

ملاحظات و احتیاطات در کاربردهای مدل‌های ریاضی انتشار بیماری برای سیاست‌گذاری

ویرایش ۱۵ فروردین ۱۳۹۹

میثم علی‌زاده

پژوهش‌گر فوق‌دکتری

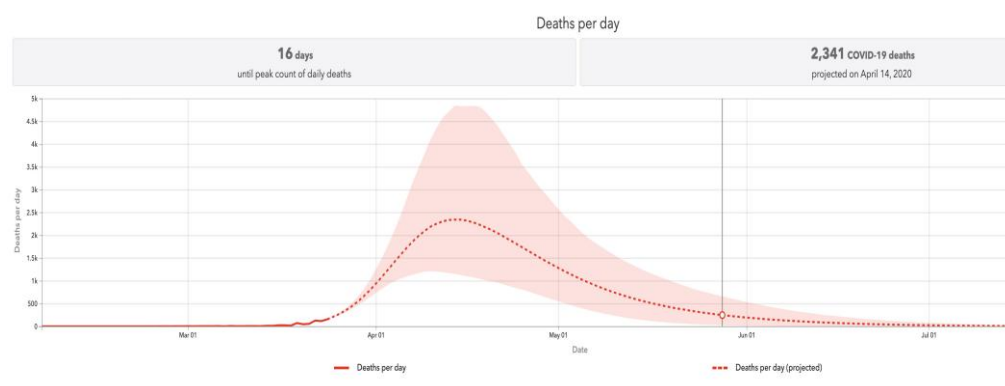
دانشکده امور عمومی و بین‌الملل، دانشگاه پرینستون

حسین میرزاپور

معاون پژوهشکده سیاست‌گذاری دانشگاه صنعتی شریف

بنیان‌گذار آزمایشگاه داده و حکمرانی

هنگام شیوع یک بیماری واگیردار نوظهور، سیاست‌گذار نیاز به شناخت پارامترهای کلیدی دخیل در شیوع بیماری (مانند نرخ مرگ‌ومیر) و برآورد اثر مداخله‌های مختلف غیردارویی (مثل تعطیلی مدارس) بر متغیرهای مختلف تصمیم‌گیری دارد. اهم متغیرهای تصمیم‌گیری برای سیاست‌گذار عبارتند از تعداد ابتلا و مرگ‌ومیر در سناریوهای مختلف، بیشینه‌ی تعداد مبتلایان و زمان رخداد آن، تعداد تخت بیمارستانی، اتاق آی‌سی‌یو و دستگاه تنفس مورد نیاز، و پیش‌بینی سیر انتشار بیماری (شکل ۱). اما اکوسیستم شیوع چنین بیماری‌هایی، یک سیستم پیچیده است. به این معنا که نه تنها تعداد عوامل اثرگذار بر رفتار سیستم و ارتباطات بین آن‌ها زیاد است، بلکه تعامل این عوامل با یکدیگر نیز ممکن است منجر به بروز نافرمانی هماهنگ طبقاتی از جامعه از فرامین حاکمیت شود. پیش‌بینی رفتار چنین سیستم‌هایی در سناریوهای مختلف بسیار دشوار و نیازمند استفاده از داده‌ها و مدل‌های پیشرفته است.



شکل ۱: برآورد تعداد مرگ‌ومیر ناشی از کرونا در شهر نیویورک توسط مدل شبیه‌سازی دانشگاه واشینگتن^۱

مدل‌های کلاسیک اپیدمی‌ها از دهه ۱۹۲۰ و با استفاده از معادلات دیفرانسیل آغاز شدند. این مدل‌ها فرض می‌کردند که جمعیت کاملاً همگن است و افراد سیر «مستعد دریافت ویروس»، «مبتلا شدن»، و «بهبود/مرگ» را طی می‌کنند. مهم‌ترین دستاورد این مدل‌ها ارائه فرضیه‌ی «ایمنی گله‌ای» بود، که در آن ایمن شدن بخشی از جامعه باعث فرونشاندن شیوع و محافظت از کل جامعه می‌شود. اما این مدل‌ها برای

^۱ <http://www.healthdata.org/research-article/forecasting-covid-19-impact-hospital-bed-days-icu-days-ventilator-days-and-deaths>

در نظر گرفتن ساختار پیچیده و غیرهمگن روابط اجتماعی و تعاملات مستقیم افراد، که ممکن است رفتار خود را بر اساس میزان شیوع بیماری تنظیم کنند (شاید حتی غیرمنطقی)، مناسب نبود.^۲ با ظهور بیماری ایدز در اواخر دهه ۸۰ و افزایش اهمیت شبکه روابط مستقیم افراد در شیوع آن، تلاش‌ها برای معرفی مدل‌های ریاضی مناسب‌تر برای شبیه‌سازی انتشار بیماری‌های واگیردار که دربرگیرنده‌ی جزئیات فردی و اجتماعی باشد (مانند مدل‌های عامل/فردمحور) وارد مرحله جدیدی شد و در ادامه برای مدل‌سازی انتشار سایر بیماری‌ها مانند سرخک، آبله، آنفولانزا، و ابولا استفاده شد (به عنوان نمونه رجوع شود به Epstein and Axtell ۱۹۹۶^۳).

در روزها و هفته‌های اخیر نیز شاهد اخبار مختلفی از پیش‌بینی کیفی یا کمی این مدل‌ها از سیر انتشار کرونا در ایران و سایر کشورها بوده‌ایم که پیش‌بینی‌های بعضاً بسیار متفاوتی از متغیرهای تصمیم‌ارائه داده‌اند، اما در برخی موارد منجر به تغییر سیاست‌گذاری کشورها شده‌اند. معروف‌ترین نمونه آن، مدل فردمحور کووید ۱۹ دانشگاه امپریال کالج انگلستان است که با پیش‌بینی تعداد بالای مرگ‌ومیر در صورت عدم اعمال مداخله‌ها سخت‌گیرانه، باعث تغییر سیاست دولت انگلستان، تأثیر بر سیاست‌های دولت آمریکا، و هشدار برای فرانسه شد.^۴

اما نتایج این مدل‌ها (به‌خصوص نتایج کمی) تا چه حد قابل اعتماد است، علت وجود تفاوت فاحش بین آن‌ها چیست، و آیا انتشار رسانه‌ای آن‌ها اقدام موثری است؟ اگرچه شبیه‌سازی مبتنی بر مدل‌های ریاضی بهترین ابزار موجود برای مدل‌سازی چنین سیستم‌های پیچیده نوظهور است و چارچوبی کلی برای شناخت کلان سیستم و بررسی اثر مداخله‌های مختلف برای سیاست‌گذار را فراهم می‌کند،^۵ قصد داریم در این نوشتار با بیان دشواری و محدودیت‌های موجود برای توسعه این مدل‌ها علت غیرقابل اتکا بودن نتایج عددی اکثر آن‌ها برای سیاست‌گذاران را شرح دهیم و نیز بحثی در خصوص مضرات احتمالی انتشار عمومی آن‌ها بر افکار عمومی داشته باشیم.

در ادامه، ابتدا پنج دسته کلی از محدودیت‌های این مدل‌ها (خصوصاً در کشورهای در حال توسعه) را توصیف می‌کنیم. سپس با بیان اهداف مختلف متصور از ارائه مدل‌های ریاضی شیوع بیماری و در نظر گرفتن محدودیت‌های بحث‌شده، چارچوبی کلی برای ارائه نتایج این مدل‌ها پیشنهاد می‌کنیم. در انتها نیز با اشاره مختصر به سوگیری‌های شناختی موجود در انسان، پژوهش‌گران محترم را دعوت به رسانه‌ای نکردن نتایج عددی خود در صورت عدم توسعه مدل قوی و حاوی جزئیات کافی می‌نمائیم.

۱- محدودیت‌های مدل‌های ریاضی شیوع بیماری‌های واگیردار

۱-۱- نیاز به داده‌های واقعی برای کالیبراسیون مدل

تمامی مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی انتشار، چه برای پیش‌بینی انتشار یک عقیده خاص، چه انتشار یک رفتار بین کشاورزان، و چه همه‌گیر شدن یک بیماری جدید، حاوی یک یا چند پارامتر هستند که باید توسط پژوهش‌گر تعیین شوند. مثلاً در خصوص نحوه شیوع بیماری‌های واگیردار، مهم‌ترین پارامتر متوسط تعداد افراد جدیدی است که هر فرد ناقل می‌تواند آن‌ها را مبتلا کند (عدد تکثیر پایه یا R_0). این پارامترها با استفاده از نتایج تحقیقات پیشین یا داده‌های واقعی موجود برآورد می‌شوند. در خصوص بیماری‌های نوظهور، به دلیل ناشناخته بودن ویروس، برآورد این پارامترها خصوصاً در مراحل اولیه‌ی همه‌گیری دشوار است. از یک سو، به دلیل تازه بودن مساله و محدودیت‌هایی مانند کمبود تست‌های تشخیص و عدم شناسایی دقیق افرادی که در تماس با یک فرد مبتلا بوده‌اند، داده کافی قابل استناد برای برآورد دقیق پارامترها وجود ندارد و حاوی تعداد زیادی موارد مثبت و منفی نادرست است (خطای نوع اول و دوم).

^۲ Epstein, J. M. (۲۰۰۹). Modelling to contain pandemics. *Nature*, ۴۶۰(۷۲۵۶), ۶۸۷-۶۸۷.

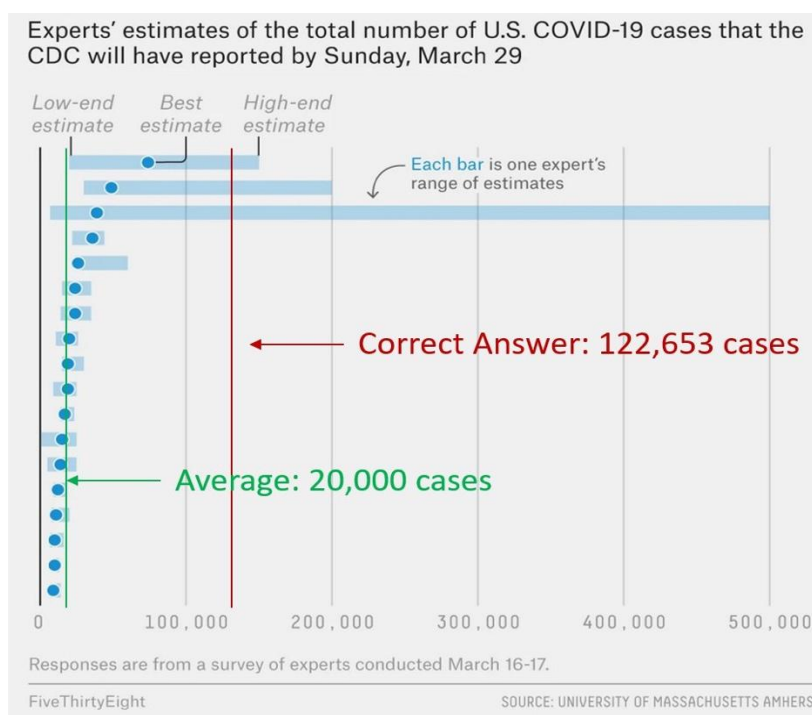
^۳ Epstein, J. M., & Axtell, R. (۱۹۹۶). *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Brookings Institution Press.

^۴ https://www.washingtonpost.com/world/europe/a-chilling-scientific-paper-helped-upend-us-and-uk-coronavirus-strategies/2020/03/17/aaa84116-6851-11ea-b199-3a9799c0e401_story.html

^۵ Dobson, A. (۲۰۱۴). Mathematical models for emerging disease. *Science*, ۳۴۶(۶۲۱۵), ۱۲۹۴-۱۲۹۵.

به عنوان مثال، در مراحل اولیه شیوع کووید ۱۹، عمدتاً موارد حاد شناسایی و ثبت می‌شوند. لذا برآورد نرخ مرگ‌ومیر از روی این داده‌ها منجر به برآوردی بیش از مقدار واقعی آن می‌شود. یا به دلیل زمان بالای دوره نهفتگی و وجود مبتلایان بدون علائم، برآوردهای ارائه‌شده از پیش‌بینی تعداد مبتلایان در یک بازه زمانی مشخص عموماً بسیار کم‌تر از مقدار واقعی تحقق‌یافته بوده است (شکل ۲). مثلاً به دلیل عدم آگاهی از وجود مبتلایان بدون علائم یا دارای علائم خفیف، آمارهای اولیه از نرخ مرگ‌ومیر ویروس جدید کرونا در بین مبتلایان مسافران کشتی تفریحی دایاموند پرنس ۲،۳٪ برآورد شده بود. اما پس از تست‌گیری از بیش از ۸۰٪ مسافری و شناسایی مبتلایان بدون علائم، نرخ مرگ‌ومیر مبتلایان به ۱،۲٪ کاهش پیدا کرد.^۶ هر چند که نسبت مبتلایان دارای علائم قابل شناسایی به مبتلایان بدون علائم هنوز دقیقاً مشخص نیست و اعداد متفاوتی ارائه شده است.

از سوی دیگر، به دلیل تفاوت‌های جغرافیایی، تجهیزاتی، جمعیت‌شناختی و حتی فرهنگی کشورها و تأثیر آن در پارامترهای شیوع، استفاده از اعداد برآوردشده‌ی سایر کشورها ممکن است باعث افزایش معنی‌دار خطای مدل‌سازی شود. مثلاً در مورد عدد تکثیر پایه، بر اساس برخی از تحقیقات پیشین در خصوص آنفولانزا، هر چه از خط استوا دور شویم، تعداد افرادی که فرد ناقل می‌تواند ویروس را به آن‌ها منتقل کند بیشتر می‌شود. همچنین عدد تکثیر پایه در کشورهای دارای آب‌وهوای سردتر بیشتر است.^۷ یا در خصوص نرخ مرگ‌ومیر، به صورت شهودی هر چه سرانه تعداد اتاق ICU کشوری بالاتر باشد، نسبت بیشتری از مبتلایان را می‌تواند از مرگ نجات دهد.



شکل ۲: پیش‌بینی ۱۸ متخصص از تعداد مبتلایان در آمریکا در بازه زمانی دو هفته و مقایسه آن با تعداد واقعی. تنها بازه‌ی اطمینان ۳ متخصص دربردارنده تعداد واقعی مبتلایان بوده است.^۸

^۶ Russell, T. W., Hellewell, J., Jarvis, C. I., van-Zandvoort, K., Abbott, S., Ratnayake, R., ... & CMMID nCov working group. (۲۰۲۰). Estimating the infection and case fatality ratio for COVID-۱۹ using age-adjusted data from the outbreak on the Diamond Princess cruise ship. *medRxiv*.

^۷ Viboud, C., Simonsen, L., Fuentes, R., Flores, J., Miller, M. A., & Chowell, G. (۲۰۱۶). Global mortality impact of the ۱۹۵۷-۱۹۵۹ influenza pandemic. *The Journal of infectious diseases*, ۲۱۳(۵), ۷۳۸-۷۴۵.

^۸ <https://fivethirtyeight.com/features/experts-say-the-coronavirus-outlook-has-worsened-but-the-trajectory-is-still-unclear/>

علاوه بر پارامترهای مربوط به شیوع بیماری، مدل‌های ریاضی انتشار بیماری‌های واگیردار باید ویژگی‌های خاص هر کشور را هم در نظر بگیرند. اهم این پارامترها عبارتند از:

- ویژگی‌های جمعیت‌شناختی (ترکیب سنی، شغلی، تحصیلاتی، دینی، و غیره)
نرخ مرگ‌ومیر کرونا بین گروه‌های سنی مختلف متفاوت است. هم‌چنین احتمال فوت افرادی که دارای بیماری‌های خاصی هستند بیشتر است. هم‌چنین امکان دسترس به تجهیزات پیش‌گیری و درمان برای بخش‌های مختلف تحصیلاتی و شغلی ممکن است متفاوت باشد. بنابراین، یک نرخ مرگ‌ومیر وجود ندارد. مثلاً با فرض ثابت بودن سایر عوامل، کشوری که درصد افراد دیابتی آن بیشتر است، نرخ مرگ‌ومیر بالاتری دارد، یا استانی که ترکیب جمعیتی جوان‌تری دارد، نرخ مرگ‌ومیر کمتری برای آن متصور است.

- سبک زندگی

مثلاً چه درصدی از افراد به صورت مستمر در برنامه‌های جمعی مانند کنسرت موسیقی، سینما، یا نماز جماعت شرکت می‌کنند؟
● ساختار روابط اجتماعی

آیا شبکه اجتماعی افراد بر اساس شبکه‌ی واقعی به‌دست آمده از مطالعات تجربی پیشین شبیه‌سازی شده است؟ یا بر اساس مدل‌های نظری ساختار شبکه؟ در صورت استفاده از مدل‌های نظری، کدام یک از مدل‌ها (دنیای کوچک، تصادفی، مستقل از مقیاس، و ...) استفاده شده است؟ آیا امکان و میزان تغییر ساختار روابط اجتماعی بر اثر تغییر رفتار افراد و اعمال مداخله‌های غیردارویی در مدل لحاظ شده است؟

○ چه درصدی از افراد کهن‌سال با کودکان و جوانان در معاشرت هستند؟

○ توالی زمانی بازدید جوانان از منزل پدری/مادر بزرگ چگونه است؟

○ چه درصدی از فرزندان در منزل پدری/مادری زندگی می‌کنند؟

○ چه درصدی از پدران و مادرانی که فرزندان زیر ۳۰ سال آن‌ها با آن‌ها در یک منزل زندگی می‌کنند بالای ۶۵ سال هستند؟

○ در صورت اجرای طرح فاصله‌گذاری اجتماعی، آیا فرزندان خود را از خانواده جدا خواهند کرد؟

- موقعیت مکانی مدارس، دانشگاه‌ها، مساجد، و سایر اماکن تجمع عمومی

تمامی موارد فوق و برهم‌کنش آن‌ها با یک‌دیگر بر خروجی نهایی مدل اثرگذار هستند و قبل از اجرای مدل باید توسط مدل‌ساز تعیین یا برآورد شوند، که بسیار زمان‌بر و نیازمند اجرای پروژه‌های تحقیقاتی جانبی است. بنابراین، چنان‌چه این مدل‌ها از قبل و در طول زمان برای کشور خاصی توسعه داده شده باشند، در هنگام ظهور یک بیماری جدید می‌توانند نقش مهمی در مدل‌سازی انتشار آن ایفا کنند. به عنوان مثال، مدل کووید ۱۹ امپریال کالج بر اساس مدل‌های ارائه‌شده توسط همان تیم در سال‌های ۲۰۰۵^۹ و ۲۰۰۶^{۱۰} توسعه داده شده است. اما چنانچه مدل بومی موجود نباشد، استفاده از مدل‌های سایر کشورها و حذف یا جاگذاری غیردقیق موارد فوق، یا تغییر کاربرد مدل‌های

^۹ Ferguson, N. M., Cummings, D. A., Cauchemez, S., Fraser, C., Riley, S., Meeyai, A., ... & Burke, D. S. (۲۰۰۵). Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia. *Nature*, ۴۳۷(۷۰۵۶), ۲۰۹-۲۱۴.

^{۱۰} Ferguson, N. M., Cummings, D. A., Fraser, C., Cajka, J. C., Cooley, P. C., & Burke, D. S. (۲۰۰۶). Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature*, ۴۴۲(۷۱۰۱), ۴۴۸-۴۵۲.

سهل الوصول غير مرتبط بدون در نظر گرفتن جزئیات خاص مربوط به بیماری‌های واگیردار، منجر به تخمین نادرست مدل از متغیرهای تصمیم‌گیری می‌شود.

۳-۱- عدم لحاظ تفاوت‌های مناطق و استان‌های مختلف داخل یک کشور

سرعت انتشار، زمان‌بندی مداخله‌های غیردارویی، و اثربخشی مداخله‌ها در استان‌های مختلف متفاوت است و باید در مدل لحاظ شود. اولاً، استان‌های مختلف در زمان‌های مختلف اقدام به پیاده‌سازی مداخله‌های غیردارویی می‌کنند. مثلاً در برخی مدل‌ها فرض شده که تمام استان‌ها حداکثر ظرف مدت یک هفته پس از رویت اولین مورد مثبت اقدام به اعمال سیاست قرنطینه یا فاصله‌گذاری اجتماعی می‌کنند، که چندان با واقعیت هم‌خوانی ندارد. ثانياً، تعداد و شدت این مداخله‌ها بین استان‌ها و شهرها متفاوت است. ثالثاً، عواملی مانند تراکم جمعیت، نوع و میزان استفاده از حمل و نقل عمومی، و میزان هم‌کاری مردم در پیاده‌سازی مداخله‌ها، باعث ایجاد تفاوت بین سرعت انتشار ویروس و اثربخشی مداخله‌ها در استان‌ها و شهرهای مختلف می‌شود. به عنوان مثال، وجود مترو در شهرهای بزرگ و نیاز مردم به استفاده از آن از عوامل مهم شیوع بیماری است؛ حال آن که در شهرهای کوچک، نه تنها مترو وجود ندارد، بلکه به دلیل کوتاه بودن فواصل، حمل‌ونقل عمومی به سادگی قابل جای‌گزینی است.

متأسفانه، در اکثر مدل‌های ارائه‌شده برای کرونا، اثربخشی مداخله‌ها با داده‌های شهر ووهان چین کالیبره شده است (مثلاً در مدل دانشگاه واشینگتن). این فرض، با توجه به عوامل بالا و نیز عدم امکان پیاده‌سازی مداخله غیردارویی اعمال‌شده در ووهان برای اکثر کشورها و شهرها، غیرواقعی است و باعث برآورد نادرست مدل از متغیرهای تصمیم‌گیری می‌شود. بنابراین، توسعه‌ی مدل مختص به یک کشور نیازمند جزئیات فراوان در خصوص تفاوت‌های استان‌ها و شهرهای آن است.

۴-۱- عدم توجه به احتمال وجود انواع مختلف یا تکامل یافته ویروس

در اغلب مدل‌ها، اگر نگوییم تمام مدل‌ها، رفتار پاتوژن (ویروس) در طول زمان ثابت فرض می‌شود. حال آن‌که ویروس‌ها عمدتاً دارای نسخه‌های متفاوتی هستند که درجه متفاوتی از بیماری‌گری (ویرولانسی) را دارند. بر اساس یک برآورد علمی منتشرشده در مجله معتبر ساینس، حدود ۸۶٪ از مبتلایان به کرونا در چین هیچ‌گونه علائمی نداشته‌اند یا دارای علائم خفیف بوده‌اند^{۱۱}. این افراد عموماً در آمار رسمی مبتلایان در نظر گرفته نمی‌شوند، در حالی که قابلیت انتقال ویروس به افراد جدید را دارند. این نوع از مبتلایان در عموم مدل‌های ریاضی انتشار بیماری در نظر گرفته نشده‌اند.

یک سؤال بسیار مهم دیگر این است که نحوه تکامل ویروس در طول زمان و در پاسخ به مداخله‌های مختلف چگونه است؟ آیا نسخه ضعیف‌تر ادامه پیدا می‌کند یا نسخه قوی‌تر؟ حدود ۶۰٪ از ۴۰۰ بیماری‌واگیردار نوظهور که در ۸۰ سال گذشته شناسایی شده‌اند، بیماری‌های مشترک انسان و دام بوده‌اند^{۱۲}. این ویروس‌ها در ابتدا بسیار کم‌تحرک هستند و تحقق انتقال آن‌ها از حیوان به انسان و سپس از انسان به انسان بستگی به تکامل آن‌ها به نسخه‌های قوی‌تر دارد.

^{۱۱} Li, R., Pei, S., Chen, B., Song, Y., Zhang, T., Yang, W., & Shaman, J. (۲۰۲۰). Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2). *Science*.

^{۱۲} Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (۲۰۰۸). Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, ۴۵۱(۷۱۸۱), ۹۹۰-۹۹۳.

در حالت کلی، نتایج تحقیقات پیشین حاکی از وجود رابطه معکوس بین نرخ مرگومیر و اثربخشی انتقال آن به افراد جدید است.^{۱۳} به این معنا که ویروس‌هایی که سریع‌تر خود را نشان داده و موجب فوت بیمار می‌شوند، نرخ انتقال آن‌ها به مرور کاهش می‌یابد. خوش‌بختانه تعداد محدودی مدل‌های ریاضی تطبیق‌پذیر با سیر تکامل ویروس نیز ارائه شده‌اند (یکی از کامل‌ترین مدل‌ها در ماه جاری در مجله معتبر PNAS منتشر شده است^{۱۴}). اما در مورد ویروس‌های نوظهور پیش‌بینی رفتار ویروس ساده نیست و ویژگی‌های منحصر به فرد آن تا حد امکان و آگاهی باید در مدل لحاظ شود. در مورد کرونا، ابهام اساسی این است که نحوه تکامل سیستمی که انتقال ویروس قبل از بروز علائم بیماری اتفاق می‌افتد چگونه است؟ بنابراین، حتی در صورت استفاده از مدل‌های ریاضی تطبیق‌پذیر، به جهت ناشناخته بودن ویروس، تعیین جهت تکامل ویروس چالش‌برانگیز است. به خصوص که حتی در حالت وجود ایمنی گله‌ای، احتمال جهش ویروس به نسخه قوی‌تر^{۱۵} یا ابتلای مجدد به بیماری وجود دارد.^{۱۶}

۵-۱- غفلت از احتمال بروز رفتارهای استراتژیک

یکی از انگیزه‌های اصلی استفاده از مدل‌های عامل-محور، پیش‌بینی رفتارهای استراتژیک و احتمالی عوامل یک سیستم است. بطور مثال چنانچه مداخلات غیردرویی شامل فاصله‌گذاری اجتماعی بطور متناوب تمدید شود و به دلیل فقدان تجربه قبلی یا ضعف کلی روش مناسبی برای اطلاع‌رسانی اتخاذ نشود، ممکن است اعتماد عمومی جامعه و بخصوص طبقات آسیب‌پذیرتر از نظر اقتصادی صدمه جدی ببیند. در چنین شرایطی گروه‌هایی از اجتماع که تصور می‌کنند سیاستگذار درک درستی از هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و حتی فرهنگی مداخله هایش ندارد تلاش خواهند کرد به شکل معناداری مخالفت و حتی نافرمانی خود را برجسته سازند. در کشورها و مناطقی با اقتصاد ضعیف‌تر (مثل کسری بودجه مزمن و انباشته) دست سیاست‌گذاران برای گزینه‌های حمایتی از جمله سیاست‌های پولی انبساطی بسته‌تر است و در نتیجه طبیعی است که واکنش آن‌ها به چنین نافرمانی‌هایی محتاطانه‌تر باشد. در چنین شرایطی دل‌سردی کادر درمانی و پزشکی از مشاهده رفتار سهل‌گیرانه نهادهای انتظامی کاملاً محتمل بوده و می‌تواند به وخامت اوضاع بیافزاید. هم‌چنین پیش‌بینی رفتار متولیان هر واحد درمانی در تخصیص امکانات محدودشان به بیماران آسان نخواهد بود. در چنین شرایطی، رفتار مقامات رسمی در نحوه ثبت و ارایه آمار مبتلایان و مهم‌تر از آن تلفات انسانی ذیل یک بیماری مثل کرونا یکی دیگر از موضوعات مناقشه‌برانگیز بوده و خواهد بود.

۲- چارچوب پیشنهادی برای اهداف مدل‌سازی و نحوه ارائه نتایج

هفت هدف برای توسعه و ارائه یک مدل می‌توان متصور شد: پیش‌بینی، توضیح چرایی مفاهیم، توصیف رفتار یا مفاهیم، شرح نظریه‌ها، تصویرسازی، یادگیری اجتماعی، و مقایسه^{۱۷}. بنابراین، در یک تقسیم‌بندی کلی‌تر، دو هدف برای استفاده سیاست‌گذار از مدل‌های ریاضی شیوع بیماری‌های واگیردار می‌توان متصور شد:

^{۱۳} Osnas, E. E., Hurtado, P. J., & Dobson, A. P. (۲۰۱۵). Evolution of pathogen virulence across space during an epidemic. *The American Naturalist*, ۱۸۵(۳), ۳۳۲-۳۴۲.

^{۱۴} Eleteby, R., Zhuang, Y., Carley, K. M., Yağan, O., & Poor, H. V. (۲۰۲۰). The effects of evolutionary adaptations on spreading processes in complex networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, ۱۱۷(۱۱), ۵۶۶۴-۵۶۷۰.

^{۱۵} Fleming-Davies, A. E., Williams, P. D., Dhondt, A. A., Dobson, A. P., Hochachka, W. M., Leon, A. E., ... & Hawley, D. M. (۲۰۱۸). Incomplete host immunity favors the evolution of virulence in an emergent pathogen. *Science*, ۳۵۹(۶۳۷۹), ۱۰۳۰-۱۰۳۳.

^{۱۶} <https://www.nytimes.com/۲۰۲۰/۰۲/۲۹/health/coronavirus-reinfection.html>

^{۱۷} Edmonds, B., Le Page, C., Bithell, M., Chattoe-Brown, E., Grimm, V., Meyer, R., ... & Squazzoni, F. (۲۰۱۹). Different Modelling Purposes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, ۲۲(۳), ۶-۶.

(۱) تحلیل کیفی: ارائه تصویری کلان از موضوع و توصیف اثر کلی مداخله‌های غیردارویی مختلف بدون تمرکز بر اعداد و ارقام؛

(۲) تحلیل کمی: تلاش برای برآورد هر چه دقیق‌تر متغیرهای تصمیم‌گیری سیاست‌گذار در حالات مختلف.

با عنایت به وجود محدودیت‌های فوق‌الذکر در اکثر مدل‌های مرتبط با انتشار کرونا، دو حالت ایده‌آل برای مدل‌سازی مُنصفانه می‌توان متصور بود:

(۱) از ابتدا دامنه‌ی نتایج خود را به تحلیل کیفی محدود ساخته، به صورت شفاف آن را بیان نماید، و به جهت عدم در نظر گرفتن پارامترهای اثرگذار دنیای واقعی در مدل از ارائه پیش‌بینی عددی در مورد متغیرهای مهم تصمیم‌گیری مانند تعداد تلفات خودداری کند؛

(۲) در صورت در نظر گرفتن فاکتورهای فوق در مدل ریاضی (بسیار غیرمحمتمل در کشورهای در حال توسعه)، ابتدا عمل کرد مدل بر روی داده‌های همه‌گیری‌های گذشته کشور مورد نظر را تست کرده، خطای مدل در هر کدام را گزارش کند. سپس با بیان صریح ابهام‌های موجود در خصوص رفتار ویروس جدید، بازه اطمینان بیزی^{۱۸} را محاسبه و گزارش کند.

۳- ملاحظات انتشار عمومی نتایج مدل‌های ریاضی شیوع بیماری

مساله مهم دیگر ادراک عمومی و رسانه‌ای از نتایج کمی این مدل‌هاست. واقعیت این است که هر اندازه هم که مدل‌ساز در توصیف محدودیت‌های مدل ریاضی خود انصاف و شفافیت به خرج دهد، در صورت برآورد عددی از متغیرها (مثلاً تعداد تجهیزات پزشکی موردنیاز) و اعلام آن در رسانه‌های جمعی یا اجتماعی، عمده‌ی مخاطبان بدون خواندن گزارش ضمیمه و محدودیت‌های مدل، صرفاً بر روی اعداد تمرکز می‌کنند. مثلاً در شکل ۱، آن‌چه خواننده عادی از آن برداشت می‌کند و به خاطر می‌سپارد بیشینه‌ی تعداد مرگومیر است، بدون توجه به مقاله ضمیمه در وبسایت، که به برخی از محدودیت‌ها اشاره کرد (و البته به برخی هم اشاره نکرده). یا در مورد بازه اطمینان نشان‌داده‌شده در شکل ۱، خواننده کمی حرفه‌ای‌تر ممکن است این‌گونه تصور کند که تعداد واقعی تلفات با احتمال بالا در آن بازه قرار دارد، یا این که حدبالای بازه اطمینان را به عنوان تعداد تلفات در بدترین حالت تفسیر کند. اما این برداشت‌ها هم نادرست است، چرا که بازه اطمینان مذکور نشان‌دهنده بازه اطمینان اندازه‌گیری در صورت منطبق بر واقعیت بودن تمام فرضیات لحاظ‌شده در مدل است.

بنابراین لازم است محققین در صورت عدم توسعه مدل‌های ریاضی قوی و دارای حد قابل‌قبولی از جزئیات دنیای واقعی، در صورتی که اهداف سیاسی یا اقتصادی خاصی را مدنظر ندارند، از انتشار عمومی نتایج کمی آن خودداری کرده و به ارائه نتایج کیفی بسنده نمایند. انتشار اخباری که محرک احساسات منفی قوی هستند ممکن است باعث فعال شدن یکی از سوگیری‌های شناختی به نام «بی‌توجهی به احتمال^{۱۹}» شود. به این معنا که افراد بدون توجه به احتمالات حاضرند هر کاری برای پیش‌گیری از ضرر یا صدمه انجام بدهند. به عنوان مثال، انتشار خبر احتمال قرنطینه‌ی ۱۶ میلیون نفر در مناطق شمالی ایتالیا در یکی از روزنامه‌های معتبر، که بر اساس درز مدرک از مقامات دولتی صورت گرفته بود، منجر به تصمیم هزاران نفر از مردم برای فرار از آن منطقه و هجوم به ترمینال‌های قطار و اتوبوس شد^{۲۰}. هم‌چنین نتایج مطالعات فراوان

^{۱۸} Bayesian Confidence Interval

^{۱۹} Suter, R. S., Pachur, T., & Hertwig, R. (۲۰۱۶). How affect shapes risky choice: Distorted probability weighting versus probability neglect. *Journal of Behavioral Decision Making*, ۲۹(۴), ۴۳۷-۴۴۹.

^{۲۰} <https://www.theguardian.com/world/2020/mar/08/leaked-coronavirus-plan-to-quarantine-16m-sparks-chaos-in-italy>

حکایت از تمایل کلی افراد به درست‌پنداشتن اخبار و اطلاعات دارد^{۲۱}. باید توجه داشت در حالی که در گذشته عدم وجود اخبار باعث ایجاد عدم قطعیت و پریشانی افکار عمومی می‌شد، امروزه فراوانی و انفجار اخبار مختلف منجر به این موارد می‌شود. عدم توجه به این موضوعات می‌تواند موجب گمراهی افکار عمومی، فشار غیرضروری بر سیاست‌گذاران، ایجاد ترس غیرضروری بین شهروندان، و تولید اخبار نادرست یا گمراه‌کننده شود.

۴- توصیه‌های سیاست‌گذاری

این نوشتار به هیچ عنوان قصد نادیده‌گرفتن زحمات پژوهشگران ارجمند فعال در زمینه مدل‌سازی ریاضی انتشار کرونا را ندارد و قدردان تلاش شبانه‌روزی آن‌ها است. اما بر لزوم توسعه مدل‌های دقیق و منطبق بر شرایط دنیای واقعی که بتوانند باعث افزایش توانایی سیاست‌گذاران آگاه یا جلوگیری از گمراهی سیاست‌گذاران ناآشنا بشود تاکید ویژه دارد. خلاصه توصیه‌های مطرح‌شده در این نوشتار جهت نیل به این منظور در بحران‌های آتی با مخاطب قراردادن جامعه دانشگاهی در ذیل ارائه می‌شود:

- تبیین دقیق هدف مدل و پرهیز از خلط اهداف توصیفی/توضیحی با پیش‌بینی
- پرهیز از تغییر کاربری مدل‌های غیرمرتبط سهل‌الوصول جهت تسریع در امر واکنش به بحران موجود
- پرهیز از استفاده از مدل‌های سایر کشورها بدون کالیبره کردن با شرایط داخلی
- پرهیز از ارائه عمومی نتایج کمی در صورت عدم توسعه مدل با جزئیات کافی
- ارائه رفتار مسئولانه در خصوص افکار عمومی و احتمال تولید اخبار گمراه‌کننده
- تشویق دانشجویان به توسعه مدل‌های کوچک (مثلاً در سطح منطقه شهرداری) ولی دارای جزئیات کافی
- تمرکز بر تحلیل داده‌های محلی و ارائه پیش‌بینی‌های مبتنی بر تحلیل داده‌ها برای هر منطقه در زمان وقوع همه‌گیری‌های نوظهور (شهر، شهرستان، یا استان)

هم‌چنین توصیه‌های ذیل جهت افزایش توان دانشگاهی کشور برای مدل‌سازی بیماری‌های واگیردار نوظهور پیشنهاد می‌شوند:

- هم‌کاری وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری با وزارت بهداشت، درمان، و آموزش پزشکی جهت تعریف پروژه‌های تحقیقاتی بین‌رشته‌ای برای توسعه مدل‌های ریاضی مناسب برای شیوع بیماری‌های واگیردار،
- حمایت از دانشگاه‌های استان‌ها جهت توسعه زیربنا و مدل‌سازی شیوع بیماری‌های واگیردار در سطح استان و یا شهرستان (هر استان مدل مختص به خود را توسعه دهد)، و ایجاد تیم راه‌بری ملی جهت برنامه‌ریزی برای قابل‌تجمع بودن مدل‌های استانی به یک مدل ملی
- حمایت مالی و زیربنایی از تحقیقات رشته‌ای و بین‌رشته‌ای در این حوزه پس از فروکش کردن همه‌گیری
- ایجاد برنامه‌های ملی جهت جمع‌آوری مرتب و روزانه داده‌های بیماری‌های واگیردار نوظهور در زمان رخداد (مثلاً زمان اعلام و اجرای مداخله‌ها به تفکیک شهر، شهرستان، و استان؛ داده‌های فضای مجازی؛ تعداد مبتلایان، بهبودیافتگان، و فوت‌شده‌ها به تفکیک روز و مکان؛ و غیره)

^{۲۱} Pantazi, M., Klein, O., & Kissine, M. (۲۰۲۰). Is justice blind or myopic? An examination of the effects of meta-cognitive myopia and truth bias on mock jurors and judges. *Judgment and Decision Making*, ۱۵(۲), ۲۱۴-۲۲۹.

توضیحات

- محتوای این نوشتار نشان‌دهنده نظر شخصی نویسندگان است و ارتباطی با موضع یا منافع دانشگاه‌ها و نهادهایی که نویسندگان عضو آن‌ها هستند ندارد.

- در روزهای اخیر و پس از آغاز نگارش این متن، مقالاتی با رویکرد و بحث مشابه در کشورهای مختلف منتشر شده است. ضمن اعلام وام‌گیری از جزئیاتی از این مطالب، لیست آن‌ها برای مطالعه بیشتر در ذیل ارائه می‌گردد:

Squazzoni F, et al (۲۰۲۰) Computational Models That Matter During a Global Pandemic Outbreak: A Call to Action. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* ۲۳ (۲) ۱۰.

Gonclavez B (۲۰۲۰) Epidemic Modeling ۱۰۱: Or why your CoVID۱۹ exponential fits are wrong. *Medium*, <https://medium.com/data-for-science/epidemic-modeling-۱۰۱-or-why-your-covid۱۹-exponential-fits-are-wrong-۹۷aa۵۰c۵۵f۸>.

Coerth M, et al (۲۰۲۰) Why It's So Freaking Hard To Make A Good COVID-۱۹ Model. *FiveThirtyEight*, <https://fivethirtyeight.com/features/why-its-so-freaking-hard-to-make-a-good-covid-۱۹-model/>.