

به نام دوست

# منطق فازی چیست؟

1388

افسانه اکبری

**NREC.IR**

مفاهیم نادقیق بسیاری در پیرامون ما وجود دارند که آنها را به صورت روزمره در قالب عبارتهای مختلف بیان می‌کنیم. به این جمله دقت کنید: " هوا خوب است." هیچ کمی برای خوب بودن هوا مطرح نیست تا آن را اندازه بگیریم بلکه این یک حس کیفی است. در واقع مغز انسان با در نظر گرفتن عوامل گوناگون و بر پایه تفکر استنتاجی جملات را تعریف و ارزش گذاری می‌نماید که الگوبندی آنها به زبان و فرمولهای ریاضی اگر غیر ممکن نباشد کاری بسیار پیچیده خواهد بود. منطق فازی فناوری جدیدی است که شیوه‌هایی را که برای طراحی و مدل سازی یک سیستم نیازمند ریاضیات پیچیده و پیشرفته است، با استفاده از مقادیر زبانی و دانش فرد خبره جایگزین می‌سازد.

## منطق فازی:

اگر از ما پرسیده شود منطق فازی چیست شاید ساده‌ترین پاسخ بر اساس شنیده‌ها این باشد که Fuzzy Logic یا Fuzzy Theory یک نوع منطق است که روش‌های نتیجه گیری در مغز بشر را جایگزین می‌کند. مفهوم منطق فازی توسط دکتر لطفی زاده، استاد دانشگاه کالیفورنیا در برکلی، ارائه گردید و نه تنها به عنوان روش‌شناسی کنترل ارائه شد بلکه راهی برای پردازش داده‌ها، بر مبنای مجاز کردن عضویت گروهی کوچک به جای عضویت گروهی دسته‌ای ارائه کرد. به جهت نارسا و ناپسندیده بودن قابلیت رایانه‌های ابتدایی تا دهه 70 این فرضیه در سیستم‌های کنترلی به کار برده نشد.

پروفسور لطفی زاده اینطور استدلال کرد که بشر به ورودیهای اطلاعاتی دقیق نیازی ندارد بلکه قادر است تا کنترل تطبیقی را به صورت بالایی انجام دهد. پس اگر ما کنترل کننده‌های بازخورد را در سیستم‌ها طوری طراحی کنیم که بتواند داده‌های مبهم را دریافت کند، این داده‌ها می‌توانند به طور ساده تر و موثرتری در اجرا به کار برده شوند.

انگیزه و اهداف برای مقابله مؤثر با پیچیدگی روزافزون در بررسی، مطالعه، مدل سازی، و حل مسائل جدید در فیزیک، مهندسی، پزشکی، زیست شناسی، و بسیاری از امور گوناگون دیگر مجبور به ایجاد و ابداع روشهای محاسباتی جدیدی هستیم که بیشتر از پیش به شیوه‌های تفکر خود انسان نزدیک باشد. هدف اصلی آنست که مسائل و مشکلات بسیار پیچیده علمی را رایانه‌ها بتوانند با همان سهولت و شیوایی بررسی و حل و فصل کنند که ذهن انسان قادر به ادراک و اخذ تصمیمات سریع و مناسب است.

در جهان واقعیات، بسیاری از مفاهیم را آدمی به صورت فازی (fuzzy به معنای غیر دقیق، ناواضح، و مبهم) درک می‌کند و به کار می‌بندد. هر چند کلمات و مفاهیمی همچون گرم، سرد، بلند، کوتاه، پیر، جوان، و نظائر اینها به عدد خاص و دقیقی اشاره ندارند، ذهن انسان با سرعت و با انعطاف پذیری شگفت آوری همه را می‌فهمد و در تصمیمات و نتیجه گیریهای خود به حساب می‌گیرد. این، در حالیست که ماشین فقط اعداد را می‌فهمد و اهل دقت است. اهداف شیوه‌های نو در علوم کامپیوتر آنست که اولاً رمز و راز اینگونه تواناییها را از انسان بیاموزد و سپس آنها را تا حد امکان به ماشین یاد بدهد.

جهت شروع، باید به ایجاد و ابداع منطقی تازه و نو دست بزنیم که آن همانا منطق فازی (Fuzzy logic) است. در منطق قدیم فقط دو حالت داریم: سفید و سیاه، آری و خیر، روشن و تاریک، یک و صفر، و درست و غلط. قوانین علمی گذشته، مثل ریاضیات، فیزیک و مکانیک نیوتونی، همه بر

اساس اینگونه منطق استوار گردیده اند. پر واضح است که ذهن ما با منطقی دیگر کارهایش را انجام می‌دهد و تصمیماتش را اتخاذ می‌کند.

## دنیای فازی

می‌پرسم “هوا ابری است یا آفتابی؟” پاسخ می‌دهی: نیمه‌ابری. می‌پرسم “آیا همه آنچه که دیروز به من گفتی، راست بود؟” پاسخ می‌دهی: بیشتر آن حقیقت داشت. ما در زندگی روزمره بارها از منطق فازی استفاده می‌کنیم. واقعیت این است که دنیای صفر و یک، دنیایی انتزاعی و خیالی است. به ندرت پیش می‌آید موضوعی صددرصد درست یا صددرصد نادرست باشد؛ زیرا در دنیای واقعی در بسیاری از مواقع، همه چیز منظم و مرتب سر جایش نیست.

از نخستین روز تولد اندیشه فازی، بیش از چهل سال می‌گذرد. در این مدت نظریه فازی، چارچوب فکری و علمی جدیدی را در محافل آکادمیک و مهندسی معرفی نموده و دیدگاه دانشمندان را نسبت به کم و کیف دنیای اطراف ما تغییر داده است. منطق فازی جهان‌بینی بدیع و واقع‌گرایانه‌ای است که به اصلاح شالوده منطق علمی و ذهنی بشر کمک شایانی کرده است.

## پیشینه منطق فازی

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اولین بار پرفسور لطفی‌زاده در رساله‌ای به نام “مجموعه‌های فازی - اطلاعات و کنترل” در سال 1965 معرفی نمود. هدف اولیه او در آن زمان، توسعه مدلی کارآمدتر برای توصیف فرآیند پردازش زبان‌های طبیعی بود. او مفاهیم و اصلاحاتی همچون مجموعه‌های فازی، رویدادهای فازی، اعداد فازی و فازی‌سازی را وارد علوم ریاضیات و مهندسی نمود. از آن زمان تاکنون، پرفسور لطفی‌زاده به دلیل معرفی نظریه بدیع و سودمند منطق فازی و تلاش‌هایش در این زمینه، موفق به کسب جوایز بین‌المللی متعددی شده است. پس از معرفی منطق فازی به دنیای علم، در ابتدا مقاومت‌های بسیاری در برابر پذیرش این نظریه صورت گرفت.

بخشی از این مقاومت‌ها، چنان که ذکر شد، ناشی از برداشت‌های نادرست از منطق فازی و کارایی آن بود. جالب این‌که، منطق فازی در سال‌های نخست تولدش بیشتر در دنیای مشرق زمین، به‌ویژه کشور ژاپن با استقبال روبه‌رو شد، اما استیلای اندیشه کلاسیک صفر و یک در کشورهای مغرب زمین، اجازه رشد اندکی به این نظریه داد. با این حال به تدریج که این علم کاربردهایی پیدا کرد و وسایل الکترونیکی و دیجیتالی جدیدی وارد بازار شدند که بر اساس منطق فازی کار می‌کردند، مخالفت‌ها نیز اندک‌اندک کاهش یافتند.

در ژاپن استقبال از منطق فازی، عمدتاً به کاربرد آن در رباتیک و هوش مصنوعی مربوط می‌شود. موضوعی که یکی از نیروهای اصلی پیش‌برنده این علم طی چهل سال گذشته بوده است. در حقیقت می‌توان گفت بخش بزرگی از تاریخچه دانش هوش مصنوعی، با تاریخچه منطق فازی همراه و هم‌داستان است.

## مجموعه‌های فازی

بنیاد منطق فازی بر شالوده نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریه تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه است یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک و باینری تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی - و نه کاملاً - عضو یک مجموعه باشد. مثلاً این جمله که "آقای الف به اندازه هفتاد درصد عضو جامعه بزرگسالان است" از دید تئوری مجموعه‌های فازی صحیح است. در این تئوری، عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع  $u(x)$  مشخص می‌شود که  $x$  نمایانگر یک عضو مشخص و  $u$  تابعی فازی است که درجه عضویت  $x$  در مجموعه مربوطه را تعیین می‌کند و مقدار آن بین صفر و یک است (فرمول 1).

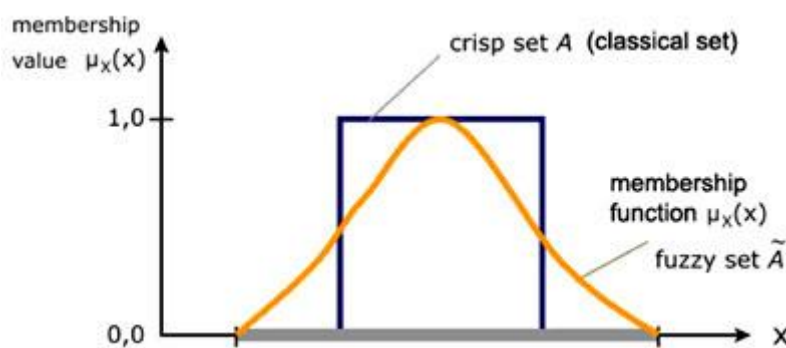
فرمول 1

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}$$

به بیان دیگر،  $u(x)$  نگاشتی از مقادیر  $x$  به مقادیر عددی ممکن بین صفر و یک را می‌سازد. تابع  $u(x)$  ممکن است مجموعه‌ای از مقادیر گسسته (discrete) یا پیوسته باشد. وقتی که  $u$  فقط تعدادی از مقادیر گسسته بین صفر و یک را تشکیل می‌دهد، مثلاً ممکن است شامل اعداد  $0/3$  و  $0/5$  و  $0/7$  و  $0/9$  و صفر و یک باشد. اما وقتی مجموعه مقادیر  $u$  پیوسته باشند، یک منحنی پیوسته از اعداد اعشاری بین صفر و یک تشکیل می‌شود.

شکل 1 نموداری از نگاشت پیوسته مقادیر  $x$  به مقادیر  $u(x)$  را نشان می‌دهد. تابع  $u(x)$  در این نمودار می‌تواند قانون عضویت در یک مجموعه فازی فرضی را تعریف کند.

شکل 1



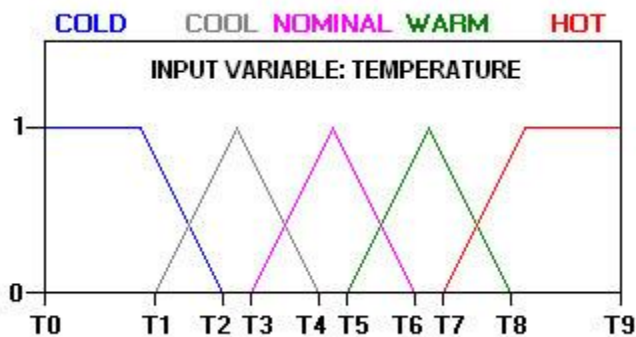
منطق فازی چگونه به‌کار گرفته می‌شود؟

منطق فازی را از طریق قوانینی که "عملگرهای فازی" نامیده می‌شوند، می‌توان به‌کار گرفت. این قوانین معمولاً بر اساس مدل زیر تعریف می‌شوند:

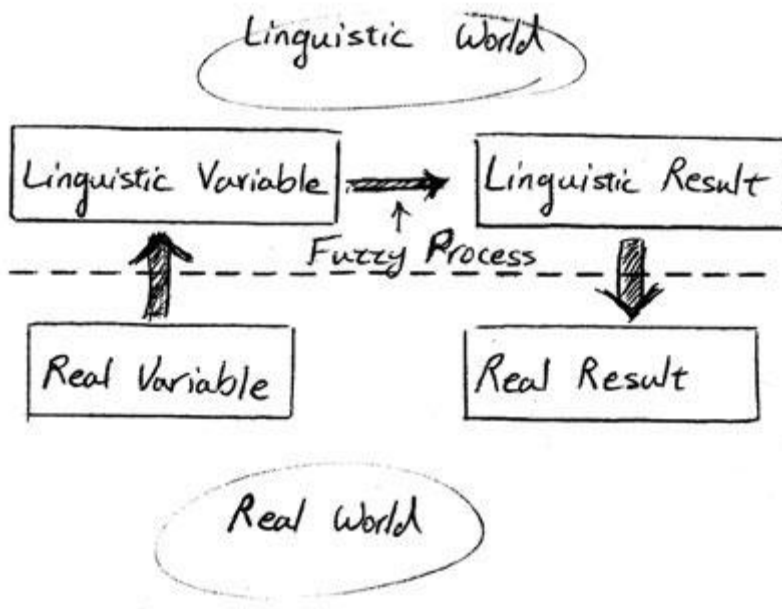
IF variable IS set THEN action

به عنوان مثال فرض کنید می‌خواهیم یک توصیف فازی از دمای یک اتاق ارائه دهیم. در این صورت می‌توانیم چند مجموعه فازی تعریف کنیم که از الگوی تابع  $U(x)$  تبعیت کند. شکل 2 نموداری از نگاشت متغیر "دمای هوا" به چند مجموعه فازی با نام‌های "سرد"، "خنک"، "عادی"، "گرم" و "داغ" است. چنان که ملاحظه می‌کنید، یک درجه حرارت معین ممکن است متعلق به یک یا دو مجموعه باشد.

شکل 2



به عنوان نمونه، درجه حرارت‌های بین دمای  $T1$  و  $T2$  هم متعلق به مجموعه "سرد" و هم متعلق به مجموعه "خنک" است. اما درجه عضویت یک دمای معین در این فاصله، در هر یک از دو مجموعه متفاوت است. به طوری که دمای نزدیک  $T2$  تنها به اندازه چند صدم در مجموعه "سرد" عضویت دارد، اما نزدیک نوددرصد در مجموعه "خنک" عضویت دارد.



پارادایم حاکم بر يك كنترلر فازی به این ترتیب است که متغیرهای دنیای واقعی به عنوان ورودی دریافت می‌شوند. قوانین فازی آن‌ها را به متغیرهای معنایی تبدیل می‌کند. فرآیند فازی این ورودی را می‌گیرد و خروجی معنایی تولید می‌کند و سرانجام خروجی‌ها به زبان دنیای واقعی ترجمه می‌شوند. نمودار شکل 3 مصداقی از همین روند است.

اکنون می‌توان بر اساس مدل فوق قانون فازی زیر را تعریف کرد:

اگر دمای اتاق "خیلی گرم" است، سرعت پنکه را "خیلی زیاد" کن.

اگر دمای اتاق "گرم" است، سرعت پنکه را "زیاد" کن.

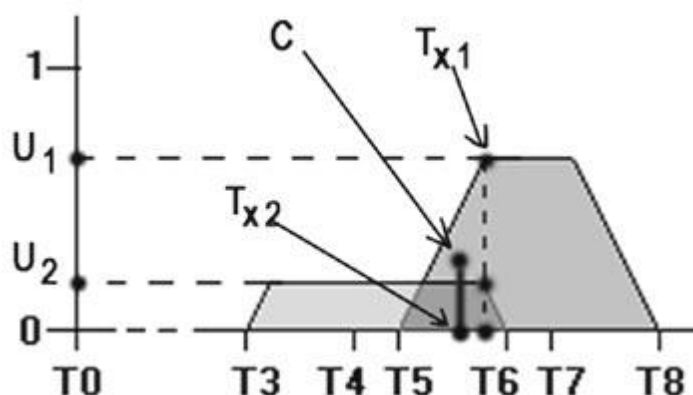
اگر دمای اتاق "معتدل" است، سرعت پنکه را در "همین اندازه" نگاهدار.

اگر دمای اتاق "خنک" است، سرعت پنکه را "کم" کن.

اگر دمای اتاق "سرد" است، پنکه را "خاموش" کن.

اگر این قانون فازی را روی يك سیستم کنترل دما اعمال کنیم، آن‌گاه می‌توانیم دماسنجی بسازیم که دمای اتاق را به صورت خودکار و طبق قانون ما، کنترل می‌کند. اما این سؤال پیش می‌آید که اگر دو یا چند قانون همزمان برای يك متغیر ورودی فعال شود چه اتفاقی خواهد افتاد؟ فرض کنید دمای اتاق برابر  $T_{x1}$  است در این صورت هم قانون مربوط به اتاق گرم و هم قانون مربوط به دمای اتاق معتدل صادق است و مقادیر  $U_1$  و  $U_2$  به ترتیب به دست می‌آید. طبق کدام قانون باید عمل کرد؟ لطفی‌زاده خود پاسخ این معما را نداد. در سال 1975 دو دانشمند منطق فازی به نام ممدانی (Mamdani) و آسیلیان اولین کنترل فازی واقعی را طراحی کردند. آنان پاسخ این معما را با محاسبه نقطه ثقل (C) مساحتی که از ترکیب دو نوزنقه زیر  $U_1$  و  $U_2$  در شکل 3 پدید آمده و نگاشت آن به محور  $t$  و به دست آوردن مقدار  $T_{x2}$  حل کردند.

شکل 3



## کاربردهای منطق فازی

منطق فازی کاربردهای متعددی دارد. ساده‌ترین نمونه یک سیستم کنترل دما یا ترموستات است که بر اساس قوانین فازی کار می‌کند. سال‌هاست که از منطق فازی برای کنترل دمای آب یا میزان کدر شدن آبی که لباس‌ها در آن شسته شده‌اند در ساختمان اغلب ماشین‌های لباسشویی استفاده می‌شود.

امروزه ماشین‌های ظرفشویی و بسیاری از دیگر لوازم خانگی نیز از این تکنیک استفاده می‌کنند. منطق فازی در صنعت خودروسازی نیز کاربردهای فراوانی دارد. مثلاً سیستم ترمز و ABS در برخی از خودروها از منطق فازی استفاده می‌کند. یکی از معروف‌ترین نمونه‌های به‌کارگیری منطق فازی در سیستم‌های ترابری جهان، شبکه مونوریل (قطار تک ریل) توکیو در ژاپن است. سایر سیستم‌های حرکتی و جابه‌جایی بار، مثل آسانسورها نیز از منطق فازی استفاده می‌کنند.

به طور کلی خیلی از مواقع در ساختمان سیستم‌های تشخیص الگوها (Pattern Recognition) مثل سیستم‌های تشخیص گفتار و پردازش تصویر از منطق فازی استفاده می‌شود.

سیستم‌های تهویه هوا نیز به وفور منطق فازی را به‌کار می‌گیرند. از منطق فازی در سیستم‌های پردازش تصویر نیز استفاده می‌شود. یک نمونه از این نوع کاربردها را می‌توانید در سیستم‌های "تشخیص لبه و مرز" اجسام مشاهده کنید که در علم رباتیک کاربرد دارد.

### منطق فازی و هوش مصنوعی

جالب‌ترین کاربرد منطق فازی، تفسیری است که این علم از ساختار تصمیم‌گیری‌های موجودات هوشمند، و در راس آن‌ها، هوش انسانی، به دست می‌دهد.

این منطق به خوبی نشان می‌دهد که چرا منطق دو ارزشی "صفر و یک" در ریاضیات کلاسیک قادر به تبیین و توصیف مفاهیم نادقیقی همچون "گرم و سرما" که مبنای بسیاری از تصمیم‌گیری‌های هوشمند را تشکیل می‌دهند، نیست.

شاید یکی از جالب‌ترین کاربردهای منطق فازی هوش مصنوعی در بازی‌های رایانه‌ای و جلوه‌های ویژه سینمایی باشد. صحنه‌های درگیری در فیلم ارباب حلقه‌ها را که دیده‌اید. در آن فیلم برای تولید جلوه‌های ویژه از نرم‌افزار Massive استفاده شده. از این نرم‌افزار در بسیاری از صحنه‌های فیلم برای تولید حرکات لشکر موجودات متخاصم استفاده شده بود.

در این برنامه متخصصان کامپیوتر و انیمیشن ابتدا موجوداتی را به صورت الگو ایجاد کرده بودند و سپس به کمک منطق فازی مصداق‌هایی تصادفی از این موجودات خیالی پدیدآورده بودند که حرکات تصادفی - اما از پیش تعریف شده‌ای - در اعضای بدن خود داشتند.

این موجودات در حقیقت دارای نوعی هوش مصنوعی بودند و می‌توانستند برای نحوه حرکت دادن اعضای بدن خود تصمیم بگیرند. در عین حال تمام موجوداتی که در یک لشکر به سوی می‌تاختند یا با دشمنی می‌جنگیدند، از جهت حرکت یکسانی برخوردار بودند و به سوی یک هدف مشخص حمله می‌کردند.

این ساختار کاملاً پیچیده و هوشمند به فیلمسازان اجازه داده بود که این موجودات افسانه‌ای را در دنیای مجازی کامپیوتر به حال خود رها کنند تا به سوی دشمنان حمله کنند و این همه بی‌تردید بدون بهره‌گیری از منطق فازی امکانپذیر نبود.

شرکت Massive Software که به دلیل به‌کارگیری منطق فازی برای ایجاد هوش مصنوعی در طراحی لشکریان فیلم ارباب حلقه‌ها برنده جایزه اسکار شد، بعداً این تکنیک را در فیلم‌های دیگری همچون I.Robot و King Kong نیز به‌کار برد.

استفاده از منطق فازی برای هوشمندکردن موجودات نرم‌افزاری تنها گونه‌ای از کاربردهای این نظریه در هوش مصنوعی است. منطق فازی در هوشمند ساختن روبات‌های سخت‌افزاری نیز کاربردهای زیادی دارد.

### تفاوت میان نظریه احتمالات و منطق فازی

یکی از مباحث مهم در منطق فازی، تمیزدادن آن از نظریه احتمالات در علم ریاضیات است. غالباً نظریه فازی با نظریه احتمالات اشتباه می‌شود. در حالی که این دو مفهوم کاملاً با یکدیگر متفاوتند. این موضوع به قدری مهم است که حتی برخی از دانشمندان بزرگ علم ریاضیات در دنیا - به‌ویژه کشورهای غربی - در مورد آن با یکدیگر بحث دارند و جالب آن که هنوز هم ریاضیدانانی وجود دارند که با منطق فازی مخالفند و آن را یک سوء تعبیر از نظریه احتمالات تفسیر می‌کنند.

از نگاه این ریاضیدانان، منطق فازی چیزی نیست جز یک برداشت نادرست از نظریه احتمالات که به گونه‌ای غیرقابل قبول، مقادیر و اندازه‌گیری‌های نادقیق را وارد علوم ریاضیات، مهندسی و کنترل کرده است. بعضی نیز مانند Bruno de Finetti معتقدند فقط یک نوع توصیف از مفهوم عدم قطعیت در علم ریاضیات کافی است و چون علم آمار و احتمالات وجود دارد، نیازی به مراجعه به منطق فازی نیست.



پرفسور لطفی‌زاده خالق نظریه مجموعه‌های فازی و منطق فازی



با این حال، اکثریت طرفداران نظریه منطق فازی، کارشناسان و متخصصانی هستند که به طور مستقیم یا غیرمستقیم با علم مهندسی کنترل سروکار دارند. حتی تعدادی از پیروان منطق فازی همچون بارت کاسکو تا آنجا پیش می‌روند که احتمالات را شاخه و زیرمجموعه‌ای از منطق فازی می‌نامند.

توضیح تفاوت میان این دو نظریه البته کار چندان دشواری نیست. منطق فازی با حقایق نادقیق سروکار دارد و به حدود و درجات يك واقعی اشاره دارد؛ حال آن‌که نظریه احتمالات بر شالوده مجموعه حالات تصادفی يك پدیده استوار است و درباره شانس وقوع يك حالت خاص صحبت می‌کند؛ حالتی که وقتی اتفاق بیفتد، دقیق فرض می‌شود. ذکر يك مثال می‌تواند موضوع را روشن کند. فرض کنید در حال رانندگی در يك خیابان هستید. اتفاقاً متوجه می‌شوید که کودکی در اتومبیل دیگری که به موازات شما در حال حرکت است، نشسته و سر و يك دست خود را از پنجره ماشین بیرون آورده و در حال بازی‌گوشی است. این وضعیت واقعی است و نمی‌توان گفت احتمال این‌که بدن این کودک بیرون اتومبیل باشد، چقدر است.

چون بدن او واقعاً بیرون ماشین است، با این توضیح که بدن او کاملاً بیرون نیست، بلکه فقط بخشی از بدن او در خارج اتومبیل قرار گرفته است. تئوری احتمالات در اینجا کاربردی ندارد. چون ما نمی‌توانیم از احتمال خارج بودن بدن کودک از ماشین صحبت کنیم؛ زیرا آشکارا فرض غلطی است. اما می‌توانیم از احتمال وقوع حادثه صحبت کنیم. مثلاً هرچه بدن کودک بیشتر بیرون باشد، احتمال این‌که در اثر برخورد با بدنه يك اتومبیل در حال حرکت دچار آسیب شود، بیشتر می‌شود. این حادثه هنوز اتفاق نیفتاده است، ولی می‌توانیم از احتمال وقوع آن صحبت کنیم. اما بیرون بودن تن کودک از ماشین همین حالا به واقعیت تبدیل شده است و فقط می‌توانیم از میزان و درجات آن صحبت کنیم.