یکدیگر در یک فضای بسته، استقرار سامانه‌های هوشمند تشخیص بیماران کرونایی، سامانه‌های هوشمند ضد عفونی ناوگان و نیز اتخاذ برنامه‌های تردد مبتنی بر به حداقل رساندن ریسک ابتلای مسافران به بیماری باشد. از اینرو، بیش از هر زمان دیگری، پرداختن به موضوع شیوع بیماری کرونا در سیستم حمل و نقل عمومی از اهمیت برخوردار می‌باشد. هدف این پژوهش مدلسازی انتشار ویروس کرونا و مقایسه سطح انتشار ویروس کرونا در انواع ناوگان حمل و نقل عمومی ایران می‌باشد. در این مطالعه این پرسش مطرح می‌شود که انتخاب نوع ناوگان حمل و نقل عمومی در انجام سفرهای برون شهری در ایران چه تاثیری بر میزان انتشار ویروس کرونا دارد و در نهایت این فرضیه اثبات می‌شود که سطح انتشار ویروس کرونا وابسته به نوع ناوگان حمل و نقل عمومی مورد استفاده می‌باشد و ناوگان حمل و نقل زمینی می‌تواند بیشترین تاثیر را در انتشار بیماری داشته باشد.

نوآوری این تحقیق نسبت به سایر تحقیقات و مطالعات انجام گرفته، در این موضوع است که در هیچ یک از تحقیقات داخلی و یا خارجی بررسی و مقایسه شیوع ویروس کرونا در سیستم‌های حمل و نقل عمومی برون شهری انجام نگرفته است.

۲- تاثیرات ویروس کرونا بر حمل و نقل عمومی

شیوع گسترده کووید-۱۹ و همه گیری آن، از یک سو و اعمال محدودیت‌های اجتماعی ناشی از آن توسط دولت‌ها از سوی دیگر پیامدهای اقتصادی فراوانی را متوجه کشورهای درگیر نموده است. یکی از آثار شیوع این ویروس تأثیر آن بر

$$\ln(\text{NewCase}_{i,t}) = \beta_0 + \beta_1 \text{Treated}_{HSR_i} + \beta_2 \text{Treated}_{Flight_i} + \beta_3 \text{Distance}_i + \beta_4 \sum_{k=0}^{19} \text{RatioMove}_{i,t-k} + \beta_5 \text{Weather}_{i,t} + \beta_6 \text{SocioEcon}_i + v_i + \theta_1 + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

بهبود یافته با عنوان SIR می‌باشد. مدل‌های ریاضی بیش از ۱۰۰ سال است که برای درک انتقال پویایی اپیدمی و پیشبینی گسترش بیماری استفاده شده است. در مدل‌های کلاسیک تقسیم جمعیت، از روش طبقه بندی مبتنی بر جمعیت برای نشان دادن گسترش بیماری‌های عفونی استفاده می‌شوند که مدل SIR نمونه ای از این دسته است. مدل SEIR^۲ برای تجزیه و تحلیل پویایی اولیه انتقال و کنترل است (Prem et al, 2020). در مواردی که مستعد آلودگی بعد از بهبودی پیش می‌آید، SIS گفته می‌شود. از دیگر مدل‌ها می‌توان به مستعد آلودگی به نام SI و مستعد در معرض آلودگی، آلوده به نام SEI و به مستعد، در معرض آلودگی، آلوده، مستعد به نام SEIS وجود دارند. یک مدل آماری معمولاً رابطه ریاضی بین یک یا چند متغیر تصادفی یا غیر تصادفی است. مدل‌های آماری اغلب از تجزیه و تحلیل داده‌های اکتشافی برای بدست آوردن مشخصات اصلی یا از تجزیه و تحلیل داده‌های تاییدی برای آزمایش فرضیه‌های آماری استفاده می‌کنند. مدل‌های اپیدمیولوژیکی مبتنی بر شبکه از مفهوم بزرگنمایی سرچشمه می‌گیرند. مدل‌های مبتنی بر شبکه می‌توانند مبتنی بر جمعیت یا مبتنی بر فرد باشند البته بستگی به داده‌های تحلیل شده دارد. یکی از چالش‌های مدل مبتنی بر شبکه، مجموعه داده‌ها است. در این تحقیق تاثیر حمل و نقل در افزایش شیوع ویروس‌های همه‌گیر با استفاده از مدل‌های آماری بررسی شده است. در این مطالعه از مدل‌های آماری برای تجزیه تحلیل داده‌ها و شناسایی و مدیریت بهتر آنها استفاده شده است. در این مدل‌ها با در نظر گرفتن متغیرهای اضافی مانند تولد، فوت و مهاجرت این مدل‌های اولیه به مدل‌های ریاضی پیچیده تری تبدیل می‌شوند. مدل‌های آماری می‌توانند معادلات دیفرانسیلی بیماری پاندمی کنونی را بر اساس داده‌های شیوع بیماری پاندمی گذشته حل کنند که در نهایت در این پژوهش یک بررسی جامع از این مدل‌ها برای درک عمیق تر از تعامل بین حمل و نقل و اپیدمی‌ها صورت گرفته است (Li et al, 2020).

مدلسازی با مدل SIR

مدل اپیدمیک SIR مدلی است که بطور گسترده‌ای برای پیش‌بینی بیماری‌های عفونی استفاده می‌شود. منشأ آن

که i شهر و t تاریخ را نشان می‌دهد. $(NewCase_{i,t}) \ln$ الگوریتم تعداد موارد تایید شده در شهر i و در تاریخ t ، $Treated_{HSR_i}$ یک متغیر ساختگی برابر یک است اگر قطار سریع السیر مستقیم از شهر i به ووهان باشد. $Treated_{Flight_i}$ یک متغیر ساختگی برابر یک است اگر پرواز مستقیم از شهر i به ووهان باشد، $Distance_i$ فاصله بزرگراه بین ووهان و شهر i است، $RatioMoveIn_{i,t-k}$ نسبت روزانه مهاجرت به شهر i و نسبت مهاجرت خارج شهر روزانه را نشان می‌دهد، $Weather_{i,t}$ متغیرهای آب و هوایی اعم از: رطوبت نسبی و سرعت باد است، $SocioEcon_i$ دو شاخص عمده اقتصادی-اجتماعی شامل می‌شود: تولید ناخالص داخلی سرانه و تراکم جمعیت. V_i متغیرهای توضیحی مشاهده نشده، θ_i اثرات خاص تاریخ‌های خاص را ثبت می‌کند و در آخر ε_{it} ضریب خطا است. ضریب HSR بدست آمده از روابط بالا نشان می‌دهد که شهرهایی که به طور مستقیم با ووهان در ارتباط هستند، ۲۵/۵ درصد بیشتر از موارد روزانه تایید شده را نسبت به شهرهایی که به طور مستقیم با ووهان ارتباط ندارند، نشان می‌دهد. میزان تاثیر حمل و نقل هوایی کمتر بوده است و به طور متوسط شهرهایی که مستقیماً با ووهان از طریق حمل و نقل هوایی ارتباط داشتند، ۲۱/۲ درصد بیشتر از موارد روزانه تایید شده را نسبت به شهرهایی که ارتباط مستقیم هوایی با ووهان ندارند، نشان می‌دهند. این مطالعه نشان داد که قطار سریع السیر و حمل و نقل هوایی هر دو تاثیر مثبتی بر شیوع گسترده کووید-۱۹ در چین داشتند و قرنطینه نمودن از طریق قطار سریع السیر و حمل و نقل هوایی منجر به کاهش قابل توجه موارد آلودگی روزانه شدند. این روش نه تنها برای جلوگیری از شیوع بیماری فعلی موثر است بلکه برای کنترل گسترش ویروس‌های واگیردار آینده نیز مفید خواهد بود (Zhu and Guo, 2021).

انواع مختلف روش‌های مدلسازی شیوع ویروس‌ها

پیش‌بینی و کنترل بیماری‌های واگیردار چالش عمده سیستم بهداشت جهانی است. بیماری‌هایی از قبیل سارس، آنفلوآنزای خوکی، ابولا، ویروس زیکا و COVID-19 که جدیدتر از همه است، در سراسر جهان گسترش یافته است (Li et al, 2020). ساده‌ترین این مدل‌های ریاضی، مدل مستعد آلودگی، آلوده و

یافته برای نشان دادن چگونگی تاثیر آن ها بر جمعیت و سپس نتایج عددی را بر اساس داده‌های واقعی ایتالیا و اسپانیا نشان خواهد داد. سه مجموعه شبیه سازی را با پارامترهای زیر در نظر می‌گیریم.

$$b = 0.4, N = 1000, R_0 = 5 \text{ و } I_0 = 45, S_0 = 950$$

$$t = 60, g = 0.1 \text{ و } a_{1,2,3} = \{0.2, 0.4, 0.6, 0.8\} \text{ است.}$$

در هر مجموعه، فقط یک a_i تغییر می‌کند در حالی که دو باقی مانده دیگر ۱ است. در این صورت، ما می‌توانیم ترتیب خاص a_i را ببینیم که چگونه است، $i = \{1, 2, 3\}$ بر مدل‌ها تاثیر دارد (Koziol et al, 2020). در قسمت مدل تعمیم یافته SIR برای پیش بینی انتقال کووید-۱۹ در ایتالیا و اسپانیا استفاده شده است. نقطه شروع شبیه سازی در مورد ویروس همه‌گیری ایتالیا ۲۱ فوریه است که ۱۹ مورد فعال و صفر مورد حذف شده بوده است.

$$S_0 = 60461726, N = 60461828, R_0 = 0, I_0 = 19, \text{ پس}$$

است. نقطه شروع شبیه سازی در مورد ویروس همه‌گیری اسپانیا ۲۷ فوریه است که ۳۱ مورد فعال و ۰ مورد حذف شده بوده

$$S_0 = 46757209, N = 46757240, R_0 = 0, I_0 = 31, \text{ پس}$$

است (Koziol et al, 2020). نتایج پیش‌بینی شده مدل برای گسترش کووید-۱۹ در ایتالیا مفید بودن روش را تایید می‌کند. با این حال، مدل‌سازی نتایج برای اسپانیا نشان می‌دهد که مدل دارای برخی محدودیت‌ها است. در مورد موج دوم اپیدمی، پیش‌بینی مدل داده‌های واقعی را نشان نمی‌دهد. با این وجود این مطالعه مدلی را ارائه داده است که مفید واقع بوده و می‌تواند در آینده مفید واقع شود (Koziol et al, 2020)

۲-۲-۲- مدل‌سازی با مدل SEIR

در مطالعه Chong and Ying Zee در سال ۲۰۱۲، از آنفلوآنزای خوکی در سال (۲۰۰۹) برای ارزیابی تاثیر سفرهای هوایی، دریایی و زمینی در شهر هنگ کنگ استفاده شده است. ورود به هنگ کنگ از ۴۴ کشور توسط حمل و نقل دریایی، هوایی و زمینی قابل دسترسی است. برای انجام مدل‌سازی داده‌های جمعیت از پایگاه‌های بین‌المللی استخراج شده است. احتمال سفر فردی برای هر کشور به عنوان نرخ سفر روزانه

به کارهای بنیادی کرماک و مک کندریک در اوایل قرن ۲۰ بر می‌گردد. مدل SIR یکی از ساده‌ترین مدل‌های دینامیکی است که کل جمعیت N به ۳ زیرمجموعه تقسیم می‌شود: (S) تعداد افراد مستعد به بیماری هستند، (I) تعداد افراد عفونی و (R) تعداد افراد حذف شده هستند که یا بهبود پیدا کرده‌اند و یا فوت شده‌اند. مدل SIR شامل ۳ معادله دیفرانسیل بصورت زیر است (Koziol et al, 2020):

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta IS}{N} \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta IS}{N} - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \end{aligned} \quad (2)$$

B و Y به ترتیب میزان عفونت و بهبودی هستند. نرخ شیوع هم برابر است با:

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma} \quad (3)$$

مشتق به شکل D^α ارائه شده است، باید توجه داشت که مشتق معمولاً در یکی از سه تعاریف، تعریف می‌شود به عنوان مثال کاپوتو، ریمان-لیوویل و گرولاندر لتیکوف. در این مقاله از گرولاندر لتیکوف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Koziol et al, 2020).

$$D^\alpha x(t) = h^{-\alpha} \lim_{h \rightarrow 0^+} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{t}{h} \rfloor} (-1)^j \binom{\alpha}{j} x\left(t - \frac{j}{h}\right) \quad (4)$$

که t زمان پیوسته است، h فاصله نمونه گیری است.

مدل نسبی SIR را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد.

$$\begin{aligned} D^{\alpha_1} S(t) &= -\frac{\beta I(t)S(t)}{N} \\ D^{\alpha_2} I(t) &= \frac{\beta I(t)S(t)}{N} - \gamma I(t) \\ D^{\alpha_3} R(t) &= \gamma I(t) \end{aligned} \quad (5)$$

تعمیم نسبی پویایی مدل SIR با نمونه کلاسیک متفاوت است.

۱-۲-۲-۱- شبیه ساز عددی

در قسمت شبیه سازی عددی بینشی از پویایی مدل ارائه شده اپیدمی تعمیم یافته SIR و همچنین تغییر نتایج عددی را نشان می‌دهد. در ابتدا، از شبیه سازی با مدل‌های مختلف تعمیم

تقسیم شده‌اند: مستعد $S(t)$ ، در معرض $E(t)$ ، آلوده $I(t)$ و بهبود یافته $R(t)$ در هر زمان t است. در این مطالعه، ۹۰ درصد و ۹۹ درصد محدودیت سفر f_k برای انواع مختلف حمل و نقل (k) اعمال شده است. فرض شده است که ۱۲ درصد (p_i) افراد عفونی، داروی ضد ویروس ارائه شده است و ۶ درصد (p_H) آلوده در بیمارستان بستری هستند و باقیمانده ۸۲ درصد (p_U) افراد آلوده هستند که تحت درمان نیستند. داروی ضد ویروس میزان عفونت (ψ) افراد را تا ۶۰ درصد کاهش می‌دهد (Ferguson et al, 2006). سیستم تصادفی به صورت زیر است:

تقسیم بر جمعیت محاسبه شده است. داده‌های ورودی از آمار ورود بازدید کننده توسط هیئت گردشگری هنگ کنگ استخراج شده است. این آمار شامل کل ورودی‌ها به کشور با ناوگان حمل و نقل است. در این تحقیق مدل SEIR برای مطالعه پویایی H1N1pdm گسترش یافته است. در این مدل ویروس خارجی که از طریق حمل و نقل هوایی، دریایی و زمینی وارد می‌شود، سازگار می‌باشد. خروجی‌های مدل دوره زمانی به تعویق افتاده و نرخ حمله بیماری (AR) است. فرض شده است که همه افراد در جمعیت حساس هستند و بطور متوسط دوره‌های نهفته و عفونی به ترتیب $1/45$ و $2/9$ روز تنظیم شدند (Chong and Ying Zee, 2012). جمعیت N ، به 4 گروه

$$\begin{aligned} S(t + \Delta t) &= S(t) - B(t) \\ E(t + \Delta t) &= E(t) + B(t) + \sum_k (1 - f_k)IM_k^E(t) - EX^E(t) - C(t) \end{aligned} \quad (6)$$

$$I(t + \Delta t) = I(t) + C(t) + (1 - v) \sum_k (1 - f_k)IM_k^I(t) - EX^I(t) - D(t) - M(t) - N(t)$$

$$\begin{aligned} T(t + \Delta t) &= T(t) + M(t) - P(t) \\ H(t + \Delta t) &= H(t) + N(t) - Q(t) \\ R(t + \Delta t) &= R(t) + D(t) + P(t) + Q(t) \end{aligned} \quad (7)$$

و $\text{bin}(m,n)$ را به عنوان توزیع دو جمله‌ای با احتمال m و تعداد کل افراد n نشان داده شده است. همچنین توزیع کلاس‌ها به صورت زیر آورده شده است.

$$B(t) \sim \text{bin}\left(1 - \exp\left[-\frac{\beta}{N}[I(t) + (1 - \psi)T(t) + H(t)]\Delta t\right], S(t)\right) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} C(t) &\sim \text{bin}(1 - \exp(-\alpha\Delta t) \cdot E(t)) \\ M(t) &\sim \text{bin}(p_T\Delta t \cdot I(t)) \\ N(t) &\sim \text{bin}(p_H\Delta t \cdot I(t)) \\ D(t) &\sim \text{bin}(p_U[1 - \exp(-\gamma_R\Delta t)] \cdot I(t)) \\ P(t) &\sim \text{bin}(1 - \exp(-\gamma_T\Delta t) \cdot T(t)) \\ Q(t) &\sim \text{bin}(1 - \exp(-\gamma_H\Delta t) \cdot H(t)) \end{aligned} \quad (9)$$

این تاخیر در همه‌گیری امکان تولید واکسن وجود دارد و اگر این محدودیت‌ها نتوانند ۹۰ درصد مسافران را تحت پوشش قرار دهند زمان اوج زودتر اتفاق می‌افتد (Chong and Ying Zee, 2012).

در مطالعه انجام شده توسط Hamdy در سال ۲۰۲۰ تلاش برای استفاده از داده‌های واقعی برای مدلسازی COVID-19 با مدل SEIR برای کشور عربستان سعودی بوده است. در هر

که β نرخ انتقال بیماری و $\frac{1}{a}$ دوره پنهان متوسط است. در نتایج مطالعه آورده شده است که محدودیت‌های حمل و نقل هوایی باید وقتی ویروس همه گیر جدیدی بوجود می‌آید، اعمال شود. هنگامی که ویروس همه‌گیری در چین یا کشور دیگری آغاز می‌شود، باید محدودیت سفرهای زمینی از آن کشور اعمال شود. اگر محدودیت‌ها با استفاده از داروی ضد ویروس و بیمارستان‌ها قادر به پوشش ۹۹ درصد مسافران هستند، در نتیجه

کردن بهتر از درمان است، دیگر آنکه برای کاهش سرعت انتقال ویروس تا جای امکان داخل خانه ماند و افراد بیمار در منطقه‌ای جدا شده بماند تا از انتشار ویروس جلوگیری شود و همچنین برای کسانی که سالم و یا بیمار هستند مکمل و ویتامین برای محافظت از خود مصرف کنند (Hamdy et al, 2020). روابط این مدل برابر است با:

$$\frac{dS(t)}{dt} = \Lambda - \beta S(t)I(t) - \mu S(t)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \varepsilon_1 E(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \gamma E(t) - \varepsilon_2 I(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \delta E(t) + \alpha I(t) - \mu R(t)$$

کشوری جمعیت را می‌توان به ۴ دسته تقسیم کرد که با پارامترهای زیر میشه نرخ انتقال آن را تعیین کرد. از جداول آماری که وزارت سعودی صادر شده است استفاده شده است برای اطلاعات بیشتر برای جمعیت، نرخ مرگ و میر و نرخ افزایش جمعیت در کشور عربستان سعودی که در نتیجه توانستند یک مدل اصلاح شده SEIR برای شیوع کرونا ساخته شود که یک رویکرد اصلاح شده برای ارزیابی و مدیریت ویروس است. پروتکل ایده آل دارای ۴ مرحله است که یکی از آنها پیشگیری

(۱۰)

(۱۱)

(۱۲)

(۱۳)

که پارامترها بصورت زیر است.

که در حمل و نقل شخصی شیوع ناچیز است (Li Tianyi, 2020). برای مدلسازی شبکه حمل و نقل را G در نظر می‌گیریم و جمعیت P_i را به چهار دسته تقسیم می‌کنیم (مستعد به عفونت، در معرض، آلوده، بهبود یافته).

$$P_i = S_i + E_i + I_i + R_i \quad (14)$$

روابط مدل SEIR بصورت زیر است:

$$\begin{cases} \dot{S}_i = -\frac{S_i}{P_i} \left(\frac{R_0}{D_i} I_i + z \right) \\ \dot{E}_i = \frac{S_i}{P_i} \left(\frac{R_0}{D_i} I_i + z \right) - \frac{E_i}{D_E} \\ \dot{I}_i = \frac{E_i}{D_E} - \frac{I_i}{D_I} \\ \dot{R}_i = \frac{I_i}{D_I} \end{cases} \quad (15)$$

که در اینجا R₀، D_E و D_I به ترتیب نرخ شیوع، دوره نهفتگی و دوره عفونت هستند. Z نیروی انتقال ویروس بین انسان است و این دینامیک برای جمعیت بسته کارساز است. ناوگان مختلف هم اعم از هوایی A، ریلی R، دریایی S و اتوبوس B هستند که بصورت مجموعه Q = {A, R, S, B} نشان می‌دهیم. از روابط زیر استفاده شده است.

$$\Delta E_i^{in}(t) = \sum_{q \in Q, j \in V} \sum_{f_{j,i}^q(t) \mu_j(t)} (1 - TR_i)$$

(۱۶)

$$\overline{f_{j,i}^q \mu_j} = f_{j,i}^q \mu_j + \sum_k^{p^q(i,k) \cap p^0(i,l) \neq 0} f_{k,i}^q \mu_k (R_T^q - 1) \frac{f_{j,i}^q (1 - \mu_j - \eta_j) \min(d_{j,i}^q, d_{k,i}^q)}{p^q(i,k) \cap p^q(i,l) \neq 0 f_{l,i}^q (1 - \mu_l - \eta_l) \min(d_{l,i}^q, d_{k,i}^q)} \quad (17)$$

در اینجا $d_{i,j}^q$ نشان دهنده کوتاه ترین مسیر بین i و j در مسیر q است.

$$\mu_i(t) = \frac{\Delta E_i^{out}(t) + \sum_{q \in Q} \sum_{j \in V} \overline{f_{j,i}^q(t-1) \mu_j(t) TR_i^q}}{\sum_{q \in Q} \sum_{j \in V} f_{i,j}^q(t)} \quad (18)$$

$$\eta_i(t) = \frac{\Delta R_i^{out}(t) + \sum_{q \in Q} \sum_{j \in V} f_{j,i}^q(t) \eta_j(t-1) TR_i^q}{\sum_{q \in Q} \sum_{j \in V} f_{i,j}^q(t)} \quad (19)$$

عمق محاسبات زیاد شود و همچنین در مقیاس بزرگ تر امکان پذیر باشد (Li Tianyi, 2020).

$$\Delta R_i^{in}(t) = \sum_{q \in Q} \sum_{j \in V} f_{j,i}^q(t) (1 - TR_i^q) \eta_j(t-1) \quad (20)$$

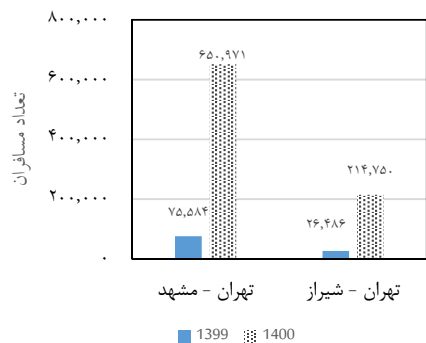
۳- روش تحقیق

و شیراز در جنوب ایران که فاصله از تهران ۹۳۰ کیلومتر است که با اتوبوس ۱۰ ساعت، با قطار ۱۰ ساعت و با هواپیما ۱/۳۰ ساعت زمان می برد، می توان ذکر نمود. همچنین علت انتخاب دو ماه فروردین و اردیبهشت به این دلیل بوده است که ماه فروردین به علت تعطیلات نوروزی موجود باعث افزایش چند برابری مسافران از طریق سیستم های حمل و نقل هوایی، ریلی و جاده ای در سراسر ایران می باشد که می توان از این موقعیت بوجود آمده استفاده نمود و پیک تعداد مسافران را در نظر گرفت و همچنین اردیبهشت ماه نشان از کاهش مسافران بعد از تعطیلات نوروزی را نشان می دهد که می توان نمونه ای از تعداد مسافران در ماه های عادی باشد. سپس مقایسه ای از مدل های ساخته شده در این ناوگان انجام شده است. برای بررسی رفتار شیوع بیماری یکی از روش های مناسب، مدلسازی دینامیکی با استفاده از معادلات دیفرانسیل می باشد. مدل SIR توسط برنولی در سال ۱۷۶۰ ابداع شده بود و سپس توسط کراماک و مک کندرلیک در سال ۱۹۲۷ و کندال در سال ۱۹۵۶ برای توصیف تکامل نسبت نسبی سه کلاس جدا از هم (S,I,R) که با گذشت زمان تغییر می کنند، توسعه یافته است و همچنین برای بیماری های واگیردار در بین انسان ها است و از نوع مدلسازی دینامیکی به شمار می رود استفاده می شود، که $S(t)$ نشان دهنده افراد مستعد به ابتلا

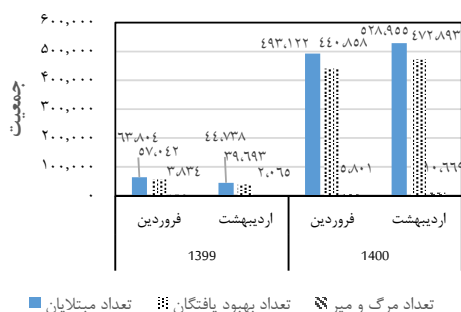
برای جمعیت بهبود یافته رابطه ۲۰ را می توان در نظر گرفت؛ از نتایج حاصل از مدلسازی به روش SEIR این است که عفونت بین تمام مسیرهای مشترک وجود دارد، این باعث می شود که در

روش انجام پژوهش حاضر به صورت تحلیلی می باشد. در این پژوهش اطلاعات پایه و اولیه از طریق روش کتابخانه ای و با استفاده از اسناد داخلی و خارجی (کتاب و مقالات) جمع آوری شده است. سپس داده های تحلیلی از سایت سازمان بهداشت جهانی و سایت سازمان بهداشت ایران جمع آوری شده است. جهت تحلیل داده ها و بدست آوردن ضرایب نرخ ابتلا و نرخ حذف از روش SIR استفاده شده است که در ادامه تشریح می گردد. در پژوهش حاضر داده های حمل و نقل (جاده ای، ریلی، هوایی) از مبدا تهران به مقاصد مشهد و شیراز در دو ماهه فروردین و اردیبهشت در سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ استفاده و ارزیابی شده است. دلیل انتخاب سفرهای بیرون شهری به علت آن است که مدنظر بوده است تفاوت شیوع ویروس در سیستم های حمل و نقل هوایی، ریلی و جاده ای در نظر گرفته شود و بین شهرهای پر جمعیت و تعداد رفت و آمد بالا باشد. همچنین این دو شهر قطب سفرهای زیارتی و سیاحتی هستند و همچنین جزو کلان شهرهای ایران هستند که مسافران زیادی به این نقاط در طول سال سفر می کنند. از دیگر خصوصیات این دو شهر میتوان از جمله به شهر مشهد که در شمال شرقی ایران که فاصله از تهران ۹۰۰ کیلومتر است که با اتوبوس ۱۱ ساعت، با قطار عادی ۱۱ ساعت و با هواپیما ۱/۳۰ ساعت زمان می برد

راهداری و حمل و نقل جاده‌ای استان تهران و برای اطلاعات مسافری هوایی از سازمان هواپیمایی کشور و همچنین اطلاعات مسافری ریلی از شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران بصورت دقیق اخذ و مورد استفاده قرار گرفته است.



نمودار ۱. تعداد مسافران حمل و نقل عمومی در دو ماهه فروردین و اردیبهشت) از مبدا تهران به مقاصد مشهد و شیراز



نمودار ۲. تعداد بیماران، بهبود یافتگان و مرگ و میر ناشی از کرونا در سراسر کشور

از نمودار ۱ در جهت بدست آوردن تخمین درصد افراد جامعه استفاده کننده از سیستم‌های حمل و نقل در بازه زمانی مد نظر استفاده می‌باشد و همچنین از نمودار ۲ برای بدست آوردن تعداد افراد آلوده و همچنین مرگ و میر در بازه زمانی مورد نظر استفاده می‌گردد. ناوگان حمل و نقل عمومی از ابتدای همه‌گیری ویروس جزو کانون‌های شیوع کرونا شناخته شده و سهم آن در انتقال ویروس بین ۲۶ تا ۲۷ درصد اعلام و محدودیت‌ها بر آن اعمال شد (فرزام منش، ۱۳۹۹) که در پژوهش حاضر از درصد ۲۶ درصد در محاسبات استفاده شده است. در این پژوهش مطابق فرمول بیان شده، تحلیل‌ها در چند حالت مختلف انجام می‌شود

به ویروس، $I(t)$ نشان دهنده افراد مبتلا به ویروس که قادر به انتقال ویروس به افراد دیگر هستند و $R(t)$ افرادی که یا بهبود پیدا کردند و یا باعث فوت آنها شده است (Brauer, 2017).

مدل SIR در حالت استاندارد شامل معادلات زیر نیز می‌شود.

$$\frac{dS}{dt} = -bS(t)I(t) \quad (21)$$

$$\frac{dI}{dt} = bS(t)I(t) - kI(t) \quad (22)$$

$$\frac{dR}{dt} = kI(t) \quad (23)$$

که در فرمول (۲۱) تغییرات افراد مستعد به آلودگی در بازه زمانی را با استفاده از ضریب ابتلا و افراد مستعد و افراد آلوده بدست می‌آوریم و در فرمول (۲۲) تغییرات افراد آلوده در بازه زمانی و همچنین در فرمول (۲۳) تغییرات بهبود یافتگان در بازه زمانی که حاصل ضرب ضریب حذف در افراد آلوده است. پارامتر N جمعیت جامعه هدف می‌باشد و برابر با جمع $S(t)+I(t)+R(t)$ است. در این روش با توجه به نرخ کم اتلاف نسبت به کل جمعیت، این پارامتر مقداری ثابت فرض می‌شود. در معادلات فوق، b و k به ترتیب ضرایب ابتلا و حذف افراد هستند که در مورد بیماری کرونا هر دو به دلیل آماری بودن بصورت پارامترهای متغیر با زمان آماری معرفی شده اند. همچنین k برابر $\left(\frac{1}{\text{تعداد روز برای بهبودی}}\right)$ است (George et al, 2021). میان نرخ

شیوع و نرخ ابتلا و حذف نیز رابطه‌ای تعریف می‌شود.

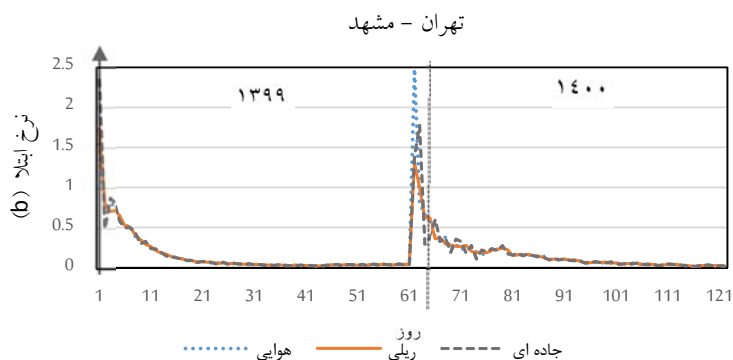
$$R_0 = \frac{b}{k} \quad (24)$$

R_0 نرخ شیوع بیماری می‌باشد که محققین آنرا در مورد بیماری کرونا بین ۱٫۸ تا ۳٫۸ تخمین زده اند. این پارامتر نرخ شیوع نشان دهنده میانگین تعداد افراد آلوده جدید ناشی از یک فرد آلوده است و اگر بزرگتر از ۱ باشد نشان دهنده شیوع بیماری و آگیردار است و پایین تر از ۱ باشد نشان از همه‌گیری نبودن ویروس و تحت کنترل بودن است. در این تحقیق نیاز به جمعیت مسافری ناوگان جمعی تهران به مشهد و تهران به شیراز در ایام شیوع کرونا است و همچنین آمار مبتلایان روزانه که به طور دقیق در سایت‌های معتبر داخلی و خارجی مانند تجارت نیوز و (Ourworldindata) ثبت شده است. داده‌های مورد نیاز برای جمعیت مسافران از ناوگان حمل و نقل عمومی از اداره کل

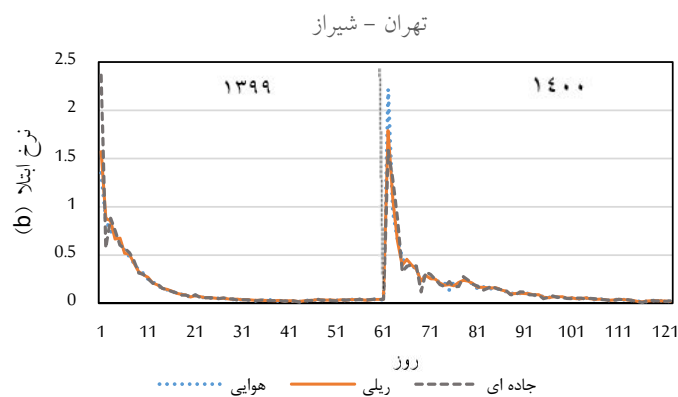
میزان استفاده کنندگان در کل کشور تعیین شده است. برای آزمون و خطا در نرم افزار متلب با استفاده از آنالیز و مدلسازی که صورت گرفته است، درصدهای ذکر شده به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که ± 5 درصد تغییر در آنها، تغییر محسوسی در نتیجه نهایی ایجاد نخواهد کرد. سپس با استفاده از داده‌های مبتلایان و مرگ و میر بدست آمده در هر یک از سیستم‌های حمل و نقل عمومی در مدلسازی انجام شده، ضرایب نرخ ابتلا و نرخ حذف و بعد از آن نرخ شیوع را محاسبه می‌کنیم. برای این تحقیق از فرضیات و روش استفاده شده در مقاله (Lounis and Kumar, 2020) استفاده شده است. نمودارهای حاصل از مدلسازی در متلب بصورت زیر نمایش شده است.

که در ادامه بیان می‌گردد. در این مطالعه برای تخمین میزان درصد مبتلایان و مرگ و میر میان استفاده کنندگان از ناوگان حمل و نقل عمومی (ریلی، هوایی و جاده‌ای) میان تهران و مشهد از نسبت تعداد مسافران تهران و مشهد که در نمودار ۱ ذکر شده است به کل جمعیت ایران استفاده شده است که در حدود ۱ درصد تخمین زده شده است و همچنین برای شهر شیراز با استفاده از همین جدول در حدود ۰,۶ درصد تخمین زده شده است. از میان مبتلایان و مرگ و میر کل استفاده کنندگان از ناوگان حمل و نقل عمومی از مبداء تهران به مقاصد مشهد و شیراز ۲۶ درصد ناوگان ریلی، ۳۰ درصد ناوگان هوایی و ۴۴ درصد ناوگان جاده‌ای براساس مطالعات انجام شده در نظر گرفته شده است. این درصد مبتلایان با روش آزمون و خطا و مطابق با

- نمودارهای نرخ ابتلا



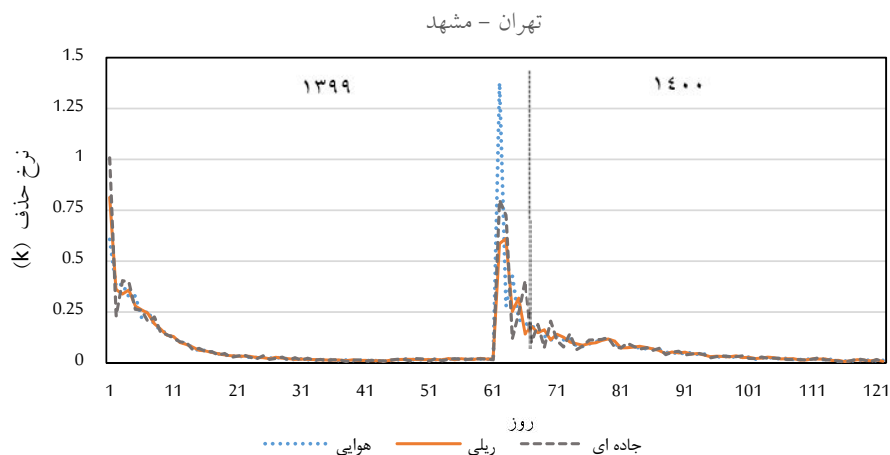
نمودار ۳. نرخ ابتلا حاصل از مدلسازی برای تهران - مشهد در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰



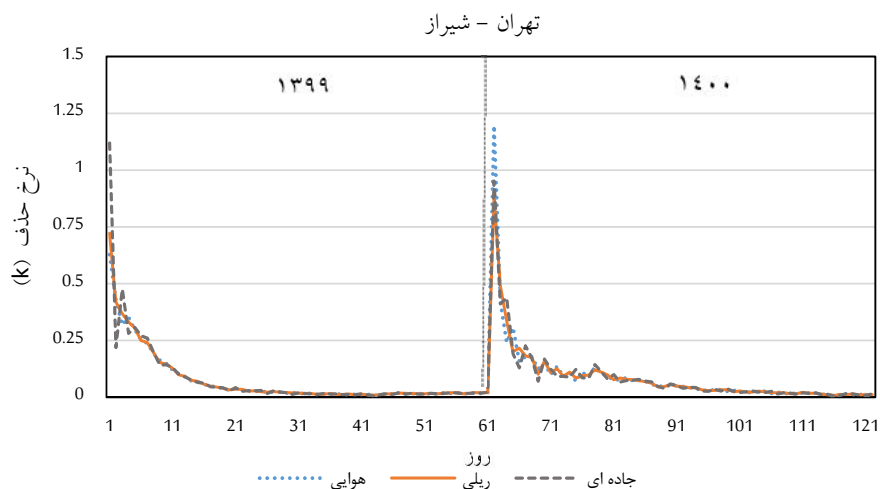
نمودار ۴. نرخ ابتلا حاصل از مدلسازی برای تهران - مشهد در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

و نقل ریلی هستند و همچنین در قسمت آغازین سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ دارای نرخ ابتلا بیشتری نسبت به باقی روزها هستیم و با سپری شدن روزها این پارامتر کاسته شده است. نمودارهای نرخ حذف افراد

در نمودارهای ۳ و ۴ نرخ ابتلا (b) حاصل شده از مدل‌سازی انجام شده در متلب در مسیر تهران به مشهد و تهران به شیراز در فروردین و اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ است. نرخ ابتلا در سیستم‌های حمل و نقل جاده‌ای و هوایی بیشتر از حمل



نمودار ۵. نرخ حذف حاصل از مدل‌سازی برای تهران - مشهد در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰



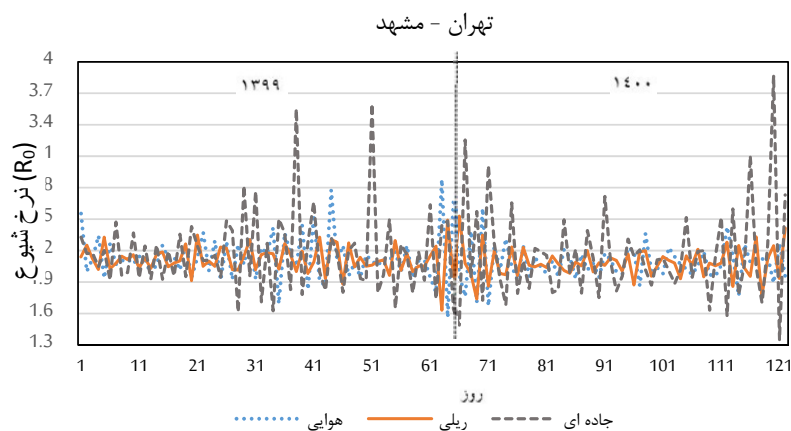
نمودار ۶. نرخ حذف حاصل از مدل‌سازی برای تهران - شیراز در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

پارامتر هم در سیستم‌های حمل و نقل جاده‌ای و هوایی بیشتر از حمل و نقل ریلی می‌باشد و این نشان از کم ریسک‌تر بودن حمل و نقل ریلی نسبت به حمل و نقل هوایی و جاده‌ای است. در نمودارهای ۷ و ۸ نرخ شیوع (R_0) سیستم‌های حمل و نقل

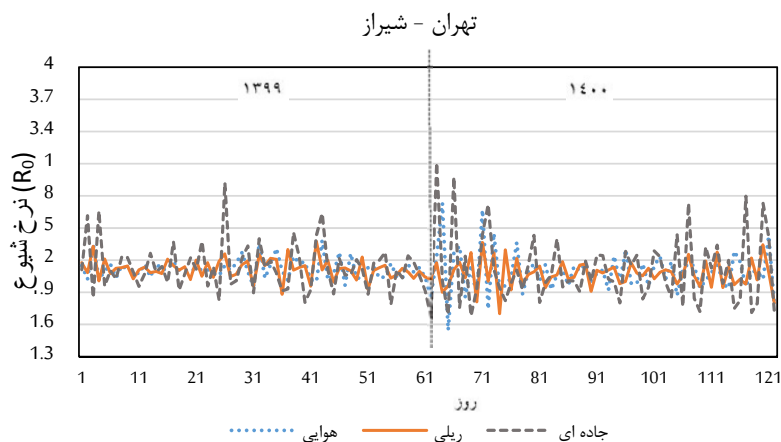
در نمودارهای ۵ و ۶ نرخ حذف (k) حاصل شده از مدل‌سازی انجام شده در متلب در مسیر تهران به مشهد و تهران به شیراز در فروردین و اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ است. که همانطور که قابل مشاهده است مانند نمودارهای نرخ ابتلا این

تهران به مشهد و هم در مسیر تهران به شیراز است و بعد از آن نرخ شیوع حمل و نقل هوایی بیشتر از سیستم حمل و نقل ریلی است. نرخ شیوع بالاتر نشان از همه‌گیری و سرایت بیشتر ویروس را دارد.

ریلی، هوایی و جاده‌ای برای تهران به مشهد و تهران به شیراز در متلب مدل‌سازی شده است و بصورت نمودار برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ نشان داده شده است. همانگونه که قابل مشاهده است سیستم حمل و نقل جاده‌ای بطور میانگین دارای نرخ شیوع بیشتری هم در مسیر



نمودار ۷. نرخ شیوع (R_0) تهران - مشهد در سیستم‌های حمل و نقلی در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰



نمودار ۸. نرخ شیوع (R_0) تهران - شیراز در سیستم‌های حمل و نقلی در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

جدول ۱. میانگین نرخ شیوع محاسبه شده در فروردین و اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰

جاده ای	هوایی	ریلی	
۲,۱۶	۲,۱۱	۲,۱۰	تهران - مشهد
۲,۱۲	۲,۱۰	۲,۰۹	تهران - شیراز

۵- نتیجه‌گیری

میانگین سن بالای هواپیماهای داخل کشور از فیلتر تصفیه مناسبی مانند استفاده از فیلتر تصفیه هوای HEPA برخوردار نیستند که این مسئله خود تاثیر بسزایی در افزایش میزان شیوع و انتقال بیماری دارد و از این نظر به نسبت حمل و نقل ریلی در وضعیت بدتری قرار دارد.

-بکارگیری کلبه حمل و نقل‌ها با تعداد مسافران کمتر از ظرفیت آنها و ایجاد فضای حایل بین مسافران

-بکارگیری بیشتر حمل و نقل ریلی به نسبت حمل و نقل زمینی و هوایی

-استفاده از فیلترهای جدید و نوین مانند فیلتر تصفیه هوا HEPA در هواپیماهای کشور

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Susceptible-Infected-Recovered

2- Susceptible-Exposed-Infected-Recovered

۷-مراجع

-فرزام منش، مجتبی (۱۳۹۹). بررسی چالش‌های ویروس کرونا در ناحیه شهری، کنفرانس بین‌المللی عمران در ایران.

-Antrim, Aaron (2020). Automated passenger counter. Transitwiki. https://www.transitwiki.org/TransitWiki/index.php/Automated_passenger_counter.

-Brauer, Fred (2017). Mathematical epidemiology: Past, present, and future. *Journal of Infectious Disease Modelling*. 2(2). 113-127

-Carteni, Armando; Di Francesco Luigi; Maria, Martino (2021). The role of transport accessibility within the spread of the Coronavirus pandemic in Italy. *Journal of Safety Science*. 133. 104999

-Chappell, Bill; Romo, Vanessa (2020). Coronavirus: All 50 States Report Cases, South America Has Nearly 1,000 Cases. NPR. <https://www.npr.org/sections/health-shots>.

-Chong, Ka Chun; Ying Zee, Benny Chung (2012). Modeling the impact of air, sea, and

با توجه به نمودارهای ۷ و ۸ و جدول ۱ حاصل شده از مدل‌سازی، می‌توان اشاره کرد که نتایج حاصل از مدل‌سازی از مبداء تهران به مقاصد مشهد و شیراز یکسان هستند. زیرا میانگین نرخ شیوع ویروس کرونا در ماه‌های فروردین و اردیبهشت سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ که برای سیستم‌های حمل و نقل ریلی، هوایی و جاده‌ای به ترتیب برای مبداء تهران به مقصد مشهد برابر با ۲/۱۰، ۲/۱۱ و ۲/۱۶ و برای مبداء تهران به مقصد شیراز برابر با ۲/۰۹، ۲/۱۰ و ۲/۱۱ است. بالاتر بودن نرخ شیوع نشان از فراگیر بودن بیشتر ویروس کرونا در آن سیستم است، بنابراین سیستم حمل و نقل جاده‌ای از مبداء تهران به مقاصد مشهد و شیراز نشان از ایمن نبودن این سیستم حمل و نقل نسبت به سیستم‌های حمل و نقل ریلی و هوایی است. همچنین سیستم حمل و نقل ریلی با اخلاف اندکی ایمن تر از حمل و نقل هوایی می‌باشد. از نتایج حاصل از مدل‌سازی شیوع ویروس کرونا با مدل SIR می‌توان موارد زیر ذکر نمود.

-وضعیت بهتر و امن تر بودن شیوع ویروس کرونا در مسیر تهران به شیراز نسبت به مسیر تهران به مشهد که می‌توان به علت مسافرت کمتر تهران به شیراز نسبت به تهران به مشهد باشد.

-نرخ‌های شیوع بدست آمده نشان از پاندمی بودن ویروس کرونا را در تمام سیستم‌های حمل و نقل برون شهری نشان می‌دهد.

-نرخ شیوع در سیستم حمل و نقل ریلی به نسبت سیستم‌های حمل و نقل هوایی و جاده‌ای کمتر است و این نشان از ایمن تر بودن این ناوگان نسبت به باقی سیستم‌های حمل و نقل است.

-نرخ شیوع در سیستم حمل و نقل جاده‌ای که شامل (اتوبوس، ون، تاکسی و مینی بوس‌ها) هستند نسبت به باقی سیستم‌های حمل و نقل بالاتر است و نشان از پرخطر بودن این ناوگان می‌باشد.

-خطرات شیوع و ابتلا بیماری در حمل و نقل جاده‌ای به دلیل اینکه افراد در فاصله زمانی بیشتری باهم در ارتباط هستند، بیشتر است. در این نتایج بدست آمده از این پژوهش حاکی از بالا بودن نرخ شیوع و ابتلا بیماری در حمل و نقل هوایی به نسبت جمعیت جابجا شده می‌باشد. در حمل و نقل هوایی با وجود اینکه افراد در فاصله زمانی اندکی با هم در ارتباط هستند، با اینحال جهت شیوع این بیماری زمان کافی وجود دارد. همچنین به علت

- network. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 8(2), 139-152.
- Lounis, Mohamed; Kumar, Dilip (2020). Estimation of SIR model's parameters of COVID-19 in Algeria. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(180).
- McNally, Tadgh (2020). Face shields are now an acceptable face covering on all public transport. *TheJournal.ie*.
- Perez, Liliana; Dragicevic, Suzana (2009). An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread. *International Journal of Health Geographics*, 8. 1-17.
- Prem, Kiesha; Liu, Yang; Russell, Timothy (2020). The effect of control strategies to reduce social mixing on outcomes of the COVID-19 epidemic in Wuhan, China: a modelling study. *The Lancet Public Health*. 5(5). 261-270.
- Ryan, Órla (2020). Half of Dublin Bus passengers are wearing face masks but compliance on transport varies widely. *TheJournal.ie*. <https://www.thejournal.ie/face-masks-on-public-transport>
- Sinha Dutta, Sanchari (2020). Covid-19 incubation period. *News-Medical*.
- Smieszek, Timo, Balmer, Michael, Hattendorf, Jan, Axhausen, Kay, Zinsstag, Jakob, Scholz, Roland (2011). Reconstructing the 2003/2004 H3N2 influenza epidemic in Switzerland with a spatially explicit, individual-based model. *BMC Infectious Diseases*. 11.115.
- Tirachini, Alejandro (2020). COVID-19 and Public Transportation: Current Assessment, Prospects, and Research Needs. *Journal of Public Transportation*, 22(1).
- Wan, Liyang (2020). The high-speed railway network and the cross-town transmission of epidemics: evidence from Chinese COVID-19. *Lab. Rev. Lab. Econ. Ind. Relat.* 37-48.
- Zhu, Pengyu, Guo, Yuqing (2021). The role of high-speed rail and air travel in the spread of COVID-19 in China. *Journal of Travel Medicine and Infectious Disease*, 42. 102097.
- land travel restrictions supplemented by other interventions on the emergence of a new influenza pandemic virus. *BMC Infectious Diseases*, 12. 309
- d'Onofrio, Alberto; Manfredi, Piero; Salinelli, Ernesto (2015). Dynamic behavior of a discrete-time SIR model with information dependent vaccine uptake. *Journal of Difference Equations and Applications*. 22(3). 485-512.
- Fang, Hanming; Wang, Long; Yang, Yang (2020). Human Mobility Restrictions and the Spread of the Novel Coronavirus in China. *Journal of Public Economics*, 191. 104272
- Ferguson, Neil, Cummings, Derek A. Fraser, Christophe, Cajka, James, Cooley, Philip, Burke, Donald (2006). Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature*. 442(7101), 448-452.
- George, Noel, Tyagi, Naresh, Prasad, Jang Bahadur (2021). COVID-19 pandemic and its average recovery time in Indian states. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 11.100740.
- Hamdy, Youssef, Nejat, Alghamdi, Magdy, A. Ezzat, Alaa and A. El-Bary, (2020). A modified SEIR model applied to the data of COVID-19 spread in Saudi Arabia. *AIP Advances*, 10. 125210.
- Hart, Kim (2020). Public transit's death spiral. *AxiosWebsite*.<https://www.axios.com>
- Horni, Andreas; Nagel, Kai; Axhausen, Kay (2016). The Multi-Agent Transport Simulation MAT Sim. *Ubiquity Press: London, UK*. 618-619.
- Koziol, Kamil; Stanislawski, Rafal; Bialic, Grzegorz (2020). Fractional-Order SIR Epidemic Model for Transmission of COVID-19. *Applied Sciences*. 10(23).8316.
- Li, Tianyi (2020). Simulating the Spread of Epidemics in China on the Multi-layer Transportation Network: Beyond the Coronavirus in Wuhan. *IOP Science*. 130. 4.
- Li, Jian; Xiang, Tao, He, Linghui, (2020). Modeling epidemic spread in transportation

Modeling the Spread of Corona Virus in Order to Improve the Public Transportation

Alireza Absalan, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Alireza Sarkar, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: sarkar@srbiau.ac.ir

Received: November 2024- Accepted: February 2025

ABSTRACT

The appearance of new infectious diseases has become a serious global problem. Public transportation networks are an important factor in the rapid spread of such diseases. In this study, investigation of the spread of COVID-19 epidemic virus is done using dynamic SIR (Susceptible – Infected – Recovered) mathematical model with MATLAB. In addition, we studied accurate statistics of infected cases and deaths due to COVID-19 for the time intervals in various transportations in Iran, for instance, the transportation via rail, air and road transportation in specific time periods from Tehran city to Mashhad city also Tehran to Shiraz. Average of the Reproductive number (R_0) COVID-19 in Farvardin and Ordibehesht months of 1399 also 1400 for Tehran to Mashhad is about 2.10 for rail transportation, 2.11 for air transportation and 2.16 for road transportation also for Tehran to Shiraz is about 2.09 for rail transportation, 2.10 for air transportation and 2.12 for road transportation. In each transportation type, the modelling is done and the comparison based on the statistics of deaths of passengers from Tehran to Mashhad and Shiraz shows the risks of outbreak and infection in road transportation are higher than air and rail transportation and the risks of outbreaks and infection in air transportation are higher than rail transportation. This results indicate that rail transport is safer in terms of the prevalence of COVID-19 and the contamination from air and road transportation.

Keywords: Public Transportation, Epidemic Virus Modeling, COVID-19, SIR Mathematical Model, Reproductive Number