پروفسور لطفی‌زاده

تفکر فازی

یعقوب به‌آیین

خلاصه‌ای از تاریخچه‌ی تفکر فازی:

دو حادثه در اوایل سده‌ی بیستم منجر به‌شکل‌گیری «منطق فازی» یا «منطق مبهم» شد (منطق فازی یعنی توان استدلال با مجموعه‌های فازی). نخستین حادثه پارادکس‌های مطرح شده به‌وسیله‌ی برتراند راسل در ارتباط با منطق ارسطویی بود. برتراند راسل بنیادهای منطقی برای منطق فازی (منطق مبهم) را طرح کرد، اما هرگز موضوع را تعقیب نکرد. برتراند راسل در ارتباط با منطق ارسطویی چنین بیان می‌دارد!

«تمام منطق سنتی بنا به‌عادت، فرض را بر آن می‌گذارد که نمادهای دقیقی به‌کار گرفته شده است. به‌این دلیل، موضوع در مورد این زندگی خاکی قابل به‌کارگیری نیست، بلکه تنها برای یک زندگی ماورای طبیعی معتبر است».

دومین حادثه، کشف «اصل عدم قطعیت» به‌وسیله‌ی هایزنبرگ در فیزیک کوانتوم بود. اصل عدم قطعیت کوانتومی هایزنبرگ به‌باور کورکورانه‌ی ما به‌قطعیت در علوم و حقایق علمی خاتمه داد و یا دست کم آن را دچار تزلزل ساخت. هایزنبرگ نشان داد که حتا اتم‌های مغز نیز، نامطمئن هستند. حتا با آگاهی‌های کامل نمی‌توانید چیزی بگویید که صد در صد مطمئن باشید. هایزنبرگ نشان داد که حتا در فیزیک، حقیقت گزاره‌ها تابع درجات است.

در این میان، منطقیون برای گریز از خشکی و جزمیت منطق دو ارزشی، منطق‌های چندارزشی را به‌عنوان تعمیم منطق دو ارزشی پایه‌گذاری کردند. نخستین منطق سه ارزشی در سال ۱۹۳۰ به‌وسیله‌ی لوکاسیه ویچ ـ منطق‌دان لهستانی ـ پایه‌گذاری شد. سپس منطق‌دانان دیگری نظیر بوخوار (Bochvar)، کلین (Klieene) و هی تینگ (Heyting) نیز منطق‌های سه ارزشی دیگری ارایه کردند. در منطق سه ارزشی گزاره‌ها برحسب سه ارزش (۱، $\frac{1}{2}$، ۰) مقداردهی می‌شوند، پس این منطق‌ها واقعیت‌ها را بهتر از منطق ارسطویی (۱ و ۰) نشان می‌دهند. ولی روشن است که منطق سه ارزشی نیز با واقعیت فاصله دارد. بنابراین منطق‌های n مقداره به‌وسیله‌ی منطقیون از جمله لوکاسیه ویچ ارایه شد. در منطق n مقداره، هر گزاره

می‌تواند یکی از ارزش‌های درستی مجموعه‌ی زیر را اختیار کند:

$$T_n=\{0, \frac{1}{n}, \frac{2}{n}, ...,1\}$$

روشن است که هر چه n عدد صحیح مثبت بزرگ‌تری انتخاب شود، دسته‌بندی ارزش گزاره‌ها (گرد کردن آن‌ها به‌یکی از عددهای مجموعه‌ی T_n) به‌واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود و اگر n به‌سمت بی‌نهایت میل کند ($n \to \infty$)، یک منطق بی‌نهایت مقداره تعریف می‌شود که درجه‌ی درستی هر گزاره می‌تواند یک عدد گویا بین صفر و یک باشد. منطق کامل‌تر آن است که هر گزاره بتواند هر عدد حقیقی بین صفر و یک را اختیار کند که آن را منطق استاندارد لوکاسیه ویچ می‌نامند. در واقع ارزش گزاره‌ها در این منطق طیفی بین درستی و نادرستی یا بین صفر و یک است.

منطق فازی نیز یک منطق چندارزشی است. در این منطق به‌جای درست یا نادرست، سیاه یا سفید، صفر یا یک، سایه‌های نامحدودی از خاکستری بین سیاه و سفید وجود دارد. تمایز عمده‌ی منطق فازی با منطق چندارزشی آن است که در منطق فازی، حقیقت و حتا ذات مطلب‌ها هم می‌تواند نادقیق باشد. در منطق فازی، مجاز به‌بیان جمله‌هایی از قبیل «کاملاً درست است» یا «کم و بیش درست است» هستیم و حتا می‌توان از احتمال نادقیق مانند «تقریباً غیرممکن»، «نه چندان» و «به‌ندرت» نیز استفاده کرد. بدیهی است منطق فازی نظام انعطاف‌پذیری را در خدمت زبان طبیعی قرار می‌دهد. منطق فازی عبارت است از «استدلال با مجموعه‌های فازی». مجموعه‌های فازی به‌وسیله‌ی ماکس بلک و لطفی‌زاده ارایه شد.

ابتدا درسال ۱۹۷۳ ماکس بلک ـ فیلسوف کوانتوم ـ مقاله‌ای راجع به‌آنالیز منطق به‌نام «ابهام» را در مجله‌ی علم منتشر کرد. البته جهان علم و فلسفه مقاله‌ی بلک را نادیده گرفت، اگر این چنین نمی‌شد ما هم‌اکنون باید منطق گنگ را به‌جای منطق فازی مورد بررسی قرار می‌دادیم. در سال ۱۹۶۵ لطفی‌زاده مقاله‌ای تحت عنوان «مجموعه‌های فازی» منتشر ساخت. در این مقاله او از منطق چند مقداری لوکاسیه ویچ برای مجموعه‌ها استفاده کرد. او نام فازی را برای این مجموعه‌ها در نظر گرفت تا مفهوم فازی را از منطق دودویی دور سازد. او لغت فازی را انتخاب کرد تا همچون خاری در چشم دانش مدرن فرو رود.

ماکس بلک عبارت «مبهم» را به‌این دلیل استفاده کرد که برتراند راسل و دیگر منطق‌دانان آن را برای چیزی که ما اکنون آن را «فازی» می‌نامیم، استفاده کرده بودند. نظریه‌ی بلک مورد قبول واقع نشد و در مجله‌ای اختصاصی که تنها گروه اندکی آن را مطالعه می‌کردند در سکوت به‌فراموشی سپرده شد. ماکس بلک که در سال ۱۹۰۹ در شهر باکو در کناره‌ی دریای خزر به‌دنیا

آمده بود، در سال ۱۹۸۹ درگذشت. پس از ماکس بلک، لطفی‌زاده (پروفسور ایرانی) با یک تغییر جدید (تغییر نام «ابهام» به«فازی») راه تازه‌ای را برای قبولاندن این ایده باز کرد.

لطفی‌زاده در سال ۱۹۲۱ در باکو چشم به‌جهان گشود. لطفی‌زاده یک شهروند ایرانی بوده و پدرش یک تاجر و خبرنگار روزنامه بود. لطفی‌زاده از ۱۰ تا ۲۰ سالگی در ایران زندگی کرد و به‌مدرسه‌ی مذهبی رفت. در سال ۱۹۴۲ با درجه‌ی لیسانس مهندسی برق از دانشکده‌ی فنی دانشگاه تهران فارغ‌التحصیل شد. او در سال ۱۹۴۴ به‌آمریکا و به‌انستیتو فنی ماساچوست (MIT) رفت و در سال ۱۹۴۶ درجه‌ی فوق‌لیسانس را در مهندسی برق دریافت کرد. در آن موقع بود که والدینش از ایران به‌آمریکا (نیویورک) رفتند. لطفی‌زاده MIT را ترک کرد و به‌والدینش در نیویورک پیوست و وارد دانشگاه کلمبیا شد. در سال ۱۹۵۱ او درجه‌ی دکترای خود را در رشته‌ی مهندسی برق دریافت کرد و به‌استادان دانشگاه کلمبیا ملحق شد. و تا زمانی که به‌دانشگاه برکلی رفت، در آن‌جا اقامت داشت.

در سال ۱۹۶۳ ریاست بخش برق دانشگاه برکلی را که بالاترین عنوان در رشته‌ی مهندسی بود، برعهده داشت.

در سال ۱۹۶۵ پروفسور لطفی‌زاده مقاله‌ی «مجموعه‌ی فازی» را در مجله‌ی اطلاعات و کنترل منتشر ساخت. در این مقاله، لطفی‌زاده چیزی را که برتراند راسل، جان لوکاسیه ویچ، ماکس بلک و دیگران آن را «ابهام» یا «چندارزشی» نامیده بودند، «فازی» نامید.

در سال ۱۹۷۳، لطفی‌زاده مقاله‌ی دیگری منتشر کرد و در آن جزییات بیش‌تری در مورد منطق و ریاضیات فازی و به‌کارگیری آن در سیستم‌های کنترل مورد بحث قرار داد. در سال ۱۹۷۴، نخستین سیستم کنترلی که مربوط به‌تنظیم یک موتور بخار بود و براساس منطق فازی کنترل می‌شد، پیاده‌سازی شد. در سال ۱۹۸۵، در آزمایشگاه بل اولین تراشه‌ی نادقیق ساخته شد و بعد از آن تراشه‌هایی با قدرت بیش‌تر تولید شد. تراشه‌ای به‌نام F۳۱۰ که در سال ۱۹۸۹ ساخته شد، قادر بود بالغ بر ۵۰ هزار استنتاج فازی را در یک ثانیه انجام دهد. بدیهی است که روند توسعه و استفاده از تراشه‌های فازی، راه را برای استفاده از رایانه‌هایی که از این سخت‌افزار استفاده می‌کنند، بازخواهد کرد.

نظریه‌ی فازی با پشتکار لطفی‌زاده گسترش یافت. همراه با گسترش این نظریه، انتقادهایی بر آن وارد شد که عمده‌ترین آن‌ها را می‌توان در سه گروه، تقسیم‌بندی کرد:

الف ـ نخستین گروه منتقدان سوال می‌کردند که کاربرد منطق فازی چیست؟ چه چیزی شما می‌توانید با مجموعه‌ی فازی انجام دهید؟ در مقابل این سوال، لطفی‌زاده و پیروانش برای

سال‌ها نتوانستند هیچ کاربردی را نشان دهند. در دهه‌ی ۱۹۷۰ نخستین کاربردهای منطق فازی ظاهر شد، اما این‌ها اغلب اسباب‌بازی‌های رایانه‌ای بر گرفته از ایده‌های ساده‌ی ریاضی بود. نخستین سیستم فازی به‌وسیله‌ی ابراهیم ممدانی (Ebrahim mamdani) در انگلستان ارایه شد. در دهه‌ی ۱۹۸۰ ژاپنی‌ها از این سیستم‌ها برای کنترل استفاده کردند و تا سال ۱۹۹۰ ژاپنی‌ها بیش از ۱۰۰ محصول با کاربردهای کنترل فازی ارایه دادند.

نمونه‌ای از محصولات فازی تولیدی در سال ۱۹۹۲ در ژاپن و کره‌ی جنوبی:

محصول	شرکت	قوانین منطق فازی
۱ـ ماشین‌های ظرفشویی	ماتسوشیتا	ـ برای تعداد ظرف‌ها و نوع و تعداد غذاهای روی ظرف‌ها سیکل کاری و استراتژی شست‌وشو را تغییر می‌دهد.
۲ـ کنترل بالابر	۱. میتسوبیشی، ۲. توشیبا ۳. فوجی	ـ برای عبور و مرور مسافران، زمان انتظار را کاهش می‌دهد.
۳ـ اجاق‌های ماکروویو	۱. هیتاچی، ۲. سانیو ۳. شارپ، ۴. توشیبا	ـ استراتژی و توان مناسب را برای پخت انتخاب می‌کند.
۴ـ یخچال	شارپ	ـ زمان خنک شدن را برحسب مورد تنظیم می‌کند. یک شبکه‌ی عصبی براساس عادت‌های استفاده کننده، قانون‌های مربوطه را تغییر می‌دهد.
۵ـ دوربین	۱. کانن، ۲. مینولتا	ـ براساس موضوع موجود در کادر، عمل تنظیم کانون را انجام می‌دهد.
۶ـ بازار بورس	یاماایشی	ـ براساس داده‌های اقتصاد خرد و کلان، بازار بورس را مدیریت می‌کند.

ب ـ دومین گروه منتقدان از مرکزهای علمی و پژوهشی احتمال بودند. لطفی‌زاده از عددهای بین صفر و یک برای توصیف ابهام استفاده می‌کرد. متخصصان احتمال نیز احساس می‌کردند که آن‌ها نیز همین کار را انجام می‌دهند. وقوع درگیری، غیرقابل اجتناب بود. بیش‌تر این انتقادها، فازی را همان احتمال با لباس مبدل می‌دانست. آن‌ها احساس می‌کردند که لطفی‌زاده چیز جدیدی ارایه نکرده است و کار خاصی انجام نداده است. آن‌ها بیان می‌کردند که لطفی‌زاده توان خود را روی قدرت بیان مجموعه‌های فازی و قدرت تطابق آن‌ها با واژه‌ها معطوف کرده است.

در پاسخ به‌این پرسش لطفی‌زاده بیان می‌دارد که «اصولاً چنین چارچوبی راهی برای مواجهه با مساله‌هایی است که در آن‌ها نادقیق بودن به‌خاطر عدم وجود معیار صریح عضویت در گروه است، نه حضور متغیرهای تصادفی».

پ ـ سومین انتقاد از همه مهم‌تر بود و آن قهر آشکار منطق دو ارزشی بود. برای لطفی‌زاده درست بودن یا حتا داشتن ظاهری درست در آن بود که منطق ارسطو نادیده انگاشته شود. این به‌این معنا است که چیزها مجبور نیستند، سیاه یا سفید باشند. انتقادهای دو ارزشی دو نوع بودند:

نوع اول می‌گوید که منطق دو ارزشی کارآیی دارد، منطق دو ارزشی هزاران سال است که به‌ما خدمت کرده و رایانه‌ها را به‌کار انداخته است. ممکن است مقداری هزینه داشته باشد، اما ساده است و کار می‌کند.

نوع دوم انتقاد، فریادی از خشم است. این مورد ردپای دانش جدید در رد (A و نقیض A) و اصرار به‌درستی (A یا نقیض A) است. اما در این مورد نیز می‌توان گفت که منطق چند ارزشی می‌تواند مشکل دو ارزشی را نیز حل کند.

تفکر فازی چیست؟

از آن زمان که انسان اندیشیدن را آغاز نمود، همواره واژه‌ها و عبارت‌هایی را بر زبان جاری ساخته که مرزهای روشنی نداشته‌اند. واژه‌هایی نظیر «خوب»، «بد»، «جوان»، «پیر»، «بلند»، «کوتاه»، «قوی»، «ضعیف»، «گرم»، «سرد»، «خوشحال»، «باهوش»، «زیبا» و قیدهایی از قبیل «به‌طور معمول»، «اغلب»، «به‌تقریب» و «به‌ندرت». روشن است که نمی‌توان برای این واژه‌ها مرز مشخصی یافت، برای نمونه در گزاره‌ی «علی باهوش است» یا «گل رز زیبا است» نمی‌توان مرز مشخصی برای «باهوش بودن» و «زیبا بودن» در نظر گرفت. اما در بسیاری از علوم نظیر ریاضیات و منطق، فرض بر این است که مرزها و محدوده‌های به‌دقت تعریف شده‌ای وجود دارد و یک موضوع خاص یا در محدوده‌ی آن مرز می‌گنجد یا نمی‌گنجد. مواردی چون همه یا هیچ، فانی یا غیرفانی، زنده یا مرده، مرد یا زن، سفید یا سیاه، صفر یا یک، یا «این» یا «نقیض این». در این علوم هر گزاره‌ای یا درست است یا نادرست، پدیده‌های واقعی یا «سفید» هستند یا «سیاه».

این باور به‌سیاه و سفیدها، صفر و یک‌ها و این نظام دو ارزشی به‌گذشته باز می‌گردد و حداقل به‌یونان قدیم و ارسطو می‌رسد. البته قبل از ارسطو نوعی ذهنیت فلسفی وجود داشت که

به‌ایمان دودویی با شک و تردید می‌نگریست. بودا در هند، پنج سده پیش از مسیح و دو سده پیش از ارسطو زندگی می‌کرد. اولین قدم در سیستم اعتقادی او گریز از جهان سیاه و سفید و برداشتن این حجاب دو ارزشی بود. نگریستن به‌جهان به‌صورتی که هست. از دید بودا جهان را باید سراسر تناقض دید، جهانی که چیزها و ناچیزها در آن وجود دارد. در آن گل‌های رز هم سرخ هستند و هم غیرسرخ. در منطق بودا هم A داریم هم نقیض A. در منطق ارسطو یا A داریم یا نقیض A منطق (A یا نقیض A) در مقابل منطق (A و نقیض A). منطق این یا آن ارسطو در مقابل منطق تضاد بودا.

منطق ارسطو اساس ریاضیات کلاسیک را تشکیل می‌دهد. براساس اصول و مبانی این منطق همه چیز تنها مشمول یک قاعده‌ی ثابت می‌شود که به‌موجب آن یا آن چیز درست است یا نادرست. دانشمندان نیز برهمین اساس به‌تحلیل دنیای خود می‌پرداختند. گرچه آن‌ها همیشه مطمئن نبودند که چه چیزی درست است و چه چیزی نادرست و گرچه درباره‌ی درستی یا نادرستی یک پدیده‌ی مشخص ممکن بود دچار تردید شوند، ولی در یک مورد هیچ تردیدی نداشتند و آن این‌که هر پدیده‌ای یا «درست» است یا «نادرست».

هرگزاره، قانون و قاعده‌ای یا قابل استناد است یا نیست. بیش از دو هزار سال است که قانون ارسطو تعیین می‌کند که از نظر فلسفی چه چیز درست است و چه چیز نادرست. این قانون «اندیشیدن» در زبان، آموزش و افکار ما رسوخ کرده است.

منطق ارسطویی دقت را فدای سهولت می‌کند. نتیجه‌ی منطق ارسطویی، «دو ارزشی»، «درست یا نادرست»، «سیاه یا سفید» و «صفر یا یک» می‌تواند مطالب ریاضی و پردازش رایانه‌ای را ساده کند. می‌توان با رشته‌ای از صفر و یک‌ها بسیار ساده‌تر از کسرها کار کرد. اما حالت دو ارزشی نیازمند انطباق‌ورزی و از بین بردن زواید است. برای نمونه هنگامی که می‌پرسید: آیا شما از کار خود راضی هستید؟ نمی‌توان انتظار جواب بله یا خیر داشت، مگر آن‌که با تقریب بالایی صحبت کنید. «سورن کییرکه‌گارد» فیلسوف اگزیستانسیالیست، در سال ۱۸۴۳ کتابی در رابطه با تصمیم‌گیری و آزاداندیشی به‌نام «یا این یا آن» نوشت. او در این کتاب بشر را برده‌ی کیهانی انتخاب‌های «دودویی» در تصمیم‌گیری‌هایش نامید. تصمیم‌گیری به‌انجام یا عدم انجام کاری و تصمیم‌گیری درباره‌ی بودن یا نبودن چیزی.

گرچه می‌توان نمونه‌های فراوانی را ذکر کرد که کاربرد منطق ارسطویی در مورد آن‌ها صحیح باشد، اما باید توجه داشت که نباید آن چه را که تنها برای موارد خاصی مصداق دارد به‌تمام دیده‌ها تعمیم داد. در دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم، بیش‌تر چیزهایی که درست به‌نظر

می‌رسند، «به‌نسبت» درست هستند و در مورد صحت و سقم پدیده‌های واقعی همواره درجاتی از «عدم قطعیت» صدق می‌کند.

به‌عبارت دیگر پدیده‌های واقعی تنها سیاه یا تنها سفید نیستند، بلکه تا اندازه‌ای «خاکستری» هستند. پدیده‌های واقعی همواره «فازی»، «مبهم» و «غیردقیق» هستند. تنها ریاضی بود که سیاه و سفید بود و این خود چیزی جز یک سیستم مصنوعی متشکل از قاعده‌ها و نشانه‌ها نبود. علم، واقعیت‌های خاکستری یا فازی را با ابزار سیاه و سفید ریاضی به‌نمایش می‌گذاشت و این چنین بود که به‌نظر می‌رسید واقعیت‌ها نیز تنها سیاه یا سفید هستند. به‌این ترتیب در حالی که در تمامی جهان حتا یک پدیده را نمی‌توان یافت که صد در صد درست یا صد در صد نادرست باشد، علم با ابزار ریاضی خود همه‌ی پدیده‌های جهان را این‌طور بیان می‌کرد. در این‌جا بود که علم دچار اشتباه شد.

در منطق ارسطویی حالت میانه‌ای وجود ندارد و شیوه‌ی استدلال «قطعی و صریح» است. از طرف دیگر ریاضیات فازی بر پایه‌ی استدلال تقریبی بنا شده که منطبق با طبیعت و سرشت سیستم‌های انسانی است. در این نوع استدلال، حالت‌های صفر و یک تنها مرزهای استدلال را بیان می‌کنند و در واقع استدلال تقریبی حالت تعمیم‌یافته‌ی استدلال قطعی و صریح ارسطویی است.

منطق فازی، یک جهان‌بینی جدید است که با وجود ریشه داشتن در فرهنگ مشرق‌زمین با نیازهای دنیای پیچیده‌ی امروز بسیار سازگارتر از منطق ارسطویی است. منطق فازی، جهان را آن‌طور که هست به‌تصویر می‌کشد. بدیهی است چون ذهن ما با منطق ارسطویی پرورش‌یافته، برای درک مفهوم‌های فازی در ابتدا باید کمی تامل کنیم، ولی وقتی آن را شناختیم، دیگر نمی‌توانیم به‌سادگی آن را فراموش کنیم. دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم، دنیای مبهم و عدم قطعیت است. مغز انسان عادت کرده است که در چنین محیطی فکر کند و تصمیم بگیرد و این قابلیت مغز که می‌تواند با استفاده از داده‌های نادقیق و کیفی به‌یادگیری و نتیجه‌گیری بپردازد، در مقابل منطق ارسطویی که لازمه‌ی آن داده‌های دقیق و کمی است، قابل تامل است.

سرچشمه‌ها:

۱ـ علم مدیریت فازی ـ دکتر عادل آذر حجت فرجی ـ مرکز مطالعات مدیریت و بهره‌وری ایران ـ چاپ اول ۱۳۸۱.

۲ـ تفکر فازی ـ بارت کاسکو ـ برگردان: علی غفاری، عادل مقصودپور، علیرضا پورممتاز، جمشید قسیمی ـ ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین توسی ـ چاپ دوم سال ۱۳۸۰.