بسمه‌تعالی

گزارش اول مدلسازی اپیدمی کووید-۱۹ در ایران

تحلیل روند بروز بیماری در تهران و کشور از ابتدای بهمن ۱۳۹۸ تا انتهای اردیبهشت ۱۳۹۹ در سناریوهای مختلف و تبیین موثرترین روش‌های کنترل همه‌گیری

کارگروه تحلیل اپیدمیولوژی کووید-۱۹، وزارت بهداشت-درمان و آموزش پزشکی

با همکاری:
مرکز تحقیقات مدلسازی در سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، و
اساتید دانشگاه‌های علوم پزشکی، شهیدبهشتی، تهران، ایران و دانشگاه صنعتی شریف

۲۶ اسفندماه ۱۳۹۸

فهرست مطالب

مقدمه..... ۳
چکیده یافته‌ها..... ۴
شرح مختصر اپیدمی در جهان و ایران..... ۵
ساختار مفهومی مدل..... ۵
ورودی‌های مورد استفاده..... ۹
توصیف سناریوهای محتمل..... ۱۰
یافته‌ها..... ۱۱
سناریو پایه: عدم انجام هر گونه مداخله و در نظر گرفتن بدترین رفتار اپیدمی..... ۱۱
سناریو با حداقل مداخله(سناریو ۱)..... ۱۳
سناریو با مداخله حد متوسط(سناریو ۲)..... ۱۵
سناریو با بیشترین مداخله(سناریو ۳)..... ۱۶
مقایسه نتایج نهایی سه سناریو..... ۱۸
بحث و نتیجه گیری..... ۱۹
توصیه های مدیریتی..... ۲۰

مقدمه

در حال حاضر اپیدمی (همه‌گیری) ویروس کووید-۱۹ به عنوان مهمترین چالش سلامت جهانی مطرح و گسترش آن به ۱۴۶ کشور جهان رسیده‌است. این گستردگی سریع و وسیع باعث آسیب‌های جدی اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و حتی سیاسی در کشورها شده به شکلی که حتی جلسات سازمان ملل و بسیاری از مسابقات ورزشی، فرهنگی و علمی بین کشورها و درون کشورها تحت تاثیر این اپیدمی قرار گرفته‌است.

این ویروس اگرچه از نظر میزان کشندگی نسبت به سایر ویروس‌های نوپدید خانواده کرونا مانند سارس و مرس کم خطرتر است اما سرعت گسترش و رفتارهای بیماری‌زایی ویژه‌ای از خود بروز داده‌است که کنترل آن را بسیار سخت نموده‌است.

پاندمی حاصل از گسترش این ویروس باعث شده تا در کشورهای مختلف سیاست‌های منطبق بر شرایط خود اخذ نمایند. در چین به عنوان اولین کشور مواجه‌یافته، برای مهار سریع ویروس رفتاری بسیار سخت‌گیرانه به خرج داد و با محدودیت شدید رفت و آمد در شهر ووهان و سایر نقاط آلوده، سعی نمود تا رشد جهشی بیماری را کنترل نماید. اگرچه این سیاست تاحدودی موفق بود ولی مانع از گسترش به سایر نقاط چین و جهان نشد و به خصوص قبل از اعمال این محدودیت‌ها، ویروس در شبکه گسترده ارتباطات جهانی پخش‌شده‌بود.

در سایر کشورها نیز به فراخورد توان و شرایط اجتماعی خود سیاست‌هایی تدوین نموده و عمل کرده‌اند که با توجه به جدید بودن بروز اپیدمی به سادگی نمی‌توان میزان اثربخشی آنها را سنجید و برای درک بهتر اثرات مداخلات اخذ شده باید زمان کافی داشت و در آینده قضاوتی منطقی‌تر نمود. اما سوال بسیار جدی در سطح کشور آن است که ما در ایران چه باید بکنیم و بهترین بسته سیاستی چه می‌باشد؟

برای پاسخ به این سوال، قطعاً درک روند بروز بیماری و مدل‌سازی مداخلات مختلف بر تغییر سیر طبیعی گسترش بیماری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بر این اساس ستاد کشور مدیریت اپیدمی کووید-۱۹ به کارگروه اپیدمیولوژی ماموریت داد تا در کوتاه-ترین زمان ممکن و بهره‌گیری از توان حداکثری علمی کشور، مدل‌سازی بیماری را انجام و یافته‌های علمی خود را در قالب گزاره-های سیاستی ارایه نماید تا مبنای مناسبی برای اتخاذ تصمیمات کشوری قرارگیرد.

بر این اساس و با ایجاد کارگروه‌های مختلف در سطح کشور و در بین دانشگاه‌های علوم پزشکی و غیرعلوم پزشکی و بهره‌گیری از توان متخصصین داخل و خارج کشور، انواع مدل‌های آماری طراحی و بعد از بحث‌های کارشناسی مهمترین و راهگشاترین آنها انتخاب گردید که در این گزارش به آنها اشاره و مورد بحث و تحلیل قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است گزارشات تکمیلی و بحث‌های علمی این کارگروه‌ها ادامه داشته و قطعاً در آینده در قالب مستندات مدون ارایه خواهدشد اما بنا به محدودیت شدید وقت و نیاز وافر به خروجی‌های فوری، در این گزارش به روند کلی بیماری در کشور و در شهر تهران پرداخته و مهمترین نقطه تاثیرگذار بر مدیریت بیماری تحلیل خواهدشد.

چکیده یافته‌ها

در این مطالعه، بر اساس مدل‌های دینامیک تولید شده برای شبیه‌سازی اپیدمی کووید-۱۹ پیش‌بینی اتفاقات احتمالی در شهر تهران و در کل کشور به شکل کمّی ارایه گردیده‌است. در ابتدا تاثیرات تغییر رفتار مردم و همچنین تغییرات فصلی آب و هوا بر میزان سرایت بیماری مدل گردید و سپس سعی شد روند طبیعی این عفونت در شرایط بدبینانه به عنوان مدل پایه طراحی گردد. سپس سه سناریو به مدل اضافه شد تا تاثیر سه سطح مداخله در ایزوله نمودن افراد مشکوک و بیمار مورد واکاوی قرار گیرد.

نتایج این مدل‌ها نشان می‌دهد که در صورت عدم دستیابی به روش‌های درمانی جدید، واکسن و ثبات میزان مسری بودن و بیماری-زایی ویروس، روند طبیعی این بیماری در سال‌های آینده در ایران ادامه و احتمالا تا ۶۳ درصد افراد را مبتلا خواهد نمود که این مقدار مشابه مقادیر پیش‌بینی شده در سایر کشورهای جهان است.

بر این اساس باید تمام تلاش سیستم مبذول گردد که سیر ابتلا و رسیدن به این سطح از ایمنی در جامعه آهسته گردد که از یک طرف فشار سنگین بر سیستم سلامت کاهش یابد و از طرف دیگر فرصت کافی برای تولید روش‌های جدید درمانی و پیش‌گیری فراهم شود.

برای تحقق این هدف و به تاخیر افتادن موج سنگین بیماری، مؤثرترین ابزار موجود ایزولاسیون بیماران است، به شکلی که افراد مشکوک و مبتلا کمترین تماس را با افراد سالم داشته و بدین شکل زنجیره انتقال شکسته شود. در این مدل‌سازی نشان داده‌شد بدون مداخله جدی و اضافه و حفظ ایزولاسیون نزدیک ۱۰درصد، موج اپیدمی تا انتهای اردیبهشت ماه ادامه‌دار و بسیار سنگین خواهد بود. اما اگر متوسط میزان تماس افراد مبتلا و مشکوک از ۲۰ اسفندماه در سطح ۲۵ درصد قرار گیرد، اولین موج اپیدمی تا انتهای اردیبهشت ۱۳۹۹ تا حدودی ادامه خواهدداشت، اما روند کاهنده مختصری در این ماه از خود نشان می‌دهد. در این محاسبات میزان حداکثر تخت بیمارستانی مورد نیاز در کشور ۶،۱۲۰ و در تهران ۱،۳۵۰ خواهدبود. تعداد کل مبتلایان در این مدت در کشور ۱،۱۶۰،۰۰۰ نفر و در تهران ۲۴۵،۰۰۰ نفر خواهدبود.

اگر با تمهیدات لازم این سطح ایزولاسیون از ۲۰ اسفندماه به ۳۲ درصد برسد، موج اپیدمی به میزان قابل ملاحظه‌ای در فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۹ کاهش می‌یابد. در این سناریو میزان حداکثر تخت بیمارستانی مورد نیاز در کشور و تهران نیز به ۵۸۷۰ و ۹۹۰ می-رسد. تعداد کل مبتلایان در این مدت در کشور ۹۵۱،۰۰۰ نفر و در تهران ۱۹۳۰۰۰ نفر خواهد بود.

اما اگر تلاش لازم مبذول گردد تا سطح ایزولاسیون به ۴۰ درصد برسد، موج اپیدمی در فروردین افت شدید خود را شروع می‌کند و در اردیبهشت ماه به سطح پایینی می‌رسد و حداکثر تخت بیمارستانی نیز به ترتیب ۵۸۲۰ و ۹۶۰ خواهدبود. تعداد کل مبتلایان در این مدت در کشور ۸۱۱،۰۰۰ نفر و در تهران ۱۵۹،۰۰۰ نفر خواهد بود.

بر این اساس به نظر می‌رسد که اولا اپیدمی مذکور بسیار جدی بوده و نیاز به تمهیدات بلندمدت دارد. اما برای کنترل موج اول این بیماری، **سیاست ایزوله نمودن بیماران و افراد مشکوک و کاهش تماس‌ها مردم تنها و مهمترین عامل کنترل کننده می‌باشد.**

شرح مختصر اپیدمی در جهان و ایران

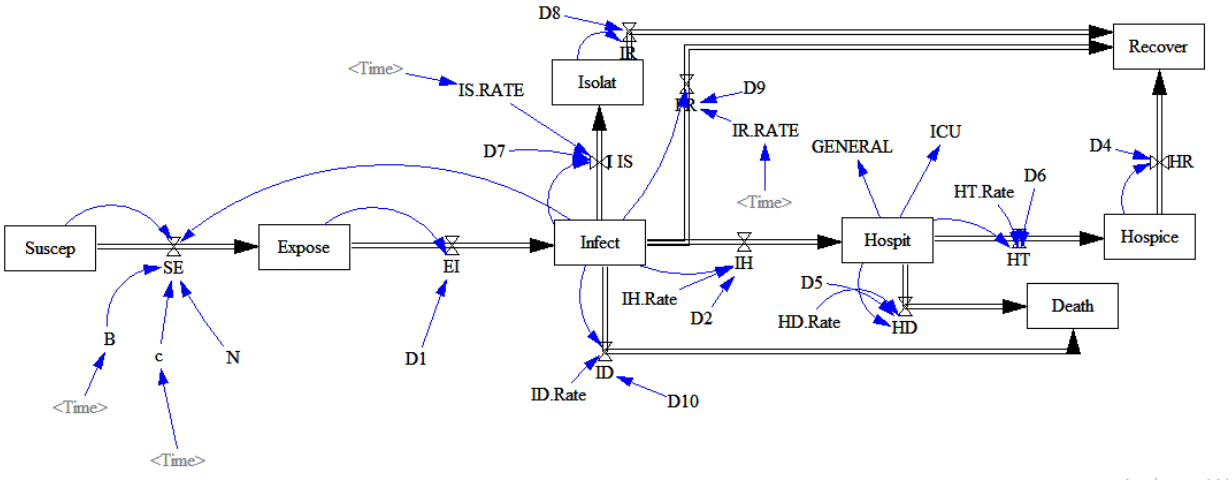
- بیماری کووید-۱۹ برای اولین بار در اواخر دسامبر سال ۲۰۱۹ میلادی در منطقه ووهان چین گزارش شد. این بیماری در چین تا حدود سه ماه روندی صعودی داشت تا آنکه سرانجام در هفته های اخیر در ووهان و شهرهای مختلف چین تا حدود زیادی کنترل شد.
- در حال حاضر این بیماری از ۱۴۶ کشور دنیا گزارش شده است. تعداد کل موارد بیماری در جهان ۱۴۵۹۹۳ مورد می باشد که از این تعداد ۵۴۴۰ نفر در اثر بیماری جان خود را از دست داده اند. میزان کشندگی بیماری ۳/۷٪ گزارش شده است.
- بیماری بطور خاص در هفته های اخیر کشورهای مختلف دنیا را درگیر کرده است. بیشترین موارد ابتلا در خارج از چین به ترتیب در ایتالیا ۱۵۱۱۳، ایران۱۱۳۶۴، کره جنوبی ۷۹۷۷، اسپانیا ۲۹۶۵، فرانسه ۲۸۶۰، آلمان ۲۳۶۹، آمریکا ۱۲۶۴، سوئیس ۸۵۸، ژاپن ۶۷۵، دانمارک ۶۷۴ و سوئد ۶۲۰ نفر بوده است.
- روند رشد موارد بیماری تقریبا در همه کشورهای دنیا بجز سنگاپور، ژاپن و هنگ کنگ روند مشابهی را دارد. متوسط میزان رشد روزانه موارد ابتلا در کشورهای مختلف حدود ۳۳٪ اعلام شده است. شواهد نشان می دهد که آمریکا احتمالا به دلیل پنهان کردن موارد بیماری در روزهای اول بعد از همه گیری، روند متفاوتی را در روزهای آتی طی خواهد کرد.
- در ایران، اولین موارد بیماری از قم با دو مورد فوتی در تاریخ ۳۰ بهمن ماه گزارش شد. متعاقبا با شناسایی این موارد روند صعودی موارد ابتلا در اقصی نقاط کشور آغاز شد. موارد بعدی بیماری از شهرهای تهران و اراک گزارش شد. پس از آن با رشدی سریع در مدت زمانی کوتاه (حدود سه هفته) تا به امروز همه استان های کشور درگیر این بیماری شدند. تعداد موارد بیماری در کشور که تاکنون گزارش شده است ۱۴۹۹۱ نفر می باشد. از این میان موارد بهبود یافته ۴۹۹۶ نفر و موارد فوتی ۸۵۳ نفر گزارش شده است. موارد قطعی بیماری مواردی می باشند که تست آزمایشگاهی آن ها مثبت شده است.
- نسبت بیماری در مردان به زنان در جمعیت مبتلا در ایران ۱/۴ است. میانگین سنی مبتلایان ۵۴ سال، میانه سنی ۵۵ سال است و بیش از ۸۵ درصد موارد قطعی بیماری سن بالای ۴۲ سال دارند.

شیوه مدل‌سازی و پارامترهای ورودی

ساختار مفهومی مدل

این مدل‌سازی با استفاده از روش دینامیک (Dynamic model) بوده و در آن ابتدا ساختار مفهومی انتقال بیماری شرح داده‌شد. در این ساختار، افراد جامعه ابتدا تماماً حساس فرض شده و بیماری از طریق تماس ایشان با اولین موارد آلوده‌کننده (Infectious) گسترش می‌یابد؛ لذا افراد آلوده از یک طرف بعد از دوره نهفتگی (Latent period) خود آلوده‌کننده شده، و از طرف دیگر با ظهور علائم بالینی، بیمار می‌شوند. ایشان بسته به شدت بیماری، یا علائم بالینی خفیفی‌داشته و درمان سرپایی خواهندداشت و بعد از مدتی ایمنی دائم می‌یابند و یا علائم شدید بروز نموده و به بیمارستان منتقل می‌شوند. در بیمارستان نیز یا با درمان‌های رایج سیر بهبودی را طی خواهند نمود و یا به بخش مراقبت‌های ویژه منتقل شده و نیازمند مداخلات سنگین درمانی خواهندبود. افراد بیمار خصوصاً در بیمارستان ممکن است به درمان جواب نداده و فوت شوند. افرادی که سرپایی درمان می‌شوند نیز ممکن است در طول درمان به درجاتی ایزوله‌شده و امکان آلوده‌کنندگی دیگران را کمتر بیابند، لذا مسیر حرکت از باکس آلوده به سمت ایمن دو مسیر با و بودن

ایزولاسیون را طی خواهند نمود. افراد بستری در بیمارستان نیز ممکن است مسیری طی نموده و تا پایان دوره آلوده‌کنندگی به صورت ایزوله مورد مراقبت قرار گیرند و یا ممکن است این شرایط برای ایشان به خوبی محقق نشده و بعد از طی مراحل درمانی حاد، به شکلی در بیمارستان و یا منزل مورد مراقبت قرار گیرند که امکان آلوده کردن سایرین برای ایشان ممکن باشد. این ساختار مفهومی در شکل زیر ترسیم و پارامترهای ورودی مربوطه در جدول ۱ آورده‌شده‌است.



نمودار ۱: ساختار مفهومی انتقال اپیدمی مدلسازی شده

جدول شماره ۱: پارامترهای ورودی در مدلسازی اپیدمی کووید-۱۹

پارامتر	پارامتر مدل	مقدار پارامتر
جمعیت حساس برای بیمار شدن در هر زمان	Suscep	۱۰ میلیون برای تهران و ۸۰ میلیون برای مدل کشوری
افراد مواجه یافته با ویروس کرونا در هر زمان	Expose	۷۵ نفر در تهران و ۱۰۸۰ نفر در کشور در زمان صفر
افراد مبتلا شده به بیماری کرونا در هر زمان	Infect	۵ نفر در تهران و ۹۰ نفر در کشور در زمان صفر
افراد ایزوله شده بعد از ابتلا که بیمارستانی نیستند	Isolat	صفر نفر در زمان صفر
افراد بهبود یافته	Recover	صفر نفر در زمان صفر
افراد بستری شده در بیمارستان	Hospit	صفر نفر در زمان صفر
افراد ترخیص شده(در خانه یا در اقامتگاه مخصوص تحت مراقبت و پیگیری هستند)	Hospice	صفر نفر در زمان صفر
کل جمعیت	N	۱۰ میلیون برای تهران و ۸۰ میلیون برای مدل کشوری
تعداد تماس هر فرد سالم در یک روز	C	مقادیر این پارامتر در جدول شماره ۲ آمده است
احتمال ابتلا در مواجهه یک فرد سالم با یک فرد مبتلا	B	مقادیر این پارامتر در جدول شماره ۲ آمده است
تعداد افرادی از گروه حساس که روزانه به مواجهه یافته ها اضافه می شوند	SE	B×c (Infect/N)× Suscep
تعداد افرادی از گروه مواجهه یافته که روزانه به ابتلا شده ها اضافه می شوند	EI	Expose×(1/D1)
مدت زمانی که طول می کشد یک فرد مواجهه یافته تبدیل به یک فرد مبتلا شود	D1	۴,۹ روز
تعداد افرادی که روزانه ایزوله می شوند	IIS	(Infect)×(IS.RATE)×(1/D7)
مدت زمانی که طول می کشد یک فرد مبتلا، ایزوله شود	D7	۳ روز
درصدی از افراد مبتلا که ایزوله می شوند	IS.RATE	طبق سناریو
مدت زمانی که طول می کشد یک فرد ایزوله، بهبود پیدا کند	D8	۸,۵ روز
تعدادافراد مبتلا(بدون بستری در بیمارستان و بدون ایزوله) که روزانه بهبود پیدا می کنند	IR	(Infect)×(IR.RATE)×(1/D9)
درصدی از افراد مبتلا که(بدون ایزوله و بدون بستری در بیمارستان) بهبود پیدا می کنند	IR.RATE	طبق سناریو(متمم سناریوهای ایزوله)

مدت زمانی که طول می کشد یک فرد مبتلا (بدون ایزوله و بدون بستری در بیمارستان)، بهبود پیدا کند	D9	۱۱,۵ روز
تعدا د افرادی از گروه مبتلا که روزانه در بیمارستان بستری می‌شوند	IH	Infect× (1/D2)×(IH.Rate)
درصدی از افراد مبتلا که در بیمارستان بستری می‌شوند	IH.Rate	۰,۰۵
مدت زمانی که طول می کشد یک فرد مبتلا، در بیمارستان بستری شود	D2	۳ روز
تعداد افراد بیمارستانی که در بخش های عمومی(غیر I CU) بستری می شوند.	GENERAL	Hospit×۰.۹
تعداد افراد بیمارستانی که در I CU بستری می‌شوند.	ICU	Hospit×۰,۱۰
تعداد افرادی که روزانه از بیمارستان ترخیص می شوند	HT	(HT.Rate)×(Hospit)×(۱/D۶)
درصدی از افراد بستری در بیمارستان که ترخیص می شوند	HT.Rate	۰.۹۰
مدت زمانی که طول می کشد یک فرد بستری شده در بیمارستان، ترخیص شود	D6	۴ روز
تعداد افرادی که روزانه از و ضعیت ترخیص به وضعیت بهبودی تغییر پیدا می کنند	HR	Hospice/D۴
مدت زمانی که طول می کشد یک فرد ترخیص شده، بهبودی پیدا کند.	D4	۷ روز

ورودی‌های مورد استفاده

زمان شروع این همه‌گیری بر اساس مستندات و تحلیلهای موجود اپیدمیولوژیک، اول بهمن ۱۳۹۸ در نظر گرفته‌شد. در این مدلسازی، چندین پارامتر ورودی مورد استفاده قرار گرفته‌است که مقادیر اولیه این پارامترها بر اساس بررسی متون گسترده در زمینه بیماری کووید-۱۹ و مقالات منتشرشده در این زمینه و همچنین تعدیل مقادیر متناظری که برای مدلسازی‌های بیماری‌های مشابه مانند آنفلوانزا H1N1 در دسترس بوده استخراج شده‌است. البته مقادیر مذکور در گروه‌های خبره‌گی به بحث گذاشته‌شده و مقادیر منطقی استفاده شده که با واقعیت‌های مشاهده شده از رفتار این اپیدمی در ایران و در سایر کشورهای جهان خصوصاً چین انطباق داشته‌است. در جداول یک و دو مهمترین پارامترهای ورودی و شرح مختصر آنها آورده‌شده‌است.

جدول شماره۲- مقادیر پارامترهای C یعنی تعداد تماس‌های موثر و B یعنی احتمال سرایت از یک فرد آلوده به یک فرد حساس در یک تماس موثر، در طول ۴ ماه به تفکیک شهر تهران و کل کشور

ماه	زمان	تهران		کشور	
		c	B	c	B
بهمن	۱۰ روز اول	۱۴	۰.۰۴۲۳	۱۳	۰.۰۳۹۳
	۱۰ روز دوم	۱۳	۰.۰۴۱۴	۱۲	۰.۰۳۸۴
	۱۰ روز سوم	۱۲	۰.۰۴۰۶	۱۱	۰.۰۳۷۶
اسفند	۱۰ روز اول	۱۰	۰.۰۳۹۷	۹	۰.۰۳۶۷
	۱۰ روز دوم	۵	۰.۰۳۸۰	۵	۰.۰۳۵۰
	۱۰ روز سوم	۴	۰.۰۳۷۲	۴	۰.۰۳۴۲
فروردین	۱۰ روز اول	۵	۰.۰۳۵۵	۵	۰.۰۳۲۵
	۱۰ روز دوم	۶	۰.۰۳۳۸	۶	۰.۰۳۰۸
	۱۰ روز سوم	۵	۰.۰۳۲۱	۵	۰.۰۲۹۱
اردیبهشت	۱۰ روز اول	۵	۰.۰۳۰۴	۵	۰.۰۲۷۴
	۱۰ روز دوم	۵	۰.۰۲۹۶	۵	۰.۰۲۶۶
	۱۰ روز سوم	۵	۰.۰۲۸۷	۵	۰.۰۲۵۷

توصیف سناریوهای محتمل

در این مدلسازی، بعضی متغیرها با توجه به واقع‌بینانه‌ترین مقادیر به صورت ثابت در نظر گرفته‌شده‌اند. مهمترین این مقادیر، مرتبط به میزان مسری بودن (transmissibility coefficient: beta) و میزان تماس موثر (effective contact rate) است. در محاسبه میزان مسری بودن، عدد ابتدایی حدود ۰,۰۴۵ در نظر گرفته شد و سپس تاثیر سایر عوامل همانند تغییرات فصلی (seasonality) بر آن اعمال گردید. در این محاسبه مقدار اولیه بیش از ۱,۶ برابر مقدار پایه مشابه در آنفلوانزای H1N1 لحاظ گردید و سیر تغییرات فصلی مشابه مدلسازی انجام شده در بیماری مذکور (مقاله مدلسازی آنفلوآنزای کرمان) در نظر گرفته‌شد به شکلی که نقطه صفر زمان تغییرات فصلی تقریبا ۱۰ مهرماه، نقطه اوج ۱۰ دی ماه، و نقطه حداقلی ۱۰ تیرماه لحاظ شد.

در خصوص میزان تماس موثر نیز قبل از شناسایی و اعلام اپیدمی در شهر تهران عدد مذکور ۱۴ و در سایر نقاط کشور ۱۳ در نظر گرفته‌شد که این مقدار بعد از انجام مداخلاتی همانند تعطیلی مدارس، موسسات ورزشی و فرهنگی و اگاهی مردم کاهش داشته است و در حال حاضر عدد ۵ در نظر گرفته شد. همچنین میزان مسری بودن نیز برای این بیماری حدود ۰,۰۴۵ می‌باشد که اگر همانند سایر ویروس های خانواده کرونا و انفلوانزا عمل کند با گرم شدن هوا میزان مسری بودن نیز کاهش پیدا میکند. این اثر با در نظر گرفتن اثر فصلی در مدل وارد گردید. مطالعات نشان داده اند فردی که به این ویروس مبتلا شده است حدودا ۱۱,۵ روز میتواند این بیماری را به دیگران انتقال دهد.

شاخص R_0 از ضرب سه عامل میزان مسری بودن، تعداد تماس های موثر و مدت زمانی که فرد میتواند بیماری را انتقال دهد تشکیل شده است. این شاخص عددی از صفر تا بی نهایت میتواند باشد. در صورتی که عددی بین صفر تا یک باشد یعنی بیماری به سمت حذف شدن می‌رود. اگر عدد R_0 برابر با یک باشد یعنی بیماری اندمیک است و در صورتی که بزرگتر از یک باشد بیماری اپیدمی می‌باشد. با در نظر گرفتن بالاترین پارامترها، در ابتدای اپیدمی این شاخص در شهر تهران حداکثر برابر زیر بوده‌است

R_0=۱۴×۰,۰۴۵×۱۱.۵=۷.۲۴

به نظرم می‌رسد که پس از انجام مداخلات و کاهش ارتباطات مردم این شاخص به عدد ۲,۵۸ کاهش یافته‌است

R_0=۵×۰,۰۴۵×۱۱.۵=۲.۵۸

همانطور که در بالا ملاحظه می‌شود علاوه بر مداخله بر تماس‌های مؤثر می‌توانیم با استفاده از ایزولاسیون افراد آلوده‌کننده مقدار ۱۱,۵ روز را کاهش دهیم. فرض کنید پس از سه روز از مشخص شدن علائم فرد این فرد ایزوله شود و تماس‌های او به صفر برسد در این صورت ما دوره عفونت‌زایی این فرد را به سه روز کاهش داده‌ایم. اگر پنجاه درصد افراد را پس از سه روز ایزوله کنیم آنگاه شاخص R_0 به صورت زیر خواهد بود

$R_0=(۰.۵\times(۵\times۰,۰۴۵\times۱۱.۵)+۰.۵\times(۵\times۰,۰۴۵\times۳))=۱.۲۹+۰.۳۳=۱.۸۲$

پس میتوانیم با ایزولاسیون عدد R_0 به یک نزدیک می‌شود.

یافته‌ها

در این قسمت سعی خواهدشد ابتدا توصیف ساده‌ای از روند طبیعی این اپیدمی بدون هرگونه مداخله ارایه گردد و بیان گردد که سیر طبیعی بیماری چه خواهدبود. سپس اثرات مداخلات حداقلی، متوسط و حداکثری در ایزولاسیون بر روند بیماری به تصویر کشیده‌شده و نهایتاً خروجی سه مدل مقایسه خواهندشد.

سناریو پایه: عدم انجام هر گونه مداخله و در نظر گرفتن بدترین رفتار اپیدمی

مقدار "عدد پایه تجدید نسلی"[۱] مهمترین فاکتوری است که نشان می‌دهد سیر طبیعی یک عفونت در جامعه چگونه خواهدبود و برای رسیدن به سطح پایدار (اندمیک) چند درصد جامعه باید در مقابل یک بیماری مصونیت بیابد. فرمول مربوطه در این محاسبه به شرح زیر است:

$$level\ of\ immunity\ in\ endemicisty = \frac{R_. - ۱}{R_.}$$

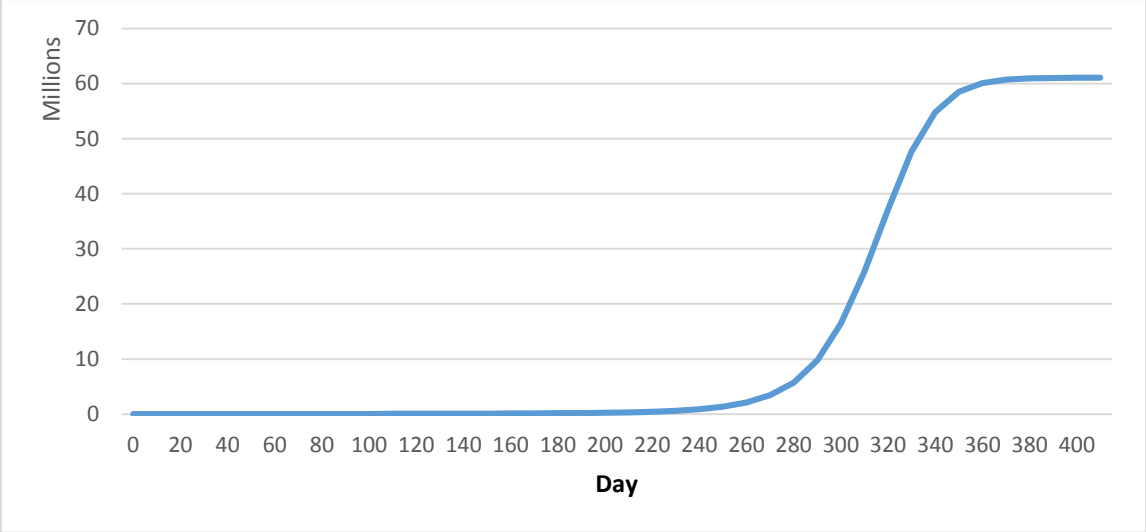
بر این اساس اگر میزان حداکثری این عدد در زمستان در کشور ۲,۷ و در تابستان ۱,۶ در نظر گرفته‌شد (بیش از ۱,۶ برابر آنفلوآنزای H۱N۱)، برای توقف اپیدمی در فصل گرم سال باید تقریباً ۳۷٪ و در فصل سرد سال باید ۶۳٪ جامعه ایمنی داشته‌باشند. از آنجایی که در حال حاضر برای این عفونت واکسن وجود ندارد لذا انتهای اپیدمی و ورود به فاز اندمیک بیماری در **شرایط عادی زندگی مردم** کشور احتمالا زمانی رخ خواهدداد که این درصد از افراد جامعه مبتلا و ایمنی کسب نمایند. لذا تنها اثرگذاری و کاربرد تمامی مداخلات موجود برای آن است که مدت رسیدن به این میزان ایمنی در جامعه طولانی‌تر و قله موج اپیدمی پایین‌تر باشد چراکه در صورت فشرده شدن اپیدمی در یک بازه زمانی کوتاه، عوارض بسیار سنگین اجتماعی و خصوصا بهداشتی و درمانی ایجاد و می‌تواند زمینه یک آشوب بسیار سنگین اجتماعی را فراهم آورد. البته در صورت باز شدن منحنی اپیدمی و کاهش آهنگ آلوده و ایمن شدن جامعه، این احتمال نیز وجود دارد که داروی موثر و حتی واکسن برای ایجاد مصونیت کشف گردد و بدین شکل هم تعداد تجمعی افراد آلوده کاهش می‌یابد و هم امکان درمان بیماران سخت نیز فراهم خواهدشد. همچنین با گذشت زمان ممکن است روند بیماری-زایی ویروس نیز دستخوش تغییراتی شود که البته شدت و سمت آن نیز خیلی قابل پیش‌بینی نیست ولی در اکثر مواقع تغییرات به سمت خفیف‌تر شدن بیماری پیش‌بینی می‌شود.

در *نمودار ۲* روند ابتلای در کل کشور برای رسیدن به حد اندمیک با لحاظ نمودن تاثیرات تغییرات فصلی نشان داده‌شده‌است. بر این اساس مشخص است که روند فزاینده اپیدمی در بهار و تابستان ۱۳۹۹ ادامه یافته و اگرچه از سرعت آن در فصل گرم کاسته‌خواهدشد

[۱] Basic reproductive number: R_0

ولی گسترش آن متوقف نمی‌شود و با شروع فصل سرد سال این پدیده مجدد شتاب تند خواهدیافت. در این مدل میزان مبتلایان به این عفونت تا انتهای اردیبهشت ماه ۱۳۹۹، به بیش از دو میلیون هشت‌صد هزار نفر خواهدرسید. لازم به ذکر است که این مدل **بدبینانه‌ترین نگاه به اپیدمی** است و تاثیرات بسیاری از عوامل محدود کننده و حتی بعضی یافته‌های محدود اما غیر تایید شده در خصوص این عفونت نوپدید از جمله **درصد قابل ملاحظه بیماران بی‌علامت یا با علائم بسیار مختصر** را نیز در نظر نگرفته‌است.

بر این اساس یافته‌های ساده مدل‌سازی بدون هر گونه مداخله می‌تواند بسیار ترسناک بوده و نشان می‌دهد که جامعه انسانی باید یک تحرک بسیار جدی برای مدیریت بیماری اخذ نماید.

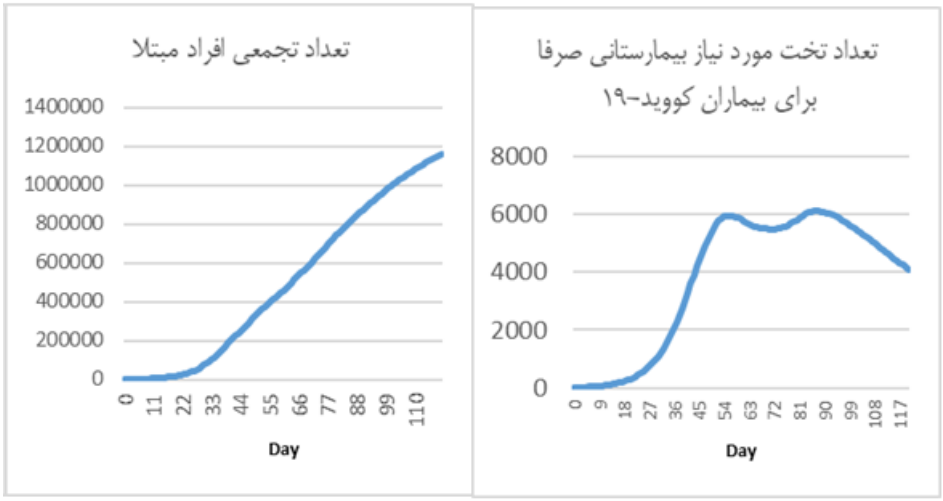


نمودار ۲: روند ابتلای ایرانیان به ویروس کووید-۱۹ از زمان شروع اپیدمی در بهمن ۹۸ تا انتهای سال ۹۹، همانگونه که نمودار مشخص است بدون هر گونه مداخله موج اصلی این اپیدمی تا انتهای آبان ۹۹ ادامه خواهدداشت و از آن به بعد وارد سطح اندمیک خواهدشد.

سناریو با حداقل مداخله(سناریو ۱)

تغییر سناریو: میانگین میزان ایزولاسیون در بهمن ماه برابر ده درصد و بعد از شروع اپیدمی یعنی اول اسفند تا ۲۰ اسفندماه برابر ۱۵ درصد و از ۲۰ اسفند تا پایان اردیبهشت ماه ۹۹، برابر ۲۵ درصد که حاصل تغییر مختصر رفتار مردم و افراد مبتلا است.

در این سناریو تا انتهای اردیبهشت ماه در شهر تهران ۲۴۵ هزار و در کل کشور ۱ میلیون و ۱۶۰ هزار فرد به این عفونت مبتلا خواهند شد و اپیدمی در کل کشور و در تهران روند کاهنده بسیار اندکی خواهدیافت. در اوج اپیدمی در تهران ۱۳۵۰ تخت بیمارستانی و در کل کشور ۶،۱۲۰ تخت بیمارستانی صرفاً برای بیماران کووید-۱۹ (و برای کل بیماران مثبت و مشکوک دو برابر این میزان) مورد نیاز است. مختصات کلی این اپیدمی در نمودار ۳ و ۴ درج گردیده است.



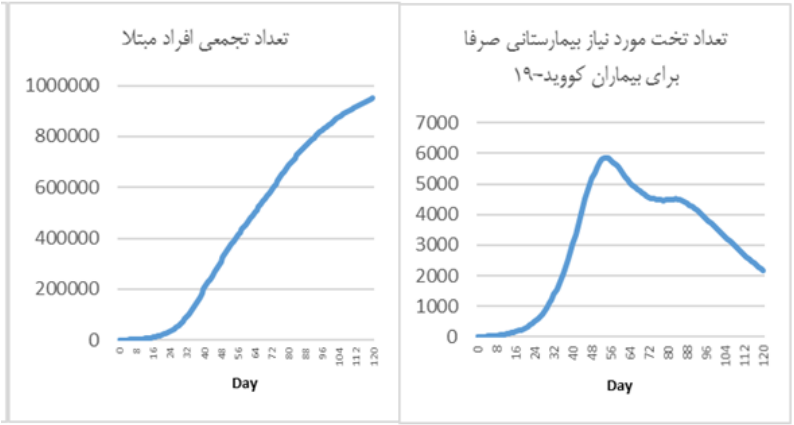
نمودار ۳: روند پیشرفت اپیدمی در کشور در سناریو با مداخله حداقل در ایزولاسیون بیماران، روز صفر اول بهمن ماه ۱۳۹۸ می‌باشد ، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت

نمودار ۴: روند پیشرفت اپیدمی در شهر تهران در سناریو با مداخله حداقل در ایزولاسیون بیماران، روز صفر اول بهمن ماه ۱۳۹۸ می‌باشد، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت

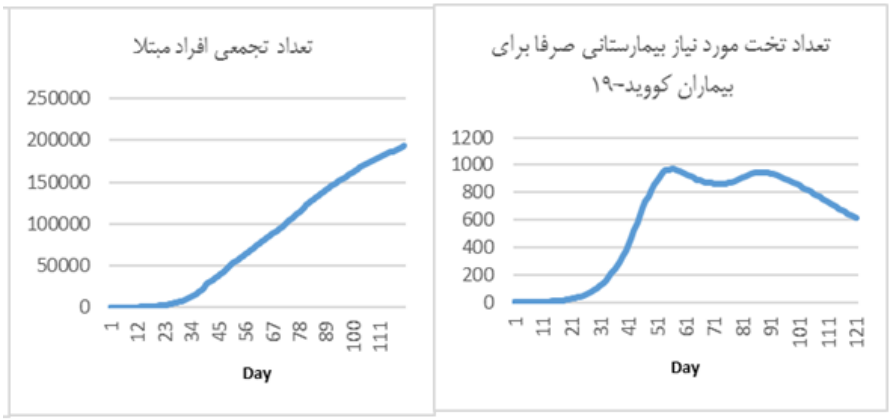
سناریو با مداخله حد متوسط(سناریو ۲)

تغییر سناریو: میانگین میزان ایزولاسیون در بهمن ماه برابر ۱۰ درصد و بعد از شروع اپیدمی یعنی اول اسفند تا ۲۰ اسفندماه برابر ۱۵ درصد و از ۲۰ اسفند تا پایان اردیبهشت ماه ۹۹، برابر ۳۲ درصد که حاصل مداخله حداقلی سیستم، تغییر رفتار مردم و مراقبت بهتر و تاحدودی قابل قبول افراد مبتلا از خانواده و اطرافیان نزدیک خود است.

در این سناریو تا انتهای اردیبهشت ماه در شهر تهران ۱۹۳ هزار و در کل کشور ۹۵۱ هزار نفر فرد به این عفونت مبتلا خواهندشد و اپیدمی در کل کشور و در تهران روند کاهنده بسیار اندکی خواهدیافت. در اوج اپیدمی در تهران ۹۹۰ تخت بیمارستانی و در کل کشور ۵۸۷۰ تخت بیمارستانی صرفاً برای درمان بیماران مبتلا به کووید-۱۹مورد نیاز است. مختصات کلی این اپیدمی در نمودار ۵ و ۶ درج گردیده است.



نمودار ۵: روند پیشرفت اپیدمی در کشور در سناریو با مداخله حد متوسط در ایزولاسیون بیماران، روز صفر اول بهمن ماه ۱۳۹۸ می‌باشد، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت

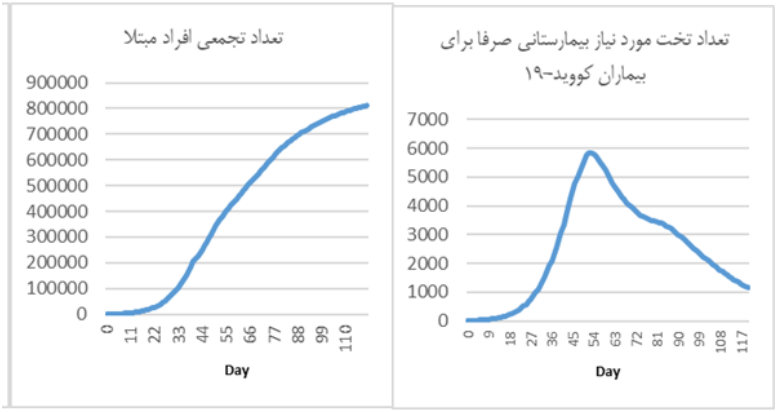


نمودار ۶: روند پیشرفت اپیدمی در شهر تهران در سناریو با مداخله حد متوسط در ایزولاسیون بیماران، روز صفر اول بهمن ماه ۱۳۹۸ می‌باشد، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت

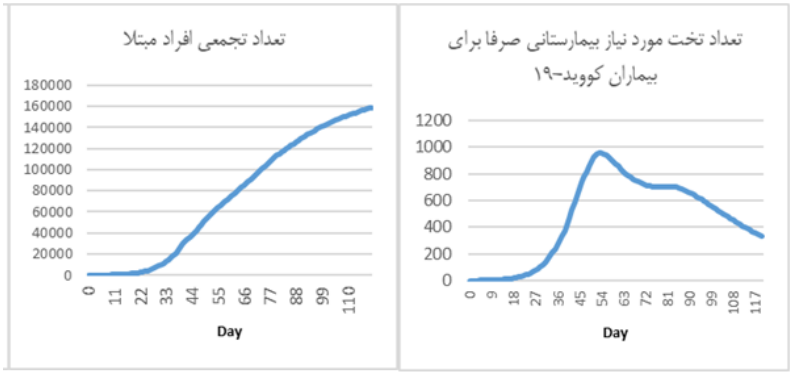
سناریو با بیشترین مداخله(سناریو ۳)

تغییر سناریو: میانگین میزان ایزولاسیون در بهمن ماه برابر ۱۰ درصد و بعد از شروع اپیدمی یعنی اول اسفند تا ۲۰ اسفندماه برابر ۱۵ درصد و از ۲۰ اسفند تا پایان اردیبهشت ماه ۹۹، برابر ۴۰ درصد که حاصل مداخله سیستم، تغییر رفتار مردم و مراقبت بهتر و قابل قبول افراد مبتلا از خانواده و اطرافیان نزدیک خود است.

در این سناریو تا انتهای اردیبهشت ماه در شهر تهران ۱۵۹ هزار و در کل کشور ۸۱۱ هزار فرد به این عفونت مبتلا خواهند شد و اپیدمی در کل کشور و در تهران روند کاهنده بسیار اندکی خواهدیافت. در اوج اپیدمی در تهران ۹۶۰ تخت بیمارستانی و در کل کشور ۵۸۲۰ تخت بیمارستانی صرفاً برای بیماران کووید-۱۹ مورد نیاز است (البته به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت). مختصات کلی این اپیدمی در نمودار ۷ و ۸ درج گردیده‌است.



نمودار ۷: روند پیشرفت اپیدمی در کشور در سناریو با مداخله حداکثر در ایزولاسیون بیماران، روز صفر اول بهمن ماه ۱۳۹۸ می‌باشد، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت



نمودار ۸: روند پیشرفت اپیدمی در شهر تهران در سناریو با مداخله حداکثر در ایزولاسیون بیماران، روز صفر اول بهمن ماه ۱۳۹۸ می‌باشد، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت

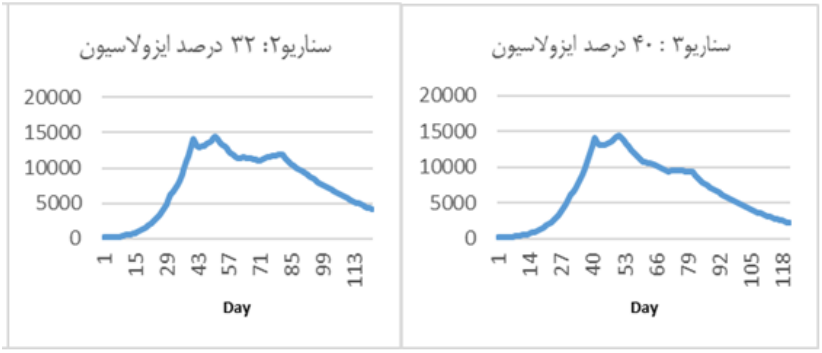
مقایسه نتایج نهایی سه سناریو

نتایج سه سناریو نشان می‌دهد که با افزایش میانگین ایزولاسیون از ۱۰ به ۴۰ درصد تغییرات منحنی‌های اپیدمی به شدت تغییر می-یابد و شرایط ارایه خدمات و کاهش آسیب جامعه بسیار متفاوت خواهدبود. در جدول زیر اهم یافته‌های این سه سناریو با هم مقایسه شده‌اند.

جدول شماره ۳: اهم خروجی‌های مدل‌های ساخته‌شده در اپیدمی کووید-۱۹ تا پایان اردیبهشت ماه ۱۳۹۹، لازم به ذکر است به جهت ارایه خدمت به بیماران مشکوک احتمالی باید حدود ۲ برابر این میزان تخت بیمارستان آماده ارایه خدمت داشت

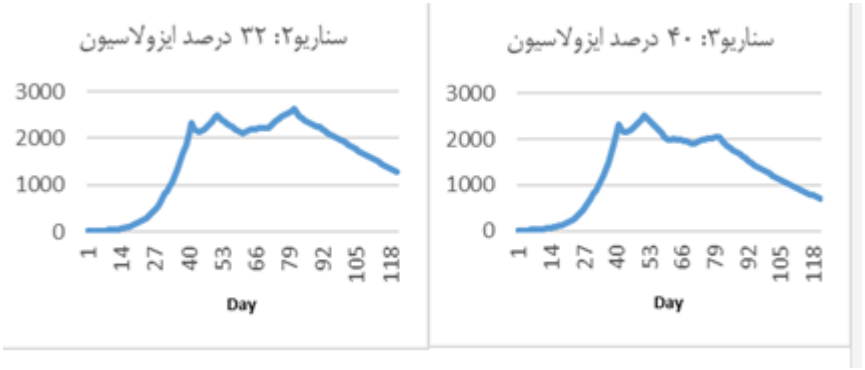
سناریو	گسترده مدل	تعداد تجمعی افراد مبتلا	حداکثر تعداد تخت-های جنرال مورد نیاز	حداکثر تعداد تخت‌های مراقبت‌های ویژه مورد نیاز	حداکثر تعداد افراد آلوده در روز
سناریو پایه ۱۰٪ ایزولاسیون	**تهران**	**۵۳۰۰۰۰**	**۱۸۹۰**	**۲۱۰**	**۷۵۰۰۰**
	کشور	**۲۴۰۰۰۰۰**	**۸۸۳۰**	**۹۸۰**	**۱۶۰۰۰۰**
۲۵٪ ایزولاسیون	تهران	۲۴۵۰۰۰	۱۲۱۰	۱۴۰	۱۹۸۰۰
	کشور	۱۱۶۰۰۰۰	۵۵۱۰	۶۱۰	۹۱۳۰۰
۳۲٪ ایزولاسیون	تهران	۱۹۳۰۰۰	۸۸۰	۱۱۰	۱۵۲۰۰
	کشور	۹۵۱۰۰۰	۵۲۷۰	۶۰۰	۹۲۱۰۰
۴۰٪ ایزولاسیون	تهران	۱۵۹۰۰۰	۸۶۰	۱۰۰	۱۵۱۰۰
	کشور	۸۱۱۰۰۰	۵۲۴۰	۵۸۰	۹۱۵۰

بر اساس این نتایج موج اپیدمی در سناریوهای ۴۰ و ۳۲ درصد ایزولاسیون از اوایل فروردین ماه رو به کاهش رفته و در اردیبهشت ماه به خوبی کنترل می‌شود؛ ولی در سناریو ۲۵ درصد ایزولاسیون، موج اپیدمی حتی تا انتهای اردیبهشت ماه با قوت ادامه می‌یابد اگرچه در این سناریو نیز افت مختصری از میانه این ماه دیده می‌شود. همچنین اگر ایزولاسیون در حد پایه ۱۰درصد ادامه یابد، موج اپیدمی تقریباً حتی تا پایان اردیبهشت ماه نیز در سطح بالا ادامه خواهدیافت. منحنی‌های اپیدمی در سه سناریو ۱ یعنی ۲۵ درصد ایزولاسیون، ۲ یعنی ۳۲ درصد ایزولاسیون، و ۳ یعنی ۴۰ درصد ایزولاسیون در نمودارهای ۹ و ۱۰ نمایش داده‌شده‌است.



نمودار شماره ۹: میزان بروز روزانه عفونت در کشور تا پایان اردیبهشت ماه ۱۳۹۹

***چون قسمت ابتدایی این سناریوها یکسان فرض شده‌اند، اثر مداخله از روز ۵۰ یعنی ۲۰ اسفند ظاهر می‌شود**



نمودار ۱۰: میزان بروز روزانه عفونت در شهر تهران تا پایان اردیبهشت ماه ۹۹

***چون قسمت ابتدایی این سناریوها یکسان فرض شده‌اند، اثر مداخله از روز ۵۰ یعنی ۲۰ اسفند ظاهر می‌شود**

بحث و نتیجه گیری

۱. پارامترهای استفاده شده برای ساخت این مدلها از جمله زمان احتمالی شروع اپیدمی، عدد پایه تجدید نسلی، تاثیر سطوح مختلف جداسازی و اثر فصل، بر اساس شواهد علمی موجود، اطلاعات به دست آمده از اپیدمی و ارزیابی های میدانی در شرایط فعلی ساخته شده اند. بدیهی است در صورت به دست آمدن شواهد جدید، تغییرات روند اپیدمی، تشدید یا کاهش تاثیر مداخلات، برآوردهای به دست آمده از این مدل ها تغییر خواهد کرد.

۲. با توجه به احتمال روشن تر شدن تصویر اپیدمی و ارزیابی تاثیر مداخلات انجام شده مدل های ارائه شده بایستی مرتبا به‌روز شوند. لذا مدل های ارائه شده به طور هفتگی بروز خواهد شد.

۳. کارایی مداخلات جهت ایزولاسیون بیماران در گرو به‌کار گیری سایر روش‌های کنترل بیماری مانند کاهش تماس موثر مردم با یکدیگر و افزایش فاصله‌گذاری اجتماعی و همچنین رعایت بهداشت فردی و سایر توصیه‌های کنترلی بیماری است.

توصیه های مدیریتی

بر اساس تحلیل‌های انجام شده و نتایج حاصل می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اپیدمی کووید-۱۹ یک پدیده پیچیده جهانی است که سرنوشت و روند گسترش آن به سادگی قابل پیش‌بینی نبوده و برای مدل‌سازی دقیق نیاز به اطلاعات زیادی وجود دارد که به دلیل نوپدید بودن این ویروس هنوز داده‌های لازم تولید نشده است. لذا باید مدل‌های تولیدشده با احتیاط بررسی و تحلیل گردند. با این حال موارد زیر برای کنترل و پیشگیری از گسترش اپیدمی توصیه می شوند:

۱. تمرکز اصلی مدیریت همه گیری و برنامه های پیشگیری و کنترل عفونت باید بر پایه کاهش بار بیماری (mitigation) شامل کاهش تعداد موارد مبتلا و مرگ و میر ناشی از آن باشد.

۲. با توجه به ابعاد وسیع و چندگانه همه گیری از جمله ابعاد فرهنگی، اقتصادی، سیاسی و امنیتی، توصیه می شود که برنامه عملیاتی پیشگیری و کنترل همه گیری با نقش آفرینی حداکثری کلیه ارکان حاکمیت (Whole government) شامل دولت، مجلس، قوه قضائیه و نیروهای مسلح و با مشارکت موثر جامعه (whole society) شامل کلیه اقشار مردم و جامعه مدنی تدوین و اجرا گردد.

۳. توصیه می شود برای ایجاد و حفظ فاصله گذاری اجتماعی، و جداسازی افراد بیمار و قرنطینه کردن افرادی که بیماران در تماس بوده اند، از کلیه ابزارهای لازم برای به حداقل رساندن تماس‌ها در جامعه از جمله حمایت های اجتماعی از اقشار آسیب پذیر، کسب و کار ها و صنایع کوچک، بازنشستگان و کارمندان، و اعمال مقررات تصویب شده در ستاد پیشگیری و کنترل همه گیری استفاده گردد.

۴. در صورت مدیریت موج اول همه گیری و کنترل این فشار سنگین زمینه کاهش بروز بیماری برای مدت چند ماه فراهم می گردد. با این وجود اپیدمی حاصل از این ویروس ادامه‌دار بوده و به سادگی و طی چند ماه در دنیا و در کشور قابل مهار کردن نیست. لذا لازم است در کنار برنامه‌های کوتاه‌مدت برای مهار موج اول این بیماری، برنامه‌های بلندمدت نیز تنظیم نمود.

۵. لازم است تحلیل‌های اقتصادی دقیقی بر پایه مدل‌های تولیدشده صورت گیرد تا هزینه-اثربخشی مداخلات تعیین شود. قطعاً برای مدیریت امواج بعدی این بیماری، داشتن این اطلاعات کمک بسیار زیادی خواهد نمود.

۶. در برنامه‌های بلندمدت باید تلاش بسیاری صورت گیرد تا مسیرهای پیش‌گیری، تشخیصی، و درمانی جدید یافت شود. برای این مهم انجام تحقیقات گسترده و منسجم علمی در فیلدهای مرتبط از جمله اپیدمیولوژی، ویروس‌شناسی، ایمنی-شناسی، ژنتیک، بیوتکنولوژی، مهندسی پزشکی، و شاخه‌های مختلف بالینی ضروری به نظر می‌رسد. قطعاً در صورت دستیابی به روش‌های جدید پیش‌گیری، مراقبتی و درمانی فرصت بسیار مناسبی برای توسعه اقتصادی فراهم و در این مسابقه، کشورهایی سود خواهند برد که بتوانند سریعتر برای نیازهای آینده خود و سایرین اقدامات علمی و هدفمند انجام دهند. البته چنین یافته‌هایی برای افزایش دقت مدلسازی و پیش‌بینی آینده نیز ضروری است.

۷. مدل‌های تولیدشده، می‌تواند مبنای مناسب و حداقلی برای تخمین نیازهای آینده کشور در هفته و ماه‌های پیش‌رو باشد. جزئیات این مدل‌ها کمک می‌کند تا پیش‌بینی شود که نیاز به تجهیزات حفاظتی، تشخیصی و درمان چه میزان خواهد بود.