گفتار ۲

# مفـاهیم و کاربـردهای مـدل‌سـازی در سلامت

دکتر علی‌اکبر حق‌دوست

در سال ۲۰۰۹، اپیدمی آنفولانزا در دنیا و ایران باعث نگرانی همه شد و این نگرانی، سیستم سلامت کشور را برای مدیریت برنامه، به شدت به تکاپو انداخت و این سوال پیش آمد که رعایت اصول بهداشت شخصی چه میزان می‌تواند بار بیماری را بکاهد. پاسخ به این سوال آسان نبود، یعنی کسی نمی‌توانست بدون محاسبه پیش‌بینی کند که آیا واقعا با شستن مکرر دستها، ممانعت از دست دادن در برخوردهای اجتماعی و عدم حضور فرد بیمار در جامعه با دیدن اولین علایم می‌توان این همه‌گیری را مهار کرد؟ برای پاسخ به این سوال مدلسازی انجام و نشان داده‌شد که کمی تدبیر و رعایت اصول بهداشتی، طول مدت اپیدمی را به اندازه‌ای زیاد خواهدنمود که به پایان فصل سرما خواهیم رسید و به عبارتی شیب تند فزاینده بروز بیماری به اندازه‌ای کند می‌شود که قله اپیدمی از فصل سرما خواهد گذشت. این پیام یعنی مدیریت اپیدمی بدون داشتن واکسن موثر، چرا که در آن زمان واکسن موثر در دسترس نبود و نگرانی برای بروز یک طغیان غیر قابل کنترل در اکثر شهرهای ایران جدی بود. شاید همین یافته‌ها بارقه امیدی پدید آورد و عزم همه را برای ترغیب مردم به رعایت اصول بهداشتی به شدت افزود. البته در مقاله این مدلسازی، سناریوهای مختلف برای شهرهای متوسط و بزرگ کشور طراحی و محاسبات انجام و نشان داد که سیاستهای اجرایی متفاوت چه تاثیراتی در شهرهای مختلف خواهد گذاشت و در بهترین و بدترین حالتها، سیستم باید برای چه مشکلاتی خود را آماده نماید (۱). این مثال یک کاربرد از مدلسازی ریاضی در سلامت و نقش کلیدی آن در مدیریت بیمارها است که شرح داده‌شد.

برای درک بیشتر این که مدلسازی بیماریها چقدر می‌تواند مفید باشد، پرسشهای بیشتری مطرح می‌شود تا حدود کاربرد این مبحث بارزتر گردد. با توجه به دانش موجود، تصور نمایید در سالهای آینده میزان بروز سرطانهای دستگاه گوارش چه میزان تغییر می‌کند و آیا می‌توان برای افزایش این سرطانها سناریوهای مختلفی را ترتیب داد؟ برای کنترل بیماریهای قلبی و عروقی در جامعه، ممکن است نسخه‌های مختلفی قابل پیچیدن باشد، شما به عنوان یک فرد کارشناس چه پیشنهادی دارید؟ به نظرتان تکیه بیشتر بر روی افزایش فعالیت بدنی مناسب‌تر است یا کاهش مصرف دخانیات؟ آیا اگر بیست درصد مصرف دخالیات کاهش و ده درصد فعالیت بدنی افزایش یابد نتیجه مطلوبتر خواهد بود یا برعکس ده درصد دخانیات و بیست درصد فعالیت بدنی تغییر یابند؟ کدامیک ارزان‌تر و کدامیک موثرتر است؟ آیا می‌توان سناریوهای مختلفی برای کاهش سوءمصرف مواد مخدر طراحی نمود و به شکلی اثربخشی آنها را برآورد نمود تا بهترین نسخه برای مدیریت این پدیده شوم ارایه نمود. احتمالاً با تغییرات سریع فناوری اطلاعات در سطح دنیا و کشور، شکل ارایه خدمات بهداشتی و درمانی نیز تغییر خواهدیافت، از طرفی جامعه پیر می‌شود و عوامل خطر مختلفی مانند تماس به شدت فزاینده با امواج الکترومغنایس، فعالیت بدنی و رژیم

غذایی متفاوت و تغییرات دیگری از این دست، بار بیماریها را تحت تاثیر قرار خواهدداد. بر این اساس ساختار سیستم ارایه خدمت چگونه باید شکل بگیرد که بتواند به بهترین شکل به نیازها پاسخ دهد و برآورد هزینه‌های بهداشت و درمان هر یک از بیماریها و تاثیرات عوامل خطر مختلف نیز ممکن گردد و یا یک مسئله دیگر، چگونه ممکن است هزینه کلی دیابت در جامعه را برآورد نمود و نشان داد که فعالیت بدنی چه میزان می‌تواند از طریق کاهش بار دیابت به اقتصاد سلامت جامعه کمک نماید. آیا می‌توان سناریوهای مختلفی را ساخت تا تاثیر مداخلات مختلف را بر بار بیماری دیابت محاسبه نمود و در نهایت بهترین نسخه را برداشت نمود؟

این گونه سوالات کلیدی و پیچیده در مدیریت سلامت و مدیریت بیماریها وجود دارد که به روشهای ساده نمی‌توان پاسخ دقیقی به آنها داد. بر این اساس در سالهای اخیر به خصوص دانش جدیدی در علوم سلامت به شدت رشد یافته و جای خود را باز نموده‌است تا بتواند پاسخگوی این گونه پرسشها باشد. این دانش مفهومی به نام مدلسازی سلامت است و باعث شده که کشورهای مختلف حتی پیشرفته دنیا که زیرساختهای کامل‌تری دارند نیز به نیاز فزاینده به این علم پی ببرند و برای توسعه آن، امکان‌سنجی نمایند. با توجه به این نیاز، در این فصل سعی می‌شود به صورت فشرده و خلاصه ابعاد و انواع مدلسازی در سلامت شرح و کاربردها و محدودیتهای آن بیان شوند.

## مفهوم مدل و مدل‌سازی

با مشاهده دقیق رخدادها، می‌توان روابط بین متغیرهای مختلف را بررسی نمود و نوع و شدت ارتباطات را تبیین نمود. اگر این مشاهدات تکرار شوند، کم‌کم امکان ارایه قالبهایی فراهم می‌شود تا اتفاقات آینده را تبیین و پیشگویی کرد. این قالبها در صورت کارایی و دقت کافی به مدلهایی تبدیل و از این ابزارها برای پاسخ به سوالات استفاده می‌شود. پس مدلها چیزی بیش از فرموله کردن روابط بین متغیرها و شرح ساده‌تر حوادث و اتفاقات نیستند. با این تعریف اگر دقیق به علوم مختلف نگاه شود، تقریباً در تمامی شاخه‌ها، قوانین و تئوریها و فرمولها، مدلهایی هستند که بشر از طبیعت الهام گرفته‌است. به عنوان مثال، نیوتون قانون جاذبه را تبیین نمود، آیا این قانون چیزی جز یک مدل ریاضی برای نشان دادن میزان نیرویی است که اجسام و اجرام بر هم وارد می‌کنند؟ و آیا توصیف اربیتهایی که الکترونها در آنها حرکت می‌کنند و شیوه شرح ترکیب اتمها و مولکولها در شیمی چیزی جز بیان مدلهای ساده برای توجیه مشاهدات بشر است؟ با این نگاه تقریباً تمام محتوای طب نوین و طبهای مکمل و سنتی بر پایه یک سری مدلها بنا شده‌اند و بر اساس مشاهدات و مداخلات انجام شده سعی کرده‌اند قالبهایی ارایه نمایند تا با بالاترین دقت ممکن فرمولهایی برای کاهش خطر ابتلا به بیماریها ارایه و موثرترین راههای درمان را پیشنهاد نمایند. پس در یک کلام، علم امروزی کاری جز مدلسازی انجام نمی‌دهد.

اما اگر نخواهیم به این گستردگی صحبت کنیم و صرفاً به معنای خاص مدلسازی بسنده کنیم، می‌توانیم دو دسته مدل در پزشکی و سلامت ارایه دهیم، مدلهای کیفی و مدلهای کّمی.

۱. مدلهای کیفی‌کاربردهای وسیعی دارند و در بعضی شاخه‌های علم پزشکی بیشتر استفاده می‌شوند. مثلاً در روانشناسی قالبهایی ارایه می‌گردد تا تاثیر برخوردها و نوع تربیت در کودکی و نوجوانی بر شخصیت افراد در بزرگسالی تبیین شود. در این تحلیل علمی، با مشاهده دقیق و متواتر تربیت کودکان و نوع شخصیت ایشان در

بزرگسالی قالبهایی استخراج و بعد از چک کردن دقت آنها، مدلها و تئوریهای تربیتی ارایه می‌شوند. در این نوع نگاه، دقت و شدت تاثیرات در قالب فرمولهای آماری و ریاضی تنظیم نمی‌شوند ولی بدون لحاظ نمودن ارتباط کّمی، کارایی آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از جمله مثالهای دیگرمدلهای کیفی، می‌توان به تحلیلهایی که در طب سنتی انجام می‌شود، اشاره نمود. در واقع مزاجهای مختلف و تبیین علایم و خصوصیات آنها و ارایه روشهای خاص برای درمان بیماریها بر پایه ایجاد تعادل در بدن بر اساس مزاجها یک نوع قالب‌سازی است که با مشاهدات متواتر حاصل شده و باز بدون محاسبات ریاضی و آماری فرمولهایی برای درمان ارایه می‌دهند. چنین نگاه و توصیه‌های بهداشتی و درمانی صرفاً محدود به طب سنتی نیست و در طب نوین نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. برخی از انواع مطالعات به خصوص مطالعات کیفی نیز انجام می‌شوند که بتوانند یا نقشه‌های ذهنی[1] را ترسیم و یا قالب از قبل طراحی شده‌ای را آزمون نمایند. به عنوان مثال اینکه نشان دهند چگونه عواملی مانند فقر، سواد کم والدین، ترک تحصیل، بیکاری و جدایی پدر و مادر و دهها فاکتور دور و نزدیک دیگر باعث گرایش یک جوان به اعتیاد می‌شود. قالب طراحی شده بر اساس مستندات علمی قابل قبول به شکل مدلی کیفی ارایه می‌شود و لذا می‌توان چنین تحقیقی را مدلسازی کیفی نامید.

۲. مدلهای کّمی اما سعی دارند تا ارتباطات بین متغیرها را با فرمولهای ریاضی و آماری شرح دهند و با کمیت بخشی به شدت و جهت ارتباطات، میزان دقت مدلها را تشریح نمایند. طبیعی است که درک مدلهای ریاضی و فهم میزان دقت آنها در اکثر موارد ساده‌تر و روان‌تر است و لذا در علوم جدید، مدلهای کّمی بیشتر کاربرد دارند و حتی در اکثر اوقات وقتی صحبت از مدلسازی می‌شود اتوماتیک اذهان به سمت مدلهای عددی می‌رود و کمتر به مدلهای کیفی توجه می‌شود اگرچه کاربردهای مدلهای کیفی غیرقابل انکار است.

مدلهای کّمی نیز انواع مختلفی دارند و از زوایای متفاوت، دسته‌بندی می‌شوند. بعضی مدلها ساده هستند و بعضی دیگر پیچیده، بعضی آماری هستند و بعضی ریاضی. البته باید تاکید شود که این دسته‌بندی‌ها نیز مطلق نیستند و به سادگی و دقیق نمی‌توان خط برشی بین مدلهای ریاضی و آماری تعیین نمود ولی برای سادگی کار در ادامه سعی خواهد شد، توضیحات بیشتری ارایه گردد تا مفهوم مدلهای کّمی بهتر درک شود.

## مدلهای کّمی

در مطالعات تحلیلی، ارتباط بین متغیرها تعیین می‌شود، و شدت اثر با استفاده از روشهای ساده آماری محاسبه می‌گردد. مثلا مشخص می‌شود که خطر سرطان معده در یک فرد مصرف کننده مواد مخدر، ۴ برابر فرد غیرمصرف کننده‌است. این ارتباط توسط مدلهای ساده آماری تعیین می‌شود و لذا اگر یک چنین مطالعه تحلیلی را مدلسازی بنمایم اشتباه نکرده‌ایم اگرچه در عمل چنین اسمی برای این مطالعه کمتر استفاده می‌شود. اما همین ارتباط‌ها، ممکن است در قالبهای پیچیده‌تر مورد ارزیابی قرار گیرند و ارتباط ساده دو متغیره به ارتباطات چند متغیره غیرخطی تبدیل شوند. به عنوان مثال ممکن است مشخص شود که سوءمصرف مواد مخدر در زنان خطر سرطان

[1] *Conceptual framework*

معده را ۵/۵ و در مردان ۳/۵ برابر می‌کند ولی در عین حال طول مدت مصرف نیز نقش کلیدی دارد و هر یک سال افزایش در مدت زمان مصرف برای افراد کمتر از ۵۰ سال، خطر را ۱/۲ و در بالای ۵۰ سال، خطر را ۱/۴ برابر می‌کند. همچنین همراهی سوءمصرف مواد مخدر با مصرف الکل یک اثر سینرژیک داشته و مصرف توامان آنها خطر را در همه گروههای سنی و جنسی ۲/۵ برابر می‌کند. ملاحظه می‌فرمایید در این نتیجه‌گیری، اثرات متقابل و غیرخطی متغیرهای متفاوتی بررسی و برای ساده‌سازی و البته کّمی نمودن ارتباطات از مدلهای آماری پیچیده استفاده‌شده‌است. چنین تحلیلی به واقع یک مدل پیچیده آماری است. در نگاهی دقیق به آمار تحلیلی، اسامی مدلهای مختلفی از جمله رگرسیون خطی، غیرخطی، لاجستیک، پواسن، کاکس و دهها مدل دیگر دیده می‌شود که هر یک کاربردهای خاص خود را دارد. اما در یک کلام تمام این مدلهای آماری سعی می‌کنند اثر متغیرهای مختلف را بر روی یک متغیر وابسته بسنجند و شیوه و نوع اثرات و ارتباطات را کّمی نمایند. لذا خروجی این مدلها صرفاً به بیان معنادار بودن آماری[1] ارتباطات محدود نمی‌شود بلکه جهت و میزان ارتباطات[2] را نیز نشان می‌دهند. در مقابل مدلهای آماری، گاه ارتباط بین متغیرها با استفاده از روشهای ریاضی تبیین می‌شوند. برای روشن‌تر شدن موضوع مثالی آورده‌می‌شود. شناسایی تعداد افراد مبتلا به HIV در جامعه و همچنین محاسبه میزان بروز این عفونت به سادگی میسر نیست. لذا برای پاسخ به این سوالات، از مدلهای ریاضی کمک گرفته‌می‌شود. به عنوان مثال با دانستن بعضی مشخصه‌ها مانند ۱) تعداد افراد جامعه که دارای رفتارهای پرخطر هستند و اینکه ۲) به طور متوسط هر فرد چه میزان رفتار پرخطر دارد و در نهایت ۳) هر رفتار پرخطر، چه میزان شانس ابتلا را بالا می‌برد، می‌توان تعداد بیماران جدید را حدس زد. برای آسان‌تر شدن فهم این موضوع تصور نمایید در جامعه‌ای ۱۰ هزار مصرف کننده تزریقی وجود داشته باشد که هر یک به طور متوسط ۲ تزریق مشترک غیر استریل در ماه داشته‌باشند، و اینکه خطر انتقال بیماری در هر تزریق حدود ۰/۵ درصد باشد. اگر ویروس در بین افراد تزریق کننده نسبتا شایع باشد، با ضرب این سه عدد در یکدیگر می‌توان تخمین زد که احتمالا در سال،۱۰۰ بیمار جدید مبتلا به HIV به دلیل این تزریقات ایجاد خواهدشد. در واقع محاسبه این عدد به روش مدلسازی ریاضی صورت گرفته است و از آنجایی که مدل فقط یک عدد را ارایه می‌دهد و عدم قطعیتها را در تک‌تک پارامترهای ورودی در نظر نمی‌گیرد و در نتیجه خروجی نیز ثابت است به چنین مدلهایی deterministic گفته می‌شود. اما گاه در مدلهای ریاضی سعی می‌شود که پارامترهای ورودی را ثابت فرض نکنند و مثلا بیان نمایند خطر سرایت ویروس در هر تزریق مشترک عددی بین ۰/۳ تا ۰/۷ درصد است و البته این عدم قطعیت در سایر پارامترها نیز کّمی می‌شود. با این پیش‌فرضها در مدلسازی ریاضی، خروجی نیز دارای دامنه‌ای از اعداد قابل دفاع بدست می‌آید و این دسته از مدلها را که عدم قطعیتها را نیز محاسبه می‌کنند مدلهای stochastic می‌نامند. البته توضیحاتی که از مدلهای ریاضی ارایه شده، تنها مثالی از یکی از انواع مدلهای ریاضی بود و انواع این مدلها بسیار وسیع بوده و در مدیریت سلامت نیز کاربردهای متنوعی دارند. در حال حاضر دانش بیوانفورماتیک و ریاضی زیستی[3] سعی می‌کنند شیوه تکثیر ژنها،

[1] *Statistical Significance*
[2] *Force of Association*
[3] *Bio-mathematics*

نحوه و زمان و شدت بازخوانی قطعات مختلف ژنوم و نحوه و روند جهشهای ژنتیکی را مدلسازی نمایند و با استفاده از فرمولهای ریاضی قوانینی را در روند تکثیر سلولی کشف نمایند. این روزها کلماتی مانند داده‌کاوی[۱] که به دنبال کشف ارتباط بین متغیرهای بسیار زیاد در بانکهای اطلاعاتی بسیار بزرگ هستند و یا مفهوم هوش مصنوعی[۲] و شبکه عصبی[۳] که به دنبال کشف روشهای ساده و دقیق برای پیشگویی اتفاقات بر اساس پارامترهای ورودی متنوع هستند به کررات شنیده‌می‌شود. این مدلها نه تنها در علوم پایه پزشکی مانند فیزیولوژی، بیوشیمی و ژنتیک کاربرد وسیع دارند بلکه حتی در تشخیص و درمان بیماریها نیز جایگاه خاص یافته‌اند. به عنوان مثال در تشخیص سلولهای پیش سرطانی در لام‌های میکروسکوپی و یا ضایعات بسیار ریز بدخیمی در عکسهای رادیوگرافی، هوش مصنوعی کاربرد بسیارگسترده‌ای یافته است. الگوریتم‌هایی که این روشهای جدید به کار می‌برند بر اساس مدل‌های ریاضی و منطق‌های خاصی طراحی می‌شوند که خود تولید دانش بسیار گسترده‌ای در این زمینه کرده است. اما درنهایت، در مدیریت سلامت و اپیدمیولوژی بیماریها نیز مدلهای ریاضی همانند مدلهای آماری بسیار کاربردی شده‌اند. طراحی سناریوهای مختلف در تعامل عوامل خطر با یکدیگر و شیوه تاثیرگذاری آنها بر بیماریها در جامعه به دانش گسترده‌ای تبدیل و نرم افزارهای متعددی در این خصوص ساخته‌شده‌اند که به مدیریت کلان سلامت کمک می‌کنند تا قبل از اعمال مداخلات، ارزیابی بهتر و دقیقتری از واکنش سیستم داشته و بهترین شیوه کنترل و ارتقا سلامت برای بیماریهای مختلف را بر اساس مدلسازی اتخاذ نمایند. با توجه به این توضیحات عملاً می‌توان باور نمود که نقش مدلسازی‌ها در سلامت و پزشکی قطعا در سالهای آینده افزونتر خواهدشد و این شاخه علمی رشد سریعی را تجربه می‌کند.

## منابع

1. Haghdoost AA, Gooya MM, Baneshi MR. Modelling of H1N1 flu in Iran. Archives of Iranian medicine 2009; 12(6): 533-4

[1] *Data mining*
[2] *Artificial intelligence*
[3] *Neural network*