

## تحلیل و نقد هوش مصنوعی در طبابت<sup>۱</sup> از منظر معرفت‌شناسی

الهه سروش\*

علیرضا منجمی\*\*

### چکیده

خطای پزشکی امری اجتناب‌ناپذیر در طبابت است که پدیده‌ای آسیب‌رسان است و در مواردی باعث مرگ بیماران می‌شود. در سالیان گذشته تلاش‌های بسیاری انجام شده تا هوش مصنوعی جایگزین پزشک شود که تا حد ممکن از خطاهای پزشکی اجتناب شود. سیستم‌های هوشمند پزشکی سیستم‌هایی تشخیصی هستند که پس از شناسایی بیماری، پیشنهاد درمان به بیمار ارائه می‌نمایند. سیستم‌های اولیه مانند MYCIN و INTERNIST-I جهت مشاوره برای پزشکان طراحی شدند. اما علی‌رغم اینکه کارایی خوبی از خود نشان دادند، ندرتاً خارج از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی به کار گرفته شدند. سیستم‌هایی که بعد از آن هم توسعه یافتند موفقیت کافی نیافتند تا جایی که علاقه‌مندی پژوهشگران در این حوزه کم‌کم رنگ باخت. عدم توجه به مسائل معرفت‌شناختی یکی از مهمترین موانع برای رسیدن به موفقیت برای این سیستم‌ها بوده است. در این مقاله به منظور جستجوی این موانع ابتدا خطاهای شناختی در پزشکی که منجر به روی آوردن به هوش مصنوعی شده است معرفی شده و سپس معرفت‌شناسی پزشکی را مرور کرده‌ایم. تعدادی از سیستم‌های هوش مصنوعی در پزشکی با تأکید بر ساختار دانش آنها را مورد بررسی قرار دادیم. نهایتاً دلایل معرفت‌شناختی عدم موفقیت سیستم‌های هوش مصنوعی در حوزه پزشکی تشریح شده‌اند که عبارت‌اند از پیش‌فرض‌های نادرست در باب ماهیت دانش، جداسازی دانش از استراتژی‌های تصمیم‌گیری، عدم توجه به معرفت‌ضمنی و جدا پنداشتن دانش از زمینه.

\* دانشجوی دکتری فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی (نویسنده مسئول)،

el\_sorush@yahoo.com

\*\* استادیار گروه فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، monajemi@ihcs.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۲۹

**کلیدواژه‌ها:** هوش مصنوعی، معرفت‌شناسی پزشکی، خطاهای پزشکی، فلسفه پزشکی، سیستم خبره.

## ۱. مقدمه

خطاهای پزشکی یکی از عوامل بسیار مهم تشخیص و تدبیرهای نادرست و در نتیجه عامل مهمی در مرگ و میر بیماران هستند. این عامل اگرچه معمولاً درسیاهه عوامل منجر به مرگ آورده نمی‌شود، ولی از نظر آماری پس از علل قلبی-عروقی و سرطانها، سومین علت مرگ و میر را تشکیل می‌دهند. در رتبه چهارم، مرگ و میر ناشی از سگته‌های مغزی قرار دارد که از نظر آماری فاصله بسیار زیادی با عامل سوم یعنی خطاهای پزشکی - که با عبارت "مرگ بخاطر خود مراقبت پزشکی" به آن اشاره می‌شود- دارد. البته خطاهای پزشکی انواع مختلفی دارند که خطاهای شناختی در تشخیص یا قضاوت و تصمیمات درمانی تنها یکی از انواع آنها است (Washington Post, 2016).

گروهی از پژوهشگران معتقدند پزشک بیماری را طی فرایندی منطقی تشخیص می‌دهد که قابل مدل‌سازی در سیستمهای خبره و هوش مصنوعی می‌باشد. آنها بر این باورند که با بهره‌گیری از هوش مصنوعی در پزشکی می‌توان خطاهای شناختی را در فرایندهای تشخیصی و درمانی در پزشکی حذف کرد. پیشرفتهای چشمگیر تکنولوژی امیدهای فراوانی را برای رسیدن به این هدف ایجاد کرده است که در حوزه های فنی و پزشکی با جدیت دنبال شدند. اما عدم توجه کافی به مسائل معرفت‌شناختی پزشکی و عدم بررسی فلسفی موانع موجود در این زمینه مانع از مشخص شدن محدودیتهای این رویکرد تازه و جهت‌دهی موثر به آن شده است به نحوی کم‌کم این ایده شکل گرفته که آنچه روزی برچسبی جالب توجه و محترم بود، درخشش خود را از دست داده و هوش مصنوعی به سبب وعده‌های بزرگی که داده و در برآوردن آنها شکست خورده است وارد دوران افول خود شده است. اما گروه دیگری معتقدند که موج جدیدی در هوش مصنوعی پزشکی آغاز شده است و این دوره افول به زودی پایان خواهد یافت (Patel, 2009). باید توجه داشت با وجود آنکه امروزه بین پزشکی و انفورماتیک و تکنولوژی پیوند غیرقابل اجتنابی برقرار شده و موفقیت‌های عمده‌ای از این همکاری حاصل شده، اما بیشتر آنها تحت عنوان "هوش مصنوعی" قرار نمی‌گیرند چرا که بیشتر ابزارهایی برای جمع‌آوری داده‌ها و توانمندتر کردن پزشکان و جراحان هستند و هوشمند محسوب نمی‌شوند.

از روزهای اولیه ظهور هوش مصنوعی در پزشکی، بزرگترین چالش، مدل کردن معرفت و تکنیک‌های استدلال برای اموری مانند تشخیص، درمان و پایش بیماران بوده و هست. در حال حاضر انفجار اطلاعات بخاطر اینترنت و اخیراً به سبب گسترش شبکه‌های اجتماعی مبتنی بر اینترنت، محاسبات مبتنی بر ابر (Cloud computing) و بسترهای داده‌های عظیم (Big data platform) و موارد دیگر باعث تغییر شدید در تمرکز محققان از برنامه‌های دانش‌محور به برنامه‌های داده‌محور و از سیستم‌هایی که توصیه می‌کنند به سیستم‌هایی که اطلاعات موردی (Ad hoc) فراهم می‌کنند، شده است (Patel, 2009). بنابراین امروزه یکی از چالش‌های اصلی بهره‌برداری هوشمندانه از داده‌های غیرهمگون و نامتجانس است. نوع این داده‌ها، منشأ آنها و ساختار چنین داده‌هایی دائماً پیچیده‌تر می‌شود. چون در حال حاضر با داده‌های جمعیت‌شناسانه (Demographic)، داده‌های ژنتیکی، داده‌های زیست‌مولکولی، داده‌های شبکه‌های اجتماعی و انواع دیگر داده سروکار داریم. در نتیجه نحوه استفاده از این دانش و تغییر آن به شیوه‌ای که یک سیستم هوش مصنوعی بتواند از آنها استفاده کند، عنصری کلیدی در هر سیستم هوش مصنوعی است که بخواهد در امر تشخیص و درمان دخالت داشته باشد. بنابراین کماکان بررسی معرفت‌شناسانه دانش پزشکی و چالش‌های پیش روی آن یکی از مهمترین قدمها به سمت یک هوش مصنوعی موفق در پزشکی است.

زیرا یکی از دلایل اصلی عدم موفقیت هوش مصنوعی در پزشکی بی‌توجهی به مسائل معرفت‌شناختی به ویژه از حیث استفاده از معرفت پزشکی در هوش مصنوعی بوده است. با وجود آنکه در حال حاضر معرفت‌شناسی پزشکی تا حدی مورد توجه قرار گرفته ولی هنوز به اندازه کافی مدون نشده و نیاز به موشکافی و تدقیق بیشتری دارد. در ادامه این مقاله ابتدا مختصراً انواع خطاهای شناختی که در پزشکی آورده شده‌اند. در بخش سوم به معرفت‌شناسی پزشکی و تفاوت‌های آن با معرفت‌شناسی کلاسیک پرداخته‌ایم. پس از آن تعدادی از پروژه‌هایی که برای پیاده‌سازی هوش مصنوعی در پزشکی انجام شده از نظر نحوه پیاده‌سازی ساختار دانش ذخیره‌شده در آنها بررسی شده است. نهایتاً در بخش پنجم به شناسایی و تحلیل دلایل عدم موفقیت سیستم‌های هوش مصنوعی پیاده‌سازی شده در حوزه پزشکی از منظر معرفت‌شناسی می‌پردازیم. مقاله با نتیجه‌گیری در بخش ۶ خاتمه می‌یابد.

## ۲. خطاهای پزشکی

تصمیم‌گیری پزشکی فرایندی است که در طی آن بیمار پس از مراجعه به پزشک، نشانه‌ها و علائم و تجربه و دریافت خود از بیماری را در قالب شرح حال در اختیار پزشک قرار می‌دهد و پزشک برای شناسایی بیماری با سؤالات هدایت شده‌ای اطلاعات تکمیلی را جمع‌آوری می‌کند و نهایتاً پس از تشخیص بیماری، توصیه‌ها و تصمیمات درمانی جهت کاهش عوارض و بهبود بیماری را عرضه می‌کند. هدف اصلی در کلیه مراحل این فرایند رسیدن به مطلوبترین و تاثیرگذارترین تصمیم برای بیمار است.

ایده اصلی رفتن به سمت سیستمهای مبتنی بر هوش مصنوعی در پزشکی، همواره امید برای کاهش خطاهای تشخیصی و درمانی بوده است. مطالعات متعدد در خطاهای پزشکی نشان داده است که اغلب این خطاها ناشی از خطاهای شناختی پزشک مسئول بوده است. هنگامی که ذهن بصورت ناخودآگاه فهم شهودی احتمالات را بافرایندهای شناختی ترکیب می‌کند میانبرهایی (Heuristics) برای حل مسئله تولید می‌کند که معمولاً با عناوین مختلفی مانند قانون سرانگشتی یا حدس براساس تجربه (Educated guess) به آنها اشاره می‌شود. میانبر به نوعی حدس زدن الگو بر اساس تجارب گذشته است که معمولاً ناخودآگاه بوده، خطاپذیر است. مطالعات نشان می‌دهد که بیشتر خطاهای پزشکی ناشی از خطاهای شناختی است تا کمبود اطلاعات یا دانش (Singh and et al, 2006).

خطاهای شناختی، زیر مجموعه‌های زیادی دارند که عمدتاً مرزهای مشخصی ندارند و دارای هم‌پوشانی هستند. تقسیم‌بندی خطاهای شناختی به دو زیرمجموعه سوگیریهای شناختی (Cognitive Biases) و تحریف‌های شناختی (Cognitive Distortions) رایج‌ترین تقسیم‌بندی می‌باشد. حتی بر سر تفکیک و تعریف این دو مفهوم نیز اختلاف نظرهایی وجود دارد اما در تمایز آنها اشاره شده که معمولاً سوگیری شناختی‌امری است که میان همه انسانها مشترک هستند و عمدتاً در هنگام ارزیابی روی می‌دهند اما تحریف‌های شناختی شخصی‌تر هستند به این معناکه شدت و ضعف آنها در افراد مختلف بسیار متفاوت است. نوع دوم خطا عمدتاً در ثبت و یادآوری رویدادها بوجود می‌آید. بعضی از انواع خطاهای شناختی از نوع سوگیری، عبارتند از اعتماد به نفس بیش از حد، خطای تأیید خود، تمرکز بر آخرین اطلاعات، خطای تمرکز بر اطلاعات در دسترس، اجتناب از ناهمگونی شناختی و نهایتاً تفکر کلیشه‌ای. بعضی از خطاهای شناختی از نوع تحریف تفکر همه یا هیچ، تعمیم دادن بیش از اندازه (Over-generalization)، برچسب‌گذاری بر روی خود و دیگران،

بزرگنمایی و کوچک‌نمایی، پریدن به نتیجه بدون طی شدن مسیر (Jumping to Conclusions)، شخصی‌کردن و به خودگرفتن (Personalization)، ذهن‌خوانی (Mindreading) می‌باشند (Croskerry, 2013).

برنامه سیستم‌های هوش مصنوعی در پزشکی بر آن بود که این نوع خطاهای پزشکی را رفع کند. اما سیستم‌های خبره و هوشمندی که تا بحال در زمینه تشخیص پزشکی طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند بجز در حوزه‌های بسیار محدود و تخصصی، ناکارآمد بوده‌اند. یک دلیل مهم این ناکارآمدی‌ها آن بود که در سالهایی که تلاش برای ایجاد هوش مصنوعی در جریان بود معرفت‌شناسی مدونی در حوزه پزشکی وجود نداشت. در حال حاضر نیز تنها صادق‌زاده، در این زمینه آثاری دارد. با این حال خود او معترف است که هنوز به معرفت‌شناسی پزشکی بصورت جامع پرداخته نشده و معرفت‌شناسی پزشکی خودش هم هنوز کامل و به اندازه کافی کارآمد نیست (Sadegh-Zade, 2015).

### ۳. معرفت‌شناسی پزشکی

معرفت‌شناسی پزشکی یکی از شاخه‌های فلسفه پزشکی است که به مباحثی همچون چیستی معرفت پزشکی، قضاوت و تصمیم‌گیری پزشکی و جنبه‌های معرفتی ارتباط پزشکی و بیمار می‌پردازد. در زمینه معرفت‌شناسی پزشکی پژوهش‌اندکی انجام شده و می‌توان گفت حوزه‌ای ناشناخته و بکر است. در نتیجه «هیچ روش‌شناسی‌ای برای هدایت محققان در بررسی دانش پزشکی [در حوزه‌های مختلف از جمله هوش مصنوعی در پزشکی] وجود ندارد.» (Sadegh-Zade, 2015:401) در این بخش به بررسی معرفت‌شناسی پزشکی موجود و تمایز آن با معرفت‌شناسی کلاسیک پرداخته‌ایم.

### ۱.۳ انواع دانش پزشکی

برای بررسی و فهم بهتر دانش پزشکی لازم است انواع مختلف آن شناسایی و دسته‌بندی شوند. البته تقسیم‌بندی ارائه شده در ادبیات معرفت‌شناسی پزشکی که در ادامه آورده شده، در یک سطح نیستند و با هم همپوشانی دارند.

### ۱.۱.۳ دانش تجربی (Experimental Knowledge)

پزشکی صرفاً علمی تجربی نیست ولی از آن جهت که دانش را از طریق آزمون و انجام مشاهده بدست می‌آورد و نظریه‌ها و دانش کسب شده را در جهان تجربی (بیماران، سلولها، میکروارگانیسم‌ها و ...) اعمال می‌کند، در زمره علوم تجربی قرار می‌گیرد. البته آزمون در پزشکی از معنای رایج آزمون در علوم طبیعی پیروی نمی‌کند. آزمونگر پزشکی (Medical Experimenter) نه تنها یک فرضیه‌ها یا نظریه‌های از پیش آماده را ارزیابی نمی‌کند، بلکه هدفش جداسازی موارد صادق و کاذب از یکدیگر همینست. بلکه به منظور کشف ارتباط علی‌ای که مداخله انسانی در تکوین آن داده‌ها در شرایط تجربه مداخله و داده‌های این تجربه را استخراج می‌کند تا با این تفصیل دانش تجربی پزشکی معرفتی عینی و صادق درباره پدیده‌ها نیست و ثانیاً در آن، پدیده‌ها بصورت طبیعی و مستقل از آزمونگر رخ نمی‌دهد و آزمونگر خود مقوم اصلی آزمون و تجربه است. این امر باعث می‌شود که پزشکی در دسته پراکسیس قرار گیرد و تحقیقات آن بعنوان مطالعه عاملیت انسانی (Human agency) بررسی شود. البته در اغلب موارد این دانش بصورت یک دانش عینی و با حذف عاملیت مداخله‌گر ارائه می‌شود.

### ۲.۱.۳ دانش نظری (Theoretical Knowledge)

در پزشکی، دانش نظری دانشی است که در آن ادعا می‌شود امری وجود دارد یا وجود داشته و یا وجود خواهد داشت و دانش عملی دانشی است که در مورد اینکه در موقعیت خاصی چگونه باید عمل کرد تا به هدف خاصی رسید صحبت می‌کند (Sadegh-Zadeh, 2015:470) به عنوان مثال دانش پزشکان درباره ماهیت و نحوه پیدایش بیماری‌ها دانش نظری است و دانش درباره نحوه تشخیص آنها، دانش عملی است.

دانش نظری دانشی توصیفی است که از گزاره‌های خبری تشکیل شده به همین سبب امکان تبیین و پیش‌بینی یعنی تشخیص و پیش‌آگهی درباره بیماری (Prognosis) فراهم می‌شود علوم زیست‌پزشکی، علم طبقه‌بندی بیماریها (Nosology) و آسیب‌شناسی (Pathology) قسمت اصلی دانش نظری در پزشکی را تشکیل می‌دهند. به عنوان مثال آناتومی، فیزیولوژی، بیوشیمی فیزیک پزشکی دانش نظری پزشکی درباره قسمت‌های مختلف بدن، کارکرد آنها است.

### ۳.۱.۳ دانش عملی (Practical Knowledge)

پزشکی بالینی عمدتاً از نوع دانش عملی است. دانش عملی در پزشکی همان است که در علوم انفورماتیک به آن دانش رویه‌ای می‌گویند. دانش عملی، رویه‌ها و تجویزهایی برای دستیابی به هدفی مشخص است. بنابراین این نوع دانش هنجاری، هدفمند یا معطوف به هدف است. پس این نوع معرفت، صادق یا کاذب نیست، بلکه پزشکان را قادر می‌سازد که دریابند چگونه پیش بروند.

معمولاً در ادبیاتی که برای دانش پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد دانش عملی بصورت غیر صریح بیان می‌شود و این امر باعث می‌شود که گاهی حتی مشخص نشود که دانش عرضه شده دانش عملی است. برای تبدیل آنها به اطلاعات ماشین در پایگاه دانش، لازم است ابتدا آنها را به دانش عملی صریح تبدیل کرد و سپس با ساختار الزامهای شرطی (Conditional obligation) به اطلاعات ماشین در پایگاه معرفت تبدیل می‌کنند.

### ۴.۱.۳ دانش بالینی (Clinical Knowledge)

دانش پزشکی را معمولاً بدون وجود مرز واضحی به دانش پزشکی بالینی و غیربالینی تقسیم می‌کنند. دانش غیربالینی شامل دانش زیست‌پزشکی یا علوم پایه‌هاست که درباره ساختار و کارکردنرمالبدن انسان می‌باشد. دانش بالینی می‌تواند نظری یا عملی باشد. دانش بالینی غیرعملی به جنبه‌های نظری بیماریها می‌پردازد یعنی آسیب‌شناسی و بیماری‌شناسی هر یک زیرشاخه‌های بسیاری دارند. اما عمده دانش بالینی، دانشی عملی است. دانش بالینی عملی بصورت قطعه‌قطعه شده و با ظاهری غیرصریح در متون درسی آورده می‌شود. معمولاً در نگاه اول مشخص نیست که این دانش تجویزی و دستوری است. دانشجویان معمولاً در فهم دانش بالینی مشکلی ندارند زیرا علاوه بر مطالعه متون درسی، اساتید و موقعیتهای عملی نیز در فرایند آموزشی وجود دارند. اما در صورتی که تنها از دانش موجود در این متون برای ایجاد پایگاه دانش و در هوش مصنوعی استفاده شود، نتیجه مطلوب به دست نمی‌آید. بنابراین شناسایی تبدیل و تکمیل این نوع دانش برای استفاده در هوش مصنوعی اهمیت بسیاری دارد.

### ۵.۱.۳ دانش علی

دانش علت‌شناسی پزشکی (Medical-etiology) درباره پیدایش بیماریها است. اما بجز آن موارد بسیار دیگری حتی عبارات ساده در فیزیولوژی و بیوشیمی درباره کارکرد ارگان‌ها، سلولها و یا مولکولها توصیف روابط علی هستند. گزاره‌های علی می‌توانند غیرمداخله‌ای یا مداخله‌ای باشند. گزاره‌های علی غیرمداخله‌ای روابط می‌دهند که مستقل از مداخله مشاهده‌گر است به سخت دیگر مشاهده‌گر فقط فرایند را مشاهده و گزارش می‌کند. مثلاً اینکه "مصرف سیگار می‌تواند سبب سرطان ریه می‌شود" اما گزاره‌های علی مداخله‌ای از پژوهش‌هایی بدست می‌آید که پژوهشگر علاقمند است بدانند یک عمل خاص وقتی در موقعیت خاص چه تاثیری خواهد داشت و چه پیامدهایی در پی دارد. مثلاً "اگر در بیماری با درد قفسه سینه حداقل تنگی در یکی از عروق قلب و عمل بای-پس عروق قلب انجام شود در این صورت درد او از بین خواهد رفت". در واقع یک گزاره علی مداخله‌ای، پیامدهای علی عمل انسانی در شرایط مشخص را گزارش می‌دهد.

### ۶.۱.۳ دانش پزشکی غیر-علی

بخش قابل توجهی از دانش پزشکی خصوصاً گزاره‌های مربوط به پیوند نشانه‌ها و علائم با بیماریها رابطه علی نیستند و صرفاً وابستگی‌های تجربی هستند. به عنوان مثال "اگر بیمار سرفه می‌کند و تب دارد، در اینصورت به برونشیت مبتلاست" در هیچ معنایی رابطه علی را نشان نمی‌دهد. با این حال برای تصمیم‌گیری پزشکی و شناسایی بیماری این نوع گزاره‌ها بسیار باارزش هستند. با وجود آنکه دانش علی در بسیاری موارد تصمیم‌های تشخیصی و درمانی موثرتری را بدست می‌دهد، ولی همیشه دانش علی در مورد وضعیت فعلی بیمار مورد نیاز نیست. دانش غیرعلی در مقابل دانش علی با اصطلاحات فناوری اطلاعات که در پزشکی هم رایج شده "دانش پزشکی کم‌عمق" (Shallow Medical knowledge) در مقابل "دانش پزشکی عمیق" (Deep Medical knowledge) نامیده می‌شود.

### ۷.۱.۳ نظریه‌ها در پزشکی

صادق‌زاده دیدگاهی ابزارانگارانه و ساختارگرایانه در باب نظریه دارد. او در هنگام بررسی دانش پزشکی اشاره می‌کند که نباید "فرضیه" را با "نظریه" خلط کرد. از نظر او فرضیه عبارت است از "گزاره‌ای با معنا در زمانی خاص، که هنوز ارزش صدق آن مشخص نیست"



این تعریف باعث می‌شود که ادعاهای بی‌معنا حذف شوند. (Sadegh-Zade, 2015:417). بنابراین می‌توان دید آنچه عموماً دانش پزشکی نامیده می‌شود، بطور اجتناب‌ناپذیری انباشته از فرضیه‌ها است. اما درباره چستی نظریه دیدگاه ساختارگرایانه پاتریک سوپس (Patrick Suppes) را می‌پذیرد. طبق دیدگاه سوپس یک نظریه چیزی در مورد جهان خارج ادعا نمی‌کند. به عبارت دیگر نظریه از گزاره‌ها ساخته نشده است بلکه یک ساختار مفهومی است که بهترین راه برای مدل کردن نظریه مجموعه‌ها است نه منطق صوری. این امر تبدیل این نوع نظریه‌ها به اطلاعات ماشین در پایگاه دانش هوش مصنوعی را بسیار ساده‌تر می‌کند. اما صادق‌زاده خود اعتراف می‌کند که در پزشکی چه در حوزه بالینی و چه در حوزه زیست-پزشکی نه تنها چستی نظریه پزشکی روشن نیست و بلکه مشخص نیست که آیا اصلاً در پزشکی نظریه‌هایی وجود دارد یا نه (Sadegh-Zade, 2015:417).

به عنوان مثال نظریه رودولف ویرشو (Rudolf Virchow) درباره پاتولوژی سلولی یا نظریه بیماریهای عفونی برای علیرغم آنکه مدت زمانی طولانی مورد بحث قرار گرفتند. هنوز مشخص نیست که این نظریه‌ها، بمانند نظریه چگونه هستند، از چه اصول، بدیهیات آگزیومها یا پیش‌فرضهایی ساخته شده‌اند و اینکه آیا عبارت خاصی متعلق به آن نظریه هست یا خیر.

### ۸.۱.۳ فرادانش پزشکی (Medical Metaknowledge)

فرادانش دانشی است درباره دانش، مثل این عبارت که "هنوز کاملاً مشخص نیست که آیا فرضیه درباره نقش علی ذات‌الریه کلامیدوفیلا (Chlamydoiphila) بر روی ایجاد عفونت قلب قابل قبول است یا خیر". این نوع دانش بصورت صریح تنها در سیستمهای پایگاه معرفت مصنوعی مثلاً در سیستم‌های خبره پزشکی وجود دارند. فرادانش پزشکی اطلاعات بسیار باارزشی درباره نحو، معنا، عملی بودن دانش و روشها در آن حوزه مثلاً درباره ساختار، کیفیت و کارآمدی آنها بدست می‌دهند و می‌توانند برای هدایت کاربردها، تحقیقات و مطالعات روش‌شناسانه مورد استفاده قرار گیرند. معرفت‌شناسی دانش پزشکی دقیقاً به دنبال همین دانش است.

## ۲.۳ تفاوت معرفت پزشکی با معرفت کلاسیک

بررسی دانش صریح و گزاره‌ای در پزشکی، صادق‌زاده را به این نتیجه رسانده که «به دلایل زیادی واژه "معرفت در معنای کلاسیک" [برای آنچه دانش گزاره‌ای پزشکی تلقی می‌شود] باید با احتیاط بکار رود» (Sadegh-Zade, 2015:416). این امر از آن جهت اهمیت دارد که تبدیل و استفاده از دانشی که در معنای کلاسیک «باور صادق موجه» (True Justified Belief) باشد برای هوش مصنوعی بهترین و کارآمدترین کاربرد را دارد. زیرا با بهره‌گیری از منطق صوری که صدها سال است شناخته و حک و اصلاح شده، ارزش صدق به سهولت طی استنتاجهای قیاسی به نتایج منتقل می‌شود و با توجه‌های منطقی شناخته شده، ماشین هوشمند به راحتی به نتایج درست دست خواهد یافت. اما همانطور که در ادامه خواهیم دید، دلایل مهمی وجود دارد که آنچه دانش پزشکی شمرده می‌شود را نمی‌توان ذیل گزاره یا باور صادق موجه دسته‌بندی کرد.

### ۱.۲.۳ زبان مبهم پزشکی

دانش پزشکی بسیار به ندرت به اندازه کافی برای ایضاح ساختار منطقی‌اش صورتبندی شده است. دلیل آن این است که زبان پزشکی که وسیله اصلی تبادل دانش پزشکی است، تقریباً گسترش یافته از زبان روزمره و مبهم است که نحو یا سینتکس و سمانتیک آن متفاوت از زبان طبیعی نیست و تنها واژگان تکنیکی به آن افزوده شده است. در نتیجه تحلیل ساختار منطقی گزاره‌های پزشکی گاهی نیازمند بازسازی وسیعی است. این نکته از آن حیث اهمیت دارد که «ابهام‌های نحوی در یک عبارت تبعات معنایی بسیار جدی دارد، زیرا نحو، اغلب معانی را تحت تاثیر قرار می‌دهد» (Sadegh-Zade, 2015:407) بنابراین زبان پزشکی تاثیر بی‌چون و چرایی روی ماهیت و قابلیت اتکا به معرفت پزشکی دارد و بنابراین تاثیر غیرقابل اجتنابی بر کیفیت تحقیقات و عمل پزشکی دارد. با باور صادق‌زاده در حوزه پزشکی اینطور اظهار نظر می‌کند «زبان پزشکی ضعفها و مشکلات بسیار جدی دارد که منجر به خطاهای پزشکی بسیاری می‌شود. به مفاهیم و واژه‌ها به حدی بی‌توجهی می‌شود که زبان پزشکی، خصوصاً زبان بالینی در وضعیت فاجعه‌باری است» (Sadegh-Zade, 2015:29) او واژه «بیماری» را مثال می‌زند. علیرغم آنکه انتظار می‌رود که این واژه‌ها و واژه‌های تکنیکی است خوش-تعریف باشند این گونه نیست. «کسی نمی‌داند که این واژه دقیقاً به چه معناست و بجز چند فیلسوف پزشکی کسی به معنای دقیق آن علاقه‌ای هم ندارد.» (Sadegh-

(Zade, 2015:32) البته نوعی ابهام در بعضی واژه‌ها در پزشکی وجود دارد که هم غیرقابل اجتناب است و هم مطلوب است. در این نوع ابهام مشخص نیست که مرز دقیقاً کجاست و اینکه مورد خاص به چه میزان مصداق مفهوم مورد نظر است ابهام دارد مثل کودک بودن، بیمار بودن، کچل بودن.

### ۲.۲.۳ ابهام در موجودیت‌های پزشکی (Medical entities)

نوع دیگری از ابهام از خود موجودیت‌های پزشکی ناشی می‌شود، موجودیت‌هایی مانند سلولها، فرایندهای متابولیسم، نتایج آزمایشگاهی، نشانه‌های بیماری و خود بیمارها. این امر باعث شده است که دانش پزشکی معمولاً با استفاده از واژه‌های مبهمی مثل محمولهای فازی، سورهای فازی و سایر مفاهیم فازی صورتبندی شوند. نمونه‌هایی از این مفاهیم فازی "تقریباً ۱۵"، "نزدیک به ۱۰۰"، "تقریباً در بازه ۱ تا ۵"، "غیرمحمول"، "بسیار محتمل" می‌باشد. اگرچه استفاده این عبارات فازی در پزشکی غیرقابل اجتناب و در عین حال بسیار ارزشمند است، اما باید توجه داشت که مشکلات معرفت‌شناختی زیادی ایجاد می‌کند. اول آنکه مفهوم آنها به اندازه‌ای مبهم است که مشخص کردن ارزش صدق یک گزاره فازی که حاوی یک واژه فازی باشد با مشکلات غیرقابل حلی روبرو است. مثلاً برای توصیف بیمارها در کتابهای درسی پزشکی عباراتی مانند "معمولاً در برونشیت، سرفه اتفاق می‌افتد" می‌آید و پزشک آنها را می‌آموزد و در تصمیم‌گیریهای بالینی و تدبیر بیمارانه کار می‌بندد. اما پرسش این است آیا اینکه "سرفه معمولاً در برونشیت رخ می‌دهد" صادق است؟ علی‌الاصول مشخص کردن ارزش صدق اینکه سرفه معمولاً در برونشیت رخ می‌دهد چگونه است؟ مرز تمایز میان معمولاً و غیرمعمولاً کجاست؟ دیگر آنکه بخاطر ابهام این عبارات فازی هر کسی آنها را به روشی متفاوت تفسیر می‌کند.

### ۳.۲.۳ ویژگی تکلیفی بودن پزشکی (Deontic Character)

سومین مسئله ویژگی تکلیفی بودن پزشکی یعنی ناظر به وظیفه بودن مثل "اجباری" (Obligatory) یا "ممنوع" یا "مجاز" است. این امر منجر به آن می‌شود پزشکی کاملاً با اخلاق در هم تنیده باشد. این سبب خواهد شد به منظور تصمیم‌گیریهای پزشکی، پایگاه دانش خاص و متمایز از پایگاه دانش‌های مرسوم با منطق خاصی که گاهی ممکن است منطق کلاسیک هم نباشد مورد نیاز است.

### ۴.۲.۳ عدم قطعیت در پزشکی

دیگر آنکه جهان پزشکی جهانی قطعی نیست که اگر قواعدی از نوع “اگر الف آنگاه ب” را داشته باشیم این تضمین را بدهد که بدانیم اگر الف رخ داده باشد بعد از آن یقیناً چه رخ خواهد داد. وقوع رخدادها تصادفی نیست، ولی می‌توان آنها را “ذاتا غیرقطعی” (Subjectively uncertain) دانست. بنابراین گزاره‌ها در پزشکی عمدتاً محتمل یا احتمالاتی هستند.

### ۳.۳ مسئله صدق در پزشکی

پزشکان معمولاً مدعی هستند که بیماری را تشخیص داده و درمان آن را می‌دانند. بیمار با اینکه ممکن است قانع نشود ولی درمان را می‌پذیرد چون نیاز به کمک دارد. پرسش آن است که آیا مدعای پزشک واقعا چنانکه می‌گوید صادق و موجه است؟

فرضیه‌ها تجربی کلی در پزشکی هیچگاه نمی‌توانند صادق باشند. البته این به معنای آن نیست که این فرضیه‌ها کاذب هستند، بلکه فقط این دلالت را دارد که صدق معیار مناسبی برای ارزیابی آنها نیست. همین امر در مورد دانش آمار و احتمالاتی پزشکی هم برقرار است. امروزه دانش پزشکی شامل فرضیه‌های آماری مبتنی بر نظریه احتمالات است که برای آنها نمی‌توان ارزش صدق در نظر گرفت چون اصولاً نظریه صدقی وجود ندارد که عبارات آماری را پوشش دهد. افزون بر این کمیت‌سنج‌های (Quantifier) فازی مانند “بسیاری از” و “اغلب” و مواردی مانند آنها باعث می‌شود که فرضیه‌های فازی مانند “بسیاری از افراد مبتلا به دیابت از بیماریهای قلبی-عروقی رنج می‌برند” هم شرایط صدق را نداشته باشند. در حال حاضر کمیت‌سنج‌های فازی هنوز نیاز به سمانتیک مناسبتری برای حل اینگونه مشکلات دارند.

نظریه‌ها به مثابه ساختار مفهومی هم، نه صادقند و نه کاذب، زیرا به عنوان یک ساختار، محتوای معرفتی ندارند. برای دانش عملی مانند دانش تشخیصی و درمانی هم نمی‌توان ارزش صدق در نظر گرفت چون حاوی الزامات شرطی و قواعد تکلیفی یعنی دستورات و الگوریتم‌های کنشی است و نه گزاره‌های اعلانی بنابراین بجای ارزش صدق، درجه تاثیر (Efficacy value) دارند.

### ۴.۳ مسئله توجیه در پزشکی

2

توجیه‌پذیری باور در دانش پزشکی نیز مسئله ظریف‌تر و پیچیده‌تری است که بسیار به ارزش صدق مرتبط است. اگر دیدگاه ساختارگرایانه درباره نظریه‌ها را بپذیریم، آنگاه نظریه‌ها حاوی هیچ اطلاعاتی نیستند و بنابراین نمی‌توانند موضوعی برای توجیه تجربی باشند. دانش عملی در پزشکی همچون دانش تشخیصی و درمانی ارزش صدق ندارند و فقط درجه تاثیر دارند بنابراین تنها می‌توانند بصورت مقایسه‌ای توجیه شوند یعنی با نشان دادن اینکه نسبت به دانش بدیل آن ترجیح داده می‌شوند چون تشخیص دقیق‌تری بدست می‌دهند یا بهبودی بیشتری را باعث می‌شوند، جانهای بیشتری را نجات می‌دهند یا اموری از این قبیل. هر چند این یک توجیه معرفت‌شناسانه نیست بلکه توجیه عملی یا اخلاقی است که بررسی آن از حوزه این مقاله خارج است.

### ۵.۳ ارزیابی گزاره‌های پزشکی

مسائل فوق ارزیابی گزاره‌های تجربی پزشکی بعنوان "معرفت" در معنای کلاسیک آن یعنی "باور صادق موجه" را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در معنای کلاسیک معرفت، تقریباً تمامی گزاره‌های پزشکی در دسته دوکسا (Doxa) یا فرضیه قرار می‌گیرند و نه معرفت! اما این نکته عموماً پذیرفته شده است که دانش پزشکی حقیقی را درباره "جهان خارج" بازنمایی می‌کند اما می‌توان نشان داد که این دانش نوعی برساخت اجتماعی است.

### ۶.۳ دانش پزشکی به مثابه برساخت اجتماعی

پوزیتیویستها تلاش کردند تا مدل‌های معرفتی قابل اتکا که شک و تردید در آن راه نداشته باشد بسازند تا به معرفتی برسند که صادق، عینی و یقینی باشد. اما متفکرانی مانند پوپر و کوهن جستجو برای چنین معرفتی را به چالش کشیدند و مدلی را مطرح کردند که در آن علم معرفتی است که مسائلی را تعریف کرده و به واسطه قراردادهایی در جامعه که معیار روایی (Validity) را مشخص می‌کنند، برای آن مسائل به دنبال راه‌حل می‌گردند. در این رویکرد علم‌باید بصورت بین‌الذهانی تایید شود تا معتبر بودن آن پذیرفته شود. بنابراین همواره یک امر اجتماعی در توسعه هر دانش علمی وجود دارد که در هنگام تحلیل معرفت‌شناسانه آن دانش نمی‌توان آن را نادیده گرفت.

پس از آن متفکرانی از جمله لانتور و ولگار در پژوهش‌هایشان درباره نحوه شکل‌گیری مفاهیم علمی، خود فرایند تحقیقات و استدلال علمی را مورد بررسی قرار دادند که آن را «مطالعات قوم‌نگاری (Ethnographic studies) از زندگی آزمایشگاهی» نامیدند (Latour and Woolgar:1986). داده‌های زیادی از علم‌ورزی در آزمایشگاه‌ها جمع‌آوری شد و مورد تحلیل قرار گرفت. این مطالعات در کنار بررسی‌های فلسفی در ارتباط میان پژوهش علمی و محیط اجتماعی آنشان داد که اولاً آنها موجودیتهای طبیعی از پیش بسته‌بندی شده در جهان نیستند. ثانیاً آنها ساخت انسان و برساخته هستند و نهایتاً آنها توسط دانشمندان منفرد ساخته نمی‌شوند بلکه محصول گروه‌ها، نهادها و اعمال اجتماعی و حاصل تعاملات و مذاکرات میان گروه‌های اجتماعی مثل تیم‌های پژوهش و جوامع علمی وسیعتر هستند. این دیدگاه درباره علم ساختارگرایی اجتماعی (Social Constructivism) یا برساختگرایی اجتماعی (Social Constructionism) نامیده شد.

در حوزه پزشکی، در مدل «معرفت معتبر»، داده‌های عینی با سایر واقعیت‌های شناختی مانند زمینه‌های اجتماعی و تاریخی‌ای که افراد خبره در آن زندگی و کار می‌کنند، تعامل دارند. این امر را لوربر و مور با عنوان تقویم اجتماعی مفهوم «ناخوشی» (Illness) توضیح داده‌اند. آنها نشان داده‌اند اموری که نرمال تلقی می‌شوند و اموری که آسیب‌شناسانه تلقی می‌شوند، بصورت اجتماعی تقویم می‌شوند. در هر لحظه تاریخی و اجتماعی انتظارات شناختی‌ای وجود دارد که مشخص می‌کند بیماری و نتایج تشخیصی و درمانی آن چگونه فهم شود (Lorber and Moore, 2002).

حتی می‌توان نشان داد دانشی مانند «هلیوباکتر باعث ایجاد زخم معده می‌شود» هم که به نظر می‌رسد به حقایقی از جهان خارج اشاره دارد نیز بصورت اجتماعی تقویم می‌شود. پال تاگارد (Paul Thagard) بر روی شکل‌گیری نظریه هلیوباکتر در زخم معده مفصل کار کرده است. (Thagard, 1999) از اوایل دهه ۱۹۸۰ باور پذیرفته شده در پزشکی بالینی آن بود که التهاب معده (Gastritis)، ملتهب شدن اثنی عشر یا دوازده (Duodenitis) و زخم معده به علل روانی-اجتماعی ایجاد می‌شوند. برساخت اجتماعی نظریه هلیوباکتر طی پژوهشی با همکاری تنگاتنگ یک شبکه بین‌المللی بزرگی از گروه‌های پژوهشی اتفاق افتاد. این شبکه با مرکزیت گروه بیمارستان سلطنتی پرت (Royal Perth Hospital) در استرالیا تشکیل شد که اعضای اصلی آن رابین وارن (Robin Warren) -آسیب‌شناس، بَری مارشال (Barry Marshall) -کارآموز برای تخصص در دستگاه گوارش و دیوید

مک جچی (McGechie) - میکروبی‌شناس و جان آرمسترانگ - متخصص میکروسکوپ الکترونیکی (Electron microscopist) بودند. مارشال و وارن در مقاله مشترکشان از ۱۱ همکار و چندین واحد برای کمکها و همکاریهایشان تشکر کردند. آزمایش شجاعانه مارشال بر روی خودش که با کمک و توصیه‌های افراد خبره بسیاری انجام شد، در جافتادن و پذیرش اعتبار نظریه بسیار موثر بود. پس از آن آزمایشات بر روی حیوانات و انسانها آغاز شد و کنفرانسهای بسیاری برپا شدند. مقالات بسیاری در مجلات داخلی و بین‌المللی منتشر شدند. تاگارد در اثر خود درباره ارتباطات شخصی و اجتماعی، کنفرانسها، مجلات، ویراستاران، داوران مقالات، آژانسهای مالی، دانشگاه‌های پزشکی، بیمارستانها، مراجع سلامت و بسیاری نهادهای دیگر و تعاملاتشان و نقش مهمی که در تکوین و توزیع گزارشات، قضاوتها، نقدها و فرضیه‌ها در مسائل مربوط به هلیوباکتر و زخم‌های دستگاه گوارش داشته‌اند بطور مفصل بحث کرده است. این تاریخچه نشان می‌دهد که چگونه نظریه هلیوباکتر در یک فرایند اجتماعی تکوین یافت.

کنفرانسی در ژانویه ۱۹۹۴ در واشنگتن برگزار شد تا بر سر پذیرش یا رد فرضیه سبب‌شناسانه با این ادعا که عامل زخم گوارشی هلیوباکتر است به اجماع برسند. گروه‌های مختلفی دعوت شدند و مواردی را له و علیه این فرضیه ارائه کردند. در نهایت، NIH<sup>۲</sup> در ۹ ژانویه ۱۹۹۴ تصمیم گرفت که این نظریه را بپذیرد (NIH, 1994). بنابراین بیماری‌شناسی زخم معده و دوازدهه، تغییر کرد و از مقوله بیماریهای روان-تنی به مقوله بیماری عفونی منتقل شد. البته علاوه بر خود دانش پزشکی، زبان پزشکی هم که وسیله بازنمایی و تعاملات پزشکی است بر ساخت اجتماعی بسیار پیچیده‌ای است که باید در مقالات دیگری به آن پرداخت. نکات فوق روشن می‌کند که درک ما از اینکه چه چیزی بیماری هست یا نیست بصورت اجتماعی تقویم می‌شود.

### ۷.۳ دانش ضمنی در پزشکی

در مباحث فلسفی در باب معرفت، نوعی از معرفت با عنوان دانش ضمنی مورد بحث قرار می‌گیرد که با آنچه در معرفت‌شناسی پزشکی دانش ضمنی نامیده می‌شود متفاوت است. معرفت ضمنی مورد بحث نزد فلاسفه عمدتاً سوپزکتیو است و معمولاً بصورت زبانی قابل توصیف و انتقال نیست بلکه فرد با تجربه و شاگردی کردن آن را می‌آموزد. اما صادق‌زاده در معرفت‌شناسی پزشکی خود معتقد است که دو چرخه سواری و مهارت در اعمال جراحی

که بعنوان نمونه‌های این دانش مثال زده می‌شوند در واقع عملکردهای حسی حرکتی و سیستمهای اعصاب ما هستند و فرایندهای بیوفیزیکی‌ای هستند که اصولاً در خارج از حوزه معرفتی قرار می‌گیرند. او به صراحت اعلام می‌کند «آنچه قابل مکالمه نباشد اصلاً معرفت نیست و بنابراین نمی‌تواند موضوعی برای مهندسی دانش باشد.» (Sadegh-Zadeh, 1989:9) از نظر او دسته‌بندی این فرایندها در مقوله «دانستن چگونگی» یک استفاده نادرست از واژه «دانستن» است. چون وقتی حتی خود فرد هم نمی‌داند چگونه مثلاً دوچرخه سواری می‌کند، این به اصطلاح «دانش»، چیزی خواهد بود که هیچکس آن را نمی‌داند بنابراین «دانشی که برای هیچ کس دانسته نیست اصلاً دانش نیست» (Sadegh-Zadeh, 1989:10)

بنابراین در معرفت‌شناسی مرسوم پزشکی جایی برای معرفت ضمنی با تعبیر فوق در نظر گرفته نشده است. در حالی که در ادامه و در نتیجه شکستهای سیستمهای «مبتنی بر دانش» که این جنبه را در نظر نگرفته بودند نشان می‌دهد که حتی اگر بر این اطلاعات ضمنی و غیرقابل تصریح نام «دانش» و «معرفت» را نگذاریم باز هم نقش بسیار حیاتی در موفقیت هوش مصنوعی بازی می‌کنند و بی‌توجهی به آن باعث شکست پروژه‌های بسیاری که با بودجه‌های کلان و وعده‌های فراوان شروع به کار کرده‌اند شده‌است.

### ۸.۳ تحلیل ابهام دانش صریح در پزشکی

معمولاً دقیق کردن و واضح کردن واژه‌ها در علوم و در سایر حوزه‌ها امری ایده‌آل به نظر می‌رسد ولی تدقیق واژه‌های مبهم در پزشکی نه تنها مفید و عملی نیست بلکه باعث تغییر زبان طبیعی پزشکی شده و از قدرت بازنمایی آنمی‌کاهد. از سوی دیگر، پزشکی با سیستمها و مسائل بسیار پیچیده‌ای مانند ارگانیزم انسانی، انسان‌های دردمند و درمان آنها سروکار دارد که در آنها افزایش دقت لزوماً باعث افزایش اطلاعات مفید نمی‌شود. لطفی‌زاده در اصل ناسازگاری (Principle of incompatibility) خود می‌گوید با افزایش پیچیدگی یک سیستم توانایی ما برای تولید گزاره‌های دقیق و هنوز بااهمیت درباره رفتار این سیستم تا رسیدن به یک آستانه کاهش می‌یابد. از آن آستانه به بعد «دو ویژگی «دقت» و «اهمیت» تبدیل به ویژگیهای دودو ناسازگار می‌شوند.» (Zadeh, 1973:28)

البته حتی دانش پزشکی مبهم را می‌توان بصورت دقیق جهت تشخیص بکار برد و از طرف دیگر با استفاده از منطق فازی روابط فازی که توسط لطفی‌زاده بنیان گذاشته شده می‌توان با این ابهام روبرو شده و حتی از آن بهره برد. مفاهیم منطق و مجموعه‌های فازی به



همراهی نظریه‌های احتمالات و شبکه‌های بیزین امروزه در سیستم‌های کامپیوتری مختلف توسعه یافته است و کارایی خود را برای این مقوله و خصوصاً در حوزه سیستم‌های پشتیبان تصمیم (Decision Support Systems) صنعتی که بصورت گسترده استفاده می‌شود، نشان داده‌اند. بنابراین علی‌الاصول ابهاماتی که ذاتی علم پزشکی است، محدودیتی برای استفاده از این دانش برای هوش مصنوعی ایجاد نمی‌کند.

#### ۴. مدل‌های پیاده‌سازی شده معرفت پزشکی در هوش مصنوعی

از سال ۱۹۷۰ تا به امروز دانشمندان و پزشکان بسیاری تلاش کرده‌اند تا از پیشرفتهای علوم کامپیوتر برای ایجاد سیستم‌های خبره و هوش مصنوعی در امر تشخیص بیماری و تصمیم‌گیری پزشکی بهره ببرند. سیستم‌های خبره (Expert System) برنامه‌هایی کامپیوتری هستند که قضاوت و رفتار یک متخصص را شبیه‌سازی می‌نمایند. جهت‌گیری تلاشها برای توسعه هوش مصنوعی و سیستم خبره در حوزه پزشکی به این سمت و سو بوده که تلاش شود دانش و تجربیات بالینی پزشکان خبره را به نحوی در سیستم خبره یکپارچه کرد که فرد غیر متخصص و در بعضی موارد خود بیمار بتواند با آن تعامل کند و سیستم خبره با استفاده از دانشی که به آن دسترسی دارد، بیماری را تشخیص داده و توصیه‌هایی را ارائه نماید.

داده‌ها در پایگاه دانش یک سیستم خبره و هوشمند از حوزه تخصصی مرتبط می‌آید. مهمترین مسئله در یک پایگاه دانش، نحوه بازنمایی معرفت و حفظ سازگاری منطقی آنها در پایگاه دانش است. به این منظور نیاز مبرم به دانش کافی در منطق، زبانشناسی و معرفت‌شناسی وجود دارد. داده‌ها برای ورود به پایگاه دانش باید ابتدا مهندسی شوند و با زبانی خاص منظوره (Special-purpose) که قابلیت اعمال اعمال منطقی و ریاضی بر روی آنها وجود دارد بازنمایی شود. حفظ سازگاری معرفت پایگاه دانش یک سیستم خبره پزشکی از چالشهای مهم می‌باشد، چون معرفت از منابع مختلف و از تجربیات متخصصان متفاوت که معمولاً دیدگاه‌های مختلفی دارند بدست می‌آیند.

قسمت مهم دیگر برای یک سیستم خبره، واحد (ماژول) کسب دانش است که انتقال و تبدیل خبرگی حل مسئله را از منابع دانش به برنامه کامپیوتری انجام می‌دهد که لاجرم فرایندی مداوم است. هسته اصلی این بخش مهندسی معرفت است که از یک طرف نیازمند روان‌شناسی، مهارت‌های زبانی و مصاحبه و از سوی دیگر نیازمند ریاضیات، منطق و

معرفت‌شناسی است. یکی از مهمترین مسائل این حوزه، تدبیر مناسب عدم قطعیت (Uncertainty) در معرفت پزشکی است. این عدم قطعیت از اساس با عدم قطعیت فلسفی متفاوت است. در طبابت و درمانگری، پزشک نتایج معرفت علمی پایه و مطالعات بالینی را به بیمارانی که دارای فردیتی با وراثت، محیط و تاریخی متفاوت هستند، اعمال می‌کند. پزشکان مختلف شواهد یکسان را بصورت متفاوتی تفسیر می‌کنند و در مورد اعتبار نتایج بررسیهای پزشکی برای یک بیمار بین متخصصان مختلف عدم توافق و عدم قطعیت وجود دارد. با این حال هر متخصصی با استفاده از برداشتها و دیدگاه‌های خود نتایج درخشانی کسب می‌کنند، برداشتها و دیدگاه‌هایی که می‌توانند با هم متناقض باشند.

اولین سیستم خبره پزشکی با عنوان MYCIN در دهه ۷۰ و در دانشگاه استنفورد کالیفرنیا و طی پروژه برنامه‌نویسی ابتکاری استنفورد یا  $HHP^3$  شکل گرفت و پس از آن سیستمهای مختلف دیگری مطرح و پیاده‌سازی شدند. MYCIN و نمونه‌های دیگری که در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرند از نوع برنامه‌های کامپیوتری دانش-محور (knowledge-based) یا مبتنی بر ذخیره دانش هستند.

#### ۱.۴ MYCIN

MYCIN اولین سیستم خبره پزشکی در حوزه هوش مصنوعی پزشکی است که در ۱۹۷۶ منتشر شد. این سیستم نام خود را از پسوند اغلب آنتی‌بیوتیک‌ها مثل اریترومايسين يا آزیترومایسین گرفته است و جهت تجویز آنتی‌بیوتیک برای بیماران مبتلا به عفونت خونی و مننژیت است. این برنامه از یک پایگاه معرفت که در آن دانش بصورت قواعد اگر-آنگاه بازنمایی شده استفاده می‌کند. توصیه‌های درمانی و تشخیصی MYCIN با قدرت شواهد ارزیابی می‌شود که "عامل قطعیت" (Certainty Factor) نامیده می‌شود و برای مدیریت عدم قطعیت استفاده می‌شود.

در MYCIN تقریباً ۴۵۰ قاعده وجود دارد و در آن زمان ادعا شد که می‌تواند بهتر از پزشکان کم‌تجربه طبابت کند. این برنامه موتور استنتاج ساده‌ای دارد به این ترتیب که برنامه از پزشک مجموعه‌ای از سوالات متنی و بله/خیر می‌پرسد و در نهایت بر اساس درخت جستجویی که با استفاده از قواعد اگر/آنگاه تشکیل می‌دهد سیاهه‌ای از باکتری‌هایی که ممکن است عامل بیماری باشند را که طبق احتمال تشخیص آنها به صورت نزولی مرتب شده‌اند مشخص کرده، نهایتاً لیستی از آنتی‌بیوتیک‌ها را پیشنهاد می‌کند.

بزرگترین چالش برای این برنامه که مورد نقدها و تحلیل‌های بسیاری هم قرار گرفت، که نقطه کانونی آنها عدم قطعیت یا همان "فاکتور قطعیت" بود. کسانی که بعداً این سیستم را تحلیل کردند از جمله محققانی از دانشگاه استنفورد نشان دادند که کارایی MYCIN آنقدر که به نحوه بازنمایی دانش و مدل استنتاجی وابسته بود به جزئیات مدل کردن ابهام و عدم قطعیت این دانش نپرداخته است، چون در برنامه MYCIN متخصصان برای هر قاعده بصورت مجزا فاکتور قطعیت را تخمین زده و به آن اختصاص داده بودند. این امر به جهت کوچک بودن پایگاه دانش MYCIN امکان‌پذیر شده بود. (Heckerman and Shortliffe, 1992) این محققان معتقد بودند استفاده از احتمالات کلاسیک بیز قطعاً نتیجه بهتری بدست داده، ابزار بهتری برای مدل کردن عدم قطعیت و احتمالاتی بودن دانش و تشخیص در پزشکی است.

نکته بسیار مهم دیگری که در این پروژه آشکار شد در زمان بررسی موفقیت یا عدم موفقیت این سیستم روی داد. دانشکده پزشکی استنفورد نهایتاً اعلام کرد در آزمون این سیستم، درمان پیشنهادی برای ۶۹٪ موارد قابل قبول بوده است که بهتر از کارایی متخصصان بیماریهای عفونی است که موارد مشابه جهت تشخیص به آنها ارائه شده بود. این مورد معمولاً بعنوان عدم توافق بالقوه میان متخصصان و افراد خبره درباره تصمیمات درمانی وقتی که هیچ "استاندارد طلایی" برای درمان صحیح وجود ندارد، مورد ارجاع قرار می‌گیرد. (Yu and et al, 1979)

البته این سیستم هیچگاه به واقع مورد استفاده قرار نگرفت و البته بیشتر مسائل اخلاقی و قانونی استفاده از سیستم خبره در پزشکی در آن زمان مانع اصلی بود. مثلاً اینکه اگر سیستم خبره اشتباه تشخیص بدهد یا درمان نادرستی را توصیه کند چه کسی قرار است مسئولیت آن را به عهده بگیرد. از طرف دیگر کاربر لازم بود با حوصله بسیار داده‌های فراوانی را در اختیار برنامه قرار دهد و اطلاعات لازم آنقدر تخصصی بود که تنها پزشک قادر به تعامل با برنامه بود.

## ۲.۴ CASNET<sup>۴</sup>

یک سیستم خبره جهت مشاوره در امور چشم‌پزشکی و تشخیص آب سیاه است که پایگاه داده و موتور استنتاج آن با استفاده از مدل علت و معلولی طراحی و پیاده‌سازی شده است. بازنمایی دانش در آن بصورت شبکه‌ای علی میان حالات پاتوفیزیولوژیکال مثل بالا رفتن

فشار چشم و بیماری‌ای مانند آب سیاه از یکطرف و داده‌های بیمار مانند علائم و نشانه‌ها و شکایات و ... به مثابه معلول این علل از طرف دیگر می‌باشد. بنابراین CASNET به عنوان مدلی علی برای تشخیص و درمان پزشکی دیده شده است.

در این برنامه از سه سطح دانش استفاده شد: مشاهدات بیمار، وضعیت‌های پاتولوژیکی و بیماری‌ها. در این برنامه نیز برای نشان دادن ابهام و عدم قطعیت تصمیمات، از متغیری به نام «میزان اعتماد» (Confidence value) استفاده می‌شد که مقداری بین ۱- و ۱ داشت. در اینجا نیز این متغیر ابتدا توسط متخصصان حوزه مشخص شده و سپس با فرمولهای احتمالاتی بسته به میزان قدرت نشانه‌ها و شواهد برای هر تشخیص محاسبه می‌شد و از مجموعه معیارهای میان‌بر برای مشخص کردن عدم قطعیت‌هایی که متخصصان در یافتن ارتباطات و فرضیه‌ها استفاده می‌کنند در محاسبه مقدار اعتماد استفاده شده است (Weiss and et all, 1978).

در تحلیل منتقدان مشکل عمده این سیستم خبره آن بود که در طراحی فرض شده بود که همیشه شواهد کافی برای مشخص کردن وضعیت پارامترها و علت و معلولهای قابل محاسبه وجود دارد تا بتوان ارزش صدق تصمیمات را بلافاصله یا پس از درخواست نتایج آزمایشات دیگر مشخص کرد. «اما آنچه معمولاً رخ می‌دهد آن است که پارامترهایی وجود دارند که احتمالهای آنها وضعیت صادق یا کاذب بودن آنها را دقیقاً مشخص نمی‌کند و هر تصمیم درباره وضعیت یک پارامتر، احتمال منسوب به سایر پارامترها چنان تغییر می‌دهد که عواقب ناشی از این تغییرات بسیار دور از انتظار خواهند بود.» (Long, 1989:5).

#### ۳.۴ INTERNIST

برنامه INTERNIST-I در راهیابی به حوزه عمومی موفق‌تر از سایر سیستمهای هوشمند بود که در حوزه پزشکی داخلی عمومی پیاده‌سازی شد. این برنامه نیز شرح‌حالی را که بیمار ارائه می‌داد، نتایج معاینات پزشکی و یافته‌های آزمایشگاهی را دریافت می‌کرد و سعی می‌کرد با کمک پزشک به تشخیص‌های افتراقی برسد. دلیل موفقیت نسبی آن هم پایگاه داده وسیع و هم الگوریتم تشخیصی آن برای رسیدن به تشخیص‌های افتراقی و نهایتاً رسیدن به تشخیص نهایی بود. تلاش شده بود تا حد امکان فرایند تفکر و حل مسئله انسان مدل شود و یکی از نمونه‌های استدلال مبتنی بر نمادها و سمبل‌ها محسوب می‌شود.

(Miller and et al, 1982)

پایگاه معرفت در INTERNIST-I حاوی پروفایل اغلب بیماریها بصورت منفرد است که در آن یافته‌هایی که می‌تواند در بیمار با هر بیماری اتفاق بیفتد فهرست شده است. با برعکس کردن پروفایل بیماری با استفاده از برنامه کامپیوتری تشخیص‌های جامع افتراقی برای هر یافته بدست می‌آید. این ظهورات مبتنی بر لیست‌های تشخیص افتراقی، به عنوان قسمتی از پایگاه معرفت نگهداری می‌شوند و برنامه برای موارد بالینی از این لیستها استفاده می‌کند. بیماریهای منفرد در پایگاه معرفت INTERNIST-I قسمتی از سلسله مراتبی است که از بیماریهای کلی به بیماریهای خاص سازماندهی شده است. ارتباط میان تظاهرات بالینی به بیماری از ۰ تا ۵، بسته به میزان ارتباطشان با عنوان شاخص فراخوانی (Evoking Strength)، و ارتباط بیماری به تظاهرات از ۰ تا ۵، با عنوان شدت ظهور (Manifestation Strength)، وزن دهی شده است.

در ابتدا تصور می‌شد که INTERNIST-I بنخاطر دسترسی به این سلسله مراتب بیماریها امکان خواهد داشت که تشخیص‌های افتراقی مناسبی بر اساس سطوح بالاتر داشته باشد. اما مشخص شد که دسته‌بندی سلسله‌مراتبی سفت و سخت مناسب نیست. چون یک بیماری، در عمل بطور همزمان باید در قسمتهای مختلف سلسله مراتب و تحت بیش از یک سرفصل قرار گیرد. اما دسته‌بندی سلسله‌مراتبی نمی‌تواند این بیماری را در دو شاخه قرار دهد. علاوه بر آن یک بیماری در بیماران مختلف بصورت متفاوت ظهور می‌کند که مشکلات مضاعفی را برای سیستم تشخیص INTERNIST-I ایجاد میکرد (Miller and et al, 1982).

#### CADIAG ۴.۴

این برنامه برای تشخیص‌های درمانی در پزشکی داخلی بود که در دانشگاه وین طراحی و پیاده‌سازی شد و نمونه‌ای از سیستم خبره فازی است. پایگاه معرفت آن شامل قواعد به شکل "اگر-آنگاه" می‌باشد. این سیستم خبره از مقادیر بین ۰ تا ۱ برای ارزیابی ویژگیها استفاده می‌کند. مثلا به نشانه (Symptoms) یک بیمارینه تنها مقادیر صفر برای عدم ظهور (کذب) و ۱ برای ظهور (صدق) نسبت داده می‌شود، بلکه می‌توان با نسبت دادن مقدار ۰/۲ نشان داد که این نشانه بصورت ضعیف ظاهر شده است و یا با نسبت دادن مقدار ۰/۹ به وضعیت بیمار نشان داد که بیمار به مقدار قابل توجهی بهبود یافته هرچند هنوز به وضعیت کامل بهبودی نرسیده است. CADIAG-2 ارزشهای صدق را در سه زمینه استفاده می‌کند:

برای علایم بیماری، برای تشخیصها جهت نشان دادن درجه یقین و نهایتاً برای پیامدها برای مشخص کردن روابط علی غیر دقیق. برای مدیریت عدم قطعیت از متغیری بنام «درجه تایید» (Degree of Confirmation) استفاده می‌کند که میزانی که مقدم تالی را تایید می‌کند می‌باشد. یکی از مهمترین انتقاداتی به این سیستم که پایگاه دانش بسیار بزرگی داشت آن بود که این پایگاه دانش حاوی قواعدی است که با نهایتاً با هم در تعارض هستند و بنابراین دانش در دسترس این هوش مصنوعی سازگار نیست. (Klinove and et al, 2010).

#### ۵.۴ IBM WATSON

واتسون «یک سیستم هوش مصنوعی شناختی کامپیوتری برای پردازش حجم زیادی از داده‌های بدون ساختار و پاسخگویی به پرسشهای مطرح شده در زبان طبیعی است.» (IBM, 2017) در زمان طراحی آن از تکنیک‌های پیشرفته پردازش زبان طبیعی، بازیابی اطلاعات، بازنمایی دانش، استدلال اتوماتیک و یادگیری ماشین استفاده شده است. واتسون در واقع با ایده پیروز شدن در مسابقه پرسش و پاسخ! Jeopardy در آمریکا شروع شد و توسعه پیدا کرد و نهایتاً در سال ۲۰۱۱ پس از رفع مشکلاتی که مکرراً در طی این مسابقه مشخص می‌شد، موفق شد در این مسابقه پیروز شود.

IBM گفته است بیش از صد تکنیک متفاوت برای تحلیل زبان طبیعی، شناسایی منابع، یافتن و تولید فرضیه، یافتن و امتیازدهی به شواهد، ترکیب و رتبه‌بندی فرضیه‌ها استفاده کرده است. واتسون بر روی سخت‌افزار بسیار بزرگ با قدرت پردازش بسیار بالا پیاده‌سازی شده است. طبق اعلام IBM، واتسون می‌تواند ۵۰۰ گیگابایت که معادل یک میلیون کتاب است را در ثانیه پردازش کند. (IBM, 2017)

بعد از آن تصمیم گرفته شد که واتسون در امور تحقیقاتی در حوزه‌های دیگری، مانند حوزه پزشکی به کار گرفته شود. در بخش سلامت تلاش شده از قابلیت‌های تحلیل زبان طبیعی، تولید فرضیه و یادگیری بر اساس شواهد استفاده شود تا متخصصان بالینی بتوانند از آن بعنوان سیستم پشتیبان تصمیم بالینی استفاده کنند. برای کمک به پزشکان برای درمان بیمارانشان ابتدا پزشک درخواستی برای سیستم ارسال می‌کند که نشانه‌ها و عوامل خطر مرتبط را توصیف می‌کند. واتسون ابتدا ورودی را تجزیه می‌کند تا مهمترین اجزاء آن را مشخص کند. سپس داده‌های مربوط به بیمار برای یافتن اطلاعات مربوط به تاریخچه پزشکی و خانوادگی بررسی می‌شود. سپس منابع داده در دسترس برای ساختن و تست فرضیه‌ها را

بررسی می‌کند و نهایتاً فهرستی از توصیه‌های منفرد و امتیاز داده شده بر اساس میزان اطمینان به آن توصیه‌ها تهیه می‌شود. منابع داده‌ای که واتسون برای تحلیل استفاده می‌کند شامل راهنماهای درمان، داده‌های پزشکی الکترونیک ثبت شده، یادداشتهای پزشکان و پرستاران، اطلاعات پژوهشی، مطالعات بالینی، مقالات ژورنال‌ها و اطلاعات بیمار می‌باشد. واتسون از مکانیزمهای پیشرفته ذخیره و بازیابی اطلاعات و یادگیری ماشین برای کسب دانش و توسعه پایگاه داده خود استفاده می‌کند. برای استفاده از واتسون در حوزه پزشکی دانشگاه‌های کلمبیا و مرلندو وسترن رزرو با IBM همکاری کردند تا خبرگیا آن را در حوزه سلامت افزایش دهند. مدیر اطلاعات در کلینیک کلیولند (Cleveland) در آن زمان گفت که این همکاری با IBM به ما امکان داد تا «واتسون را آموزش دهیم تا به شیوه‌هایی فکر کند که قابلیت تبدیل شدن به ابزاری قدرتمند در پزشکی را به او بدهد.» (Freedman, 2017) بین سالهای ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶، IBM بیمارستانها و مراکز مختلفی نصب و راه‌اندازی کرد.

اما در سال ۲۰۱۷ بسیاری به این نتیجه رسیدند که بیشتر هیاهوی رسانه‌ها واتسون را بزرگ وانمود کرده و لیدر واقعیت واتسون بسیار ضعیفتر از آنچه تبلیغ شد، عمل کرده است. اخبار STAT در سپتامبر ۲۰۱۷ گزارش داد که واتسون در سازگار شدن با محیط بیمارستانی ناکام بوده و مشخص شده که در تشخیص انواع سرطانها ناکارآمد است (STAT, 2017).

مرکز سرطان اندرسون در اوائل سال ۲۰۱۷ تصمیم گرفت استفاده از واتسونرا کنار بگذارد و اعلام کرد هم IBM و هم این مرکز که همکاری خود را در ۲۰۱۲ شروع کردند انتظارات خود را از این تکنولوژی و محصول بسیار دست بالا گرفته بودند که تا کنون به آن دست نیافتند.

به باور IBM مهمترین مسئله‌ای را که برای عدم موفقیت فعلی معرفی کرده نبود داده مناسب برای آموزش واتسون بوده است چون برای اینکه واتسون بتواند رابطه یکپارچه پزشکی با یک بیماری را تشخیص دهد باید هزاران مورد را که جواب صحیح آنها وجود دارد را دریافت کند یعنی متخصصان باید از قبل بصورت دستی پاسخها را برای هزاران مورد ارتباط ترتیب کروموزومی یا ساختار ژنتیکی در بیماران با بیماریهای مختلف را در فرمت قابل استفاده برای واتسون فراهم کنند و چنین داده‌هایی وجود ندارد.

## ۵. تحلیل و بررسی دلایل عدم موفقیت سیستم‌های فوق از منظر معرفت‌شناسی

انواع مختلفی از سیستم‌های هوش مصنوعی که در آنها پایگاه داده به صورت‌های مختلف و با مبانی مختلف پیاده‌سازی شده‌اند وجود دارند که به تعدادی از آنها در بخش قبل اشاره شد. این سیستم‌ها عمدتاً در حوزه‌های بسیار خاص و با پایگاه معرفت بسیار محدود پیاده‌سازی شدند. اما هیچکدام مقبولیت عمومی نیافتند و بطور کامل مورد استفاده قرار نگرفتند. با اینکه پس از هر بار استفاده از این سیستم‌ها متخصصان کامپیوتر و پزشکان بسیاری آنها را مورد بررسی قرار می‌دادند و مواردی که به نظر آنها علت مشکل بود در سیستم‌های بعدی تصحیح می‌شد یا بهبود یافت، ولی عدم موفقیت‌های متوالی و عدم دستیابی به وعده‌هایی که هر یک از این پروژه‌ها در ابتدا با اطمینان مطرح می‌کردند باعث شد که نهایتاً انگیزه‌ها برای دستیابی به هوش مصنوعی با کمک سیستم‌های دانش‌محور در پزشکی کمرنگ‌تر شود. در این حوزه فیلسوفانی متذکر شدند که این عدم موفقیت تنها مرتبط با مسائل مهندسی، حجم داده یا نحوه بازنمایی دانش نمی‌باشد بلکه مسائل فلسفی عمیقتری در پیش‌فرض‌های این نوع نگرش به هوش مصنوعی وجود دارد که باعث ناکامی‌های مکرر آن شده است.

در ابتدا فیلسوفان بسیاری از جمله پاتنم و دنت تحت تأثیر پیشرفت سریع هوش مصنوعی در پیش‌بینی موفقیت‌های هوش مصنوعی با مهندسان و متخصصان هوش مصنوعی همسو بوده و در جهت موفقیت‌های آنها استدلال‌های فراوانی را اقامه کردند. اما این رویکرد منتقدانی هم داشت که بعضی فیلسوفان بعداً با آنها همداستان شدند. از اصلی‌ترین آنها می‌توان از هربرت درایفوس<sup>۵</sup> (Hubert Dreyfus) و جان سرل (John Searle) نام برد که از سال‌های میانی دهه ۷۰ تا به امروز نوشته‌های تأثیرگذاری را در این رابطه منتشر کرده‌اند. اما تفاوت عمده سرل با درایفوس آن است که سرل آنچه را “هوش مصنوعی قوی” (Strong AI) می‌نامد، رد می‌کند که در واقع طرفداران فراوانی هم ندارد. مدعای هوش مصنوعی قوی آن است که اگر ما بخواهیم یک موجود هوشیار ایجاد کنیم ناچاریم تمام فرایندهای فیزیکی را که مغز انجام می‌دهد را بازسازی کنیم (Searle, 1980). اماند درایفوس از هوش مصنوعی بر اساس بررسی و مخالفت با چهار فرض اصلی تحقیقات هوش مصنوعی است. (Dreyfus, 1972) او دو فرض اول را فرض‌های بیولوژیکی و روانشناختی می‌نامد.

بطور خلاصه:



۱. فرض بیولوژیکی آن است که مغز مشابه سخت‌افزار کامپیوتر است و ذهن مانند نرم‌افزار عمل می‌کند. یعنی در سطح نرونی اطلاعات در بصورت گسسته و با معادلهای بیولوژیکی صفر و یک پردازش می‌شوند.

۲. فرض روانشناختی آن است که ذهن با انجام محاسبات مجزا در شکل قواعد صوری و الگوریتمی بر روی بازنمایی‌ها یا سمبل‌ها کار می‌کند.

درایفوس مدعی است که آنچه باعث شکل‌گیری و مقبولیت فرض روانشناسی شده است دو فرض دیگر است که فرض معرفت‌شناختی و فرض وجودشناختی هستند.

۳. فرض معرفت‌شناختی آن است که هر چه را می‌توان دانست می‌تواند صوری‌سازی شود یعنی به‌وسیله روابط منطقی بیان شود.

۴. فرض وجودشناختی آن است که واقعیت، شامل مجموعه‌ای از حقایق اتمیک غیرقابل تقسیم (indivisible atomic facts) است که منطقیاً مستقل از یکدیگر هستند.

درایفوس می‌گوید ایده‌ای که بر اساس این فرض‌های چهارگانه در حوزه هوش مصنوعی شکل گرفته آن است که هوش امری مشابه دنبال کردن قواعد است و اینکه دانش بشری تماماً شامل بازنمایی‌های داخلی (Internal Representations) از واقعیت است. بر اساس این فرضیات، کسانی که در حوزه AI کار می‌کنند مدعی هستند که شناخت (Cognition) در واقع دستکاری سمبلهای داخلی با قواعد داخلی است و بنابراین رفتار انسان با حد بسیار زیادی مستقل از زمینه است. به همان صورتی که قوانین فیزیک، قوانین “خارجی” (External laws) جهان فیزیکی را شرح می‌دهند ما می‌توانیم رفتارهای هوشمند انسان را شرح دهیم. این همان فرض کلیدی است که درایفوس با آن مخالفت می‌کند. او استدلال می‌کند ما نمی‌توانیم و نخواهیم توانست رفتارهای خودمان را به همان شیوه‌ای که اشیاء را در مثلاً فیزیک یا شیمی درک می‌کنیم، بفهمیم. یعنی نمی‌توانیم خودمان را به عنوان اشیاء و چیزهایی که رفتارشان را می‌توان از طریق قوانین علمی عینی و مستقل از زمینه ادراک کنیم. (Dreyfus, 1972)

از نظر درایفوس سیستمهایی که سعی می‌کنند با استفاده از بازنمایی معرفت در کامپیوتر بازنمودی از جهان برای کامپیوتر ایجاد کنند و با روش دنبال کردن قواعد و استفاده از سمبلها رفتارهای هوشمند را بازسازی کنند مستقل از اینکه چه تکنولوژی و شیوه‌ای را در پیش بگیرند، قطعاً در این امر موفق نخواهند بود. استدلالهای درایفوس در مقابل این موضع از پدیدارشناسی و هرمنوتیک، خصوصاً آثار هایدگر و مرلوپونتی تأثیر پذیرفته است.

بنابراین همانطور که درایفوس نشان می‌دهد، یکی از علل عدم موفقیت سامانه‌های هوشمند در حوزه پزشکی پیش‌فرض‌های نادرست درباره ماهیت دانش در این حوزه است. حتی خود دانشمندان علوم اعصاب نیز در حال حاضر به نوعی، پیش‌فرض بیولوژیکی‌ای که مورد نقد و مخالفت درایفوس بود را مبنای پژوهش‌های خود قرار داده‌اند و بنابراین در حوزه پزشکی تصور می‌شود با استخراج آنچه که یک فرد خبره در پزشکی می‌داند و تبدیل آن به برنامه کامپیوتری می‌توان آنچه را که او در حوزه پزشکی انجام می‌دهد را شبیه‌سازی کرد. بنابراین همین رویکرد که در تمامی سیستم‌های خبره و هوشمند پزشکی دنبال شده است منجر به عدم موفقیت آنها شده است.

علاوه بر آن جداسازی داده‌ها از استراتژی تصمیم‌گیری در تشخیص‌های پزشکی در هنگام طراحی این سامانه‌های هوشمند دلیل دیگری برای عدم موفقیت این سیستم‌های هوشمند است. همواره فرض شده است که پزشکان داده‌ها و اطلاعات پزشکی خود را در ذهن و حافظه خود نگهداری می‌کنند و در زمان لازم برای انجام الگوریتم تشخیص بیماری آنها را بازیابی کرده و در فرایند استدلال خود که منجر به تشخیص بیماری می‌شود بکار می‌برند. مهندسان و پزشکان با همکاری هم، همین تقسیم میان داده و الگوریتم تصمیم‌گیری را در سیستم‌های فوق پیاده‌سازی کرده‌اند. در بسیاری از سیستم‌های هوشمند صنعتی به راحتی داده قابل جداسازی از فرایند تصمیم‌گیری است. بنابراین در محیط‌های صنعتی که رویارویی‌های انسانی و تأثیر عوامل انسانی در آن کمتر است این نوع پیاده‌سازیها برای هوش مصنوعی بسیار موفق ظاهر شده است. اما اصولاً در موقعیتهای پزشکی و در فرایند تصمیم‌گیری که در رویارویی بیمار و پزشک و شرح حال گرفتن و معاینه بیمار توسط پزشک روی می‌دهد، نحوه بکاربردن دانش و استراتژی تصمیم کاملاً منحصر به فرد بوده و در هم تنیده هستند. هر بار فرایند تصمیم‌گیری برای هر بیمار یکتا است و جنبه‌هایی دارد که قابل مقایسه با دیگری نیست. بنابراین این نحو جداسازی داده‌های حاصل از تجارب گذشته و فرایند و استراتژی تصمیم‌گیری امر مهم دیگری است که در هوش مصنوعی پیاده‌سازی شده در پزشکی انجام شده و به نظر می‌رسد عامل مهمی برای عدم توفیق آنها بوده است. بنابراین در پیاده‌سازی یک هوش مصنوعی باید توجه داشت که دانش مستقل از زمینه و مستقل از استراتژی تصمیم‌گیری کارایی لازم برای تشخیص پزشکی را ندارد و به همین دلیل است که با اندکی افزایش حوزه تخصصی سامانه‌های تخصصی هوش مصنوعی، آنها عملکرد ضعیفی از خود نشان می‌دهند.

نکته مهمی که از این بحث حاصل می‌شود آن است که دانش ضمنی به مفهوم فلسفی آن یعنی به معنای دانشی پیشاگزاره‌ای و بدنمند نقش مهمی در تشخیص پزشکان ایفا می‌کند. این نوع دانش در معرفت‌شناسی پزشکی مورد غفلت قرار گرفته است و بنابراین در پیاده‌سازی‌های هوش مصنوعی در پزشکی نیز به آن‌عنایتینشده است. شایان ذکر است که در سیستم‌های دانش محور هنوز راهی برای بازنمایی این نوع دانش پیشنهاد نشده است چون سامانه‌های دانش محور باید به نحوی دانش را در پایگاه‌های دانش خود ذخیره نمایند و چون دانش ضمنی قابل تصریح توسط عبارات منطقی و روابط نیست قابل ذخیره‌سازی در پایگاه‌های دانش مرسوم نیست.

علاوه بر موارد فوق، یک سامانه هوشمند در پزشکی باید تا حدی مجهز به شعور عمومی و دانش عمومی باشد. برخلاف پزشکان، سیستم‌های هوش مصنوعی در پزشکی نمی‌توانند از شهود عرفی (Common sense) در تصمیم‌گیری‌هایشان استفاده کنند و همچنین فاقد خلاقیتی هستند که پزشکان و انسانها گاهی در تصمیم‌گیری‌هایشان بکار می‌برند. آنها قادر به شناسایی محدوده‌ها و محدودیت‌های خود نیست. هوش مصنوعی بدون شعور عمومی نمی‌داند در کجا باید متوقف شود. چه چیزهایی را بپذیرد و داده‌های خود را در موارد خاص چگونه تفسیر کند. پیاده‌سازی شعور و دانش عمومی یکی از اولین اهداف هوش مصنوعی از ابتدای ظهور آن بوده است که به علت مشکلات عملی بسیار به تعویق افتاد و تا حل نشدن مسائل فلسفی مربوط به آن، که مهمترین آنها «مسئله چهارچوب»<sup>۷</sup> (Framework Problem) نامیده شده، پیاده‌سازی هوش مصنوعی دارای شعور عمومی، دور از ذهن به نظر می‌رسد.

پاتنم معتقد است هوش، درگیر با دانش و فعالیت‌هایی است که با دانش پس‌زمینه‌ای آمیخته است، و این دانشی است که امکان شبیه‌سازی آن در حال حاضر وجود ندارد و تنها می‌توان به توصیف آن بسنده کرد. از نظر او هوش مصنوعی می‌تواند در رویارویی با دانش زمینه‌ای تنها دو استراتژی را در پیشبگیرد. (Putnam, 1988:277-278)

۱. می‌تواند تلاش کند تا همه دانشی را که انسان بالغ دارد در ماشین برنامه‌ریزی کنند. ولی پاتنم معتقد است که چنین هوشمندی‌ای به طور کلی غیرقابل تصور و غیرقابل تحقق است.

۲. راه دوم این است که وسیله‌ای ساخته شود که با مشارکت در دنیای انسانها دانش زمینه‌ای را یاد بگیرد. این پروژه دوم آن چیزی است که از نظر پاتنم به واقع شایسته نام هوش مصنوعی است.

علاوه بر مدل مبتنی بر دانش در حوزه گسترده‌تر هوش مصنوعی مدل دیگری توسعه یافت که در آنها تلاش شد آموزه‌های فوق تا حدی پیاده‌سازی شود. این مدل بخاطر شباهت با سیستم عصبی انسان شبکه عصبی مصنوعی نام گرفت که در آن جایگزینی برای بازنمایی و پردازش سمبلیک در نظر گرفته شد. در شبکه‌های عصبی مصنوعی عناصری به نام نرونها با شبکه‌ای به هم متصل هستند که هر اتصال دارای وزنی است. این وزنها به وسیله آموزش، تعیین و تنظیم می‌شود. یعنی توسط یک الگوریتم یادگیری تربیت ( Training Algorithm) با ورودیها و نتایج معلوم، آن قدر تنظیم و بهینه می‌شود، که بتواند رفتار مناسبی را از خود نشان دهد. پس از آموزش کافی این شبکه می‌تواند برای داده‌هایی از همان نوع خروجی مناسب تولید کند. این نوع جدید از هوش مصنوعی بخاطر پیاده‌سازی آموزش مهارت در عمل مهم هستند. فیلسوفان مختلفی از جمله درایفوس این نوع جدید از هوش مصنوعی را نیز مورد نقد و بررسی قرار دادند. اما بخاطر آنکه این نوع هوش مصنوعی جهت اتخاذ تصمیمات تشخیصی در پزشکی مورد اقبال قرار نگرفتند به آنها نمی‌پردازیم. مهمترین مشکلی که باعث عدم استفاده از این نوع هوش مصنوعی در تصمیم‌گیریهای پزشکی شد، آن بود که در شبکه عصبی مصنوعی امکان تبیین و توضیح چرایی تصمیم و مشخص کردن مسیر رسیدن به تشخیص وجود ندارد. در حال حاضر شبکه‌های عصبی مصنوعی در پزشکی در بخش پردازش سیگنال و تصویر و همچنین برای شناسایی الگوهای پیچیده در بیوانفورماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مهمترین چالش بعدی در سیستمهای خبره و هوش مصنوعی که برای حل آن تلاش‌هایی شد، کسب دانش بصورت پویا است که در شاخه یادگیری ماشین دنبال شد. این شاخه از در علوم کامپیوتر و در حوزه‌های بسیاری تکامل یافته و پیشرفت چشمگیری داشته است و به مفاهیم جدیدی مانند "کشف معرفت از پایگاه داده ( Knowledge Discovery from Databases)"<sup>۱</sup>، "داده‌کاوی"<sup>۲</sup> (Data mining)، و یادگیری از "داده‌های عظیم"<sup>۱</sup> (Big Data) برای استخراج داده از منابع مختلف دانش متون استاندارد کتب درسی، مقالات و حتی صفحات وب رسیده است. اما پیش فرض تمامی این روشهای یادگیری ماشین همان فرضهای معرفت‌شناسانه و وجودشناسانه‌ای است که درایفوس مطرح کرده

است. این امر باعث شده که بکارگیری آنها در سیستمی مانند «واتسون» باز هم با توفیق در حوزه پزشکی همراه نباشد. نیاز به پژوهشها و تحقیقات بسیار گسترده برای فهم نحوه کسب دانش در انسانها و یافتن روش مناسب برای بکارگیری آن در فرایند کسب دانش در هوش مصنوعی وجود دارد.

متخصصان هوش مصنوعی پس از شکستهای متوالی کم‌کم به اهمیت بحثهای فلسفی در پیش‌برد پروژه‌هایشان واقف شدند. از سال ۱۹۸۶ در کلاسهای درایفوس در MIT که فلسفه هایدگر تدریس می‌کرد شرکت کردند و پس از آن در سالهای اخیر نسل جدیدی از هوش مصنوعی که خود پژوهشگران در حوزه هوش مصنوعی آن را «هوش مصنوعی هایدگری» نامیدند متولد شد که در آن تلاش شده بدنمندی و موقعیت‌مندی ادراک و کسب تجربه پیاده‌سازی شود. درایفوس تنها یکی از این مدلها - الگوی نور و دینامیکی فریمن - را قابل تأمل می‌داند. (Dreyfus, 2007) اما این نوع هوش مصنوعی بسیار نوپا است و هنوز در حوزه معرفت‌شناسی و پزشکی وارد نشده است.

به باور صادق‌زاده در صورت ایجاد یک معرفت‌شناسی بدون برای پزشکی، کاملاً امکان تبدیل دانش طبیب به دانش ماشین وجود دارد و تنها لازمه دیگر ماشین برای دستیابی به هوشمندی (از نظر معرفت‌شناسی<sup>(۱)</sup>) فراهم کردن قابلیت یادگیری فعال است. به این معنا که بتواند از طریق تجربه کردن در پایگاه دانش خود تغییر ایجاد کند. صادق‌زاده از مخالفان جدی درایفوس و سرل هست. او بدون آنکه آراء این منتقدان هوش مصنوعی را یک‌به‌یک نقد کند اعلام می‌کند «این تردیدها درباره امکان هوش مصنوعی در علوم انسانی‌ای رشد کرده است که در آن انسان‌محوری (anthropocentrism) غلبه دارد و انسان هنوز رأس خلقت است» (Sadegh-Zade, 2015:742). از نظر او هیچ لزومی ندارد که هوش ماشین نسخه المثنی هوش انسانی باشد یا شباهتی به آن داشته باشد و معتقد است حداکثر تا آخر این قرن، هوش مصنوعی به اندازه‌ای پیشرفت خواهد کرد که هوش مصنوعی «به مثابه سیستم‌های کنترل فرایند بالینی تمامی تصمیمات تشخیصی و درمانی را به صورت خودکار اتخاذ خواهند کرد و از کارکنان سلامت به عنوان عضوی محیطی متحرک (mobile peripherals) خود استفاده می‌کند» (Sadegh-Zade, 2015:743). اما به نظر می‌رسد همین شرط یادگیری فعال که صادق‌زاده ذکر کرده است بدون توجه به زمینه و داشتن دانش ضمنی قابل حصول نباشد و تقریباً تمامی موانع معرفت‌شناختی که در اینجا مورد بحث قرار گرفت را پیش روی محققان هوش مصنوعی قرار خواهد داد.

## ۶. نتیجه‌گیری

در ابتدای ظهور هوش مصنوعی، پزشکی یکی از اولین حوزه‌هایی بود که استفاده از سیستم‌های هوشمند در آن مطرح شد. خطاهای شناختی با آنکه در همه رشته‌ها و حرفه‌ها وجود دارد، در حوزه پزشکی امری خطیر است چرا که منجر به آسیب رساندن به بیماران و گاهی مرگ و میر می‌شود. امید می‌رفت تا سیستم‌های خبره و هوشمند بتوانند با جایگزینی پزشکان این خطاها را کاهش داده و کیفیت تصمیمات تشخیصی و درمانی را بالاتر ببرند. اما این سیستم‌ها به دلایل مختلفی از جمله بی‌توجهی به مسائل معرفت‌شناختی و فقدان معرفت‌شناسی مدون در حوزه پزشکی، به جایگاه مورد انتظار دست نیافتند و در عمل کارایی قابل قبولی نداشتند. در ابتدا گمان می‌شد با پیشرفت تکنولوژی و افزایش ظرفیتهای پایگاه‌های داده، پایگاه‌های دانش و همچنین توسعه روشهای جدید ذخیره و بازیابی اطلاعات، گذر از موانع ممکن شود، اما تجربیاتی مانند عدم موفقیت سیستم هوشمند واتسون در حوزه پزشکی نشان داد که اینطور نبوده است. به نظر می‌رسد جستجو برای راهکارهای تکنیکی و تکنولوژیکی برای مسائل موجود و چشم‌به‌راه تکنولوژیهای جدید مانند برای رسیدن به هدف فوق کافی نیست و لازم است تا مبادله اطلاعات میان رشته‌هایی مانند فلسفه، علوم کامپیوتر، پزشکی، معرفت‌شناسی، علوم شناختی و بسیاری رشته‌های دیگر انجام شود تا بتوان با ایجاد یک راهکار یکپارچه که از نتایج تحقیقات در تمام این رشته‌ها استفاده کند به سیستم هوشمند موفق در حوزه پزشکی دست یافت.

در این مقاله دیدیم که علی‌الاصول ابهاماتی که ذاتی علم پزشکی است، به خاطر پیشرفتهای چشمگیری مانند توسعه منطق فازی و شبکه‌های بیزی، محدودیتی برای استفاده از این دانش در هوش مصنوعی ایجاد نمی‌کند. اما عدم موفقیت کاربرد هوش مصنوعی در پزشکی محور در پزشکی نشان می‌دهد که تنها اتکا به دانش صریح در پزشکی برای توسعه سیستم‌های خبره و هوش مصنوعی کافی نیست و باعث کارآمدی این سیستم‌ها در عمل نمی‌شود و لازم است دانش غیرگزاره‌ای را که موقعیت‌مند و بدنمند است، مورد توجه قرار داده و به دنبال راه‌هایی برای کسب دانش ضمنی توسط هوش مصنوعی باشیم. از آنجا که پزشکی عمدتاً پراکتیس است، در حال حاضر قسمت عمده‌ای از آنچه در پزشکی برای تشخیص بیماریها بکار می‌رود، قابل دیجیتال‌سازی و ذخیره‌سازی در پایگاه‌های دانش نمی‌باشد و اگر امکان کسب آن از روشهای دیگر نباشد هوش مصنوعی قطعاً شکست خواهد خورد. علاوه بر آن باید پیش‌فرض‌های نادرست در باب ماهیت

دانش مورد بررسی و تصحیح قرار گرفته و به این امر توجه شود که در فرایند تصمیم‌گیری پزشکی، دانش را نمی‌توان استراتژیهای تصمیم‌گیری جدا در نظر گرفت.

البته مسائل و موانع معرفت‌شناختی تنها عامل عدم موفقیت کاربرد سیستمهای هوشمند در پزشکی نبوده و نیستند. علاوه بر آن لازم است نحوه استدلال پزشک در رسیدن به تشخیص، مورد توجه و موشکافی قرار گرفته و ضعفها و بدفهمی‌هایی که در شبیه‌سازی آن در سیستمهای هوش مصنوعی در گذشته و حال وجود دارد مورد تدقیق قرار گیرند. همچنین تعامل زبانی و رودررو با بیمار و فهم وضعیت فعلی و موقعیت بیمار که برای پزشک امری عادی است از چالشهای اصلی پیش روی سیستم هوشمند پزشکی خواهد بود که لازم است مورد بررسی همه جانبه قرار گیرد.

در مجموع به نظر می‌رسد هوش مصنوعی همانطور که در بسیاری از حوزه‌ها موفق عمل کرده است، در امر طبابت نیز کارا و قابل استفاده خواهد بود. اما عدم شناخت کافی از پزشکی و عدم توجه به مسائل فلسفی مرتبط با این حوزه مانع اصلی موفقیت هوش مصنوعی در پزشکی است.

## پی‌نوشت‌ها

۱. منظور همان Clinical Practice است.
۲. National Institutes of Health در ایالات متحده مرجعیتی است که در دپارتمان سلامت و خدمات انسانی قرار دارد و "NIH Consensus Development Program" را با شعار "Turning Discovery into Health" از سال ۱۹۷۷ راه‌اندازی کرده که تا بحال بیش از ۱۲۰ بیانیه اجماع را درباره بیماریهای مختلف تولید کرده است.
۳. Heuristic Programming Project (HPP) توسط Edward A. Feigenbaum که متخصص علوم کامپیوتر و Joshua Lederberg متخصص زیست‌شناسی مولکولی آغاز شد. پروژه آنها DENDRAL که از عبارت 'DENDRitic ALgorithm' گرفته شده بود نامیده شد. این نام یک سیستم مشاوره مبتنی بر کامپیوتر بود که اولین سیستم خبره در تاریخ هوش مصنوعی به شمار می‌رود. در این پروژه بر اساس دانش افراد خبره در شیمی ارگانیک تلاش می‌شود تا اجزاء ناشناخته در یک طیف ماده شناسایی شود. MYCIN هم که اولین سیستم خبره پزشکی است از پروژه HPP حاصل شد.
۴. این سیستم نام خود (CASNET) را هم از این نوع پیاده‌سازی یعنی از عبارت Causal Associational NETWORKS گرفته است.

۵. Hubert Lederer Dreyfus (۱۹۲۹-۲۰۱۷) پروفیسور فلسفه در دانشگاه برکلی، که تعلق فکری او پدیدارشناسی و آگزیستانسیالیسم و فلسفه روانشناسی و ادبیات و از محورهای اصلی کاری او بررسی دلالت‌های فلسفی هوش مصنوعی بود.
۶. John Searle متولد ۱۹۳۲ پروفیسور و فیلسوف آمریکایی که حوزه کاری او فلسفه ذهن و زبان و فلسفه اجتماع است.
۷. مسئله چهارچوب که مشکل یافتن امر مربوط از امر نامربوط هم نامیده می‌شود، اشاره به این نکته دارد که حتی اگر بتوان کل دانش انسانی را برای بدست آوردن دانش عمومی در اختیار یک برنامه هوش مصنوعی گذاشت، چگونه می‌تواند در یک موقعیت خاص واقعیت‌های مرتبط را از واقعیت‌های نامربوط در زمانی معقول جدا کند. در انسانها انتظارات و علائق ما به مثابه افقی درونی امکان فهم ارتباط هر ابژه با ما و دیگر چیزها را فراهم می‌کند. ادراک و فهم ما همواره در ادامه انتظاراتی است که از گذشته بی‌واسطه با خود همراه داریم.
۸. داده، بدون هیچ هدف تحلیلی خاصی و به عنوان منبعی برای تولید فرضیه و کشف معرفت جدید بکار می‌رود.
۹. استخراج الگوها و اطلاعات از داده‌های موجود و تبدیل آن به ساختار قابل فهم برای استفاده‌های بعدی
۱۰. مجموعه داده‌هایی که آنقدر بزرگ و پیچیده هستند که روشهای سنتی پردازش اطلاعات جوابگوی تحلیل آنها نیست. مثلا داده‌هایی که همه روزه در کلینیک‌ها و بیمارستانها در سیستم خدمات ملی سلامت یا NHS در بریتانیا درباره بیماران و پرونده‌های پزشکی جمع‌آوری و ذخیره شده و می‌شود، جزء داده‌های عظیم است.
۱۱. صادق زاده بجز شروط داشتن دانش کافی و یادگیری فعال و غیر فعال شروط دیگری را هم برای تحقق هوش مصنوعی ذکر می‌کند از جمله قابلیت‌های استدلالی، بینایی و فهم زبان طبیعی.

## کتاب‌نامه

- Buchanan B, and Shortliffe EH (eds.), (1985) Rule-Based Expert Systems. The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. Addison-Wesley.
- Croskerry. Pat, (2013) "50 Cognitive and Affective Biases in Medicine", Critical Thinking Program, Dalhousie University
- Dreyfus HL. (1972) What Computers Can't Do: A Critique of Artificial Reason. New York: Harper & Row.
- Dreyfus HL (2007), "Why Heideggerian AI failed and how fixing it would require making it more Heideggerian", Artificial Intelligence Volume 171, Issue 18, December 2007, Pages 1137-1160



- Freedman, D. (2017), "A Reality Check for IBM's AI Ambitions", MIT Technology Review
- Heckerman, D. Shortliffe, E. (1992), "From certainty factors to belief networks", *Artificial Intelligence in Medicine* Volume 4, Issue 1, Pp. 35-52
- IBM, (2017), "Empowering Heroes, Transforming Health", <https://www.ibm.com/watson/health/>
- Klinov.P, Parsia.B and Picado-Muiño. D, (2010), "The Consistency of the CADIAG-2 Knowledge Base: A Probabilistic Approach". *International Conference on Logic for Programming Artificial Intelligence and Reasoning*, pp 432-446
- Latour B, and Woolgar S. (1986), *Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Long. W. (1989), "Medical Diagnosis Using a Probabilistic Causal Network" *Applied Artificial Intelligence*, spring 1989.
- Lorber, J and Moore, L.J (2002), *Gender and the Social Construction of Illness*, Rowman Altamira, Mordad 29, 1381 AP - Health & Fitness
- Miller RA, Pople HE Jr., and Myers JD. (1982) "INTERNIST-1: An experimental computer-based diagnostic consultant for general internal medicine". *N Engl J Med* 1982; 307:529-537.
- NIH 1994. *Helicobacter pylori* in peptic ulcer disease. NIH Consensus Statement 1994 Jan 7-9; 12(1):1-23.
- Patel V.L., Shortliffe E.H., Stefanelli M., et al. (2009) The coming of age of artificial intelligence in medicine, *Artificial Intelligence in Medicine*, Volume 46, pp. 5-17
- Putnam, H. (1988), "Much Ado about Not very Much, Daedalus", *Artificial Intelligence* Volume 117, No 1: pp. 269-281
- Sadegh-Zadeh, K. (1989) "Machine over mind", *Artificial Intelligence in Medicine* 1: pp. 3-10
- Sadegh-Zadeh, K. (2015) *Handbook of Analytic Philosophy of Medicine*, 2nd edition. Dordrecht / Holland: Springer, (1st ed., 2012.)
- Searle, J.R. (1980), "Mind, Brain and Program." *Behavioral and Brain Scientist*, Volume 3 (Issue3):pp. 417-424
- Singh. H, Petersen. L A, and Thomas. E J, (2006) "Understanding diagnostic errors in medicine: a lesson from aviation", *Qual Saf Health Care*. Jun; 15(3): 159-164.
- STAT News, "IBM pitched its Watson supercomputer as a revolution in cancer care. It's nowhere close", <https://www.statnews.com/2017/09/05/watson-ibm-cancer/>
- Thagard P. (1999) *How Scientists Explain Disease*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Washington Post, (2016), <https://www.washingtonpost.com/news/to-your-health/wp/2016/05/03/researchers-medical-errors-now-third-leading-cause-of-death-in-united-states/>
- Weiss SM, Kulikowski CA, Amarel S, and Safir A. (1978), "A model based method for computer-aided medical decision making." *Artificial Intelligence* 1978; 11:145-172.
- Yu, V L. Fagan L M. Wraith; et al. (1979). "Antimicrobial Selection by a Computer: A Blinded Evaluation by Infectious Diseases Experts ". *JAMA*. 242 (12):1279-1282.

Zadeh LA. (1965a), "Fuzzy sets. Information and Control" 1965; 8:338–353.

Zadeh LA. (1965b), "Fuzzy sets and systems". In Fox J (ed.), System Theory, pp. 29–39. Brooklyn, NY: Polytechnic Press, 1965.

Zadeh LA. (1973) Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics; 3:28–44.