

منطق فازی در

زمین شناسی

رابرت وی. دمیکو

جورج جی. کلیر

مترجم:

دکتر علی اکبر رحمانی

عضو هیات علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

محتوا و نام پدیدآور	: منطق فازی در زمین‌شناسی / [ویراستار] رابرت وی. دمیکو.
مشخصات نشر	جورج. جی. کلیر، مترجم علی اکبر رحمانی: ویراستار شهره کریمی
مشخصات ظاهری	: قزوین الای اندیشه، ۱۳۹۵
شابک	: ۴۴۰ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
وضعیت فهرست نویسی	: ۲۵۰۰۰۰ ریال ۲-۱۶-۸۰۱۸-۶۰۰-۹۷۸:
یادداشت	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Fuzzy logic in geology , c ۲۰۰۴
یادداشت	: : واژه‌نامه
یادداشت	: : کتابنامه
یادداشت	: : نمایه
موضوع	: زمین‌شناسی ... ریاضیات
موضوع	: Geology Mathematics :
موضوع	: منطق فازی
موضوع	: Fuzzy logic :
شناسه افزوده	: دمیکو، رابرت وی.، ویراستار
شناسه افزوده	: Demicco, Robert V:
شناسه افزوده	: کلیر، جورج ج.، ۱۹۳۲ - م.، ویراستار
شناسه افزوده	: Klir, George :
شناسه افزوده	: رحمانی، علی اکبر، ۱۳۳۱ - مترجم
رده بندی کنگره	: QER۲۷۰۰۹۴ ۸۱۳۹۵
رده بندی دیویی	: ۵۵۰ ۱۱۱۱۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۵۵،۸۸۰ :

منطق فازی در زمین‌شناسی

مترجم: علی اکبر رحمانی (a.khromani@yahoo.com)

ویراستار: شهره کریمی

تایپ و صفحه‌آرایی: معصومه ملکی

طراح جلد: مهندس کامیل رحمانی

ناشر: الای اندیشه (قزوین، شهرک ملاصدرا، اندیشه ۴، پلاک ۲۰)

چاپ اول: زمستان ۱۳۹۵

تیراژ: ۲۰۰

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: افق بی پایان

قیمت: ۲۵۰۰۰ ریال

شابک: ۲-۱۶-۸۰۱۸-۶۰۰-۹۷۸

مرکز پختی: انتشارات دانشنگار، میدان انقلاب، خیابان اردیبهشت، نبش وحید نظری، تلفن: ۶۶۴۰۰۱۴۴

پیشگفتار

این کتاب، سه هدف را دنبال می‌کند. اولین هدف، این است که نشان دهد منطق فازی (fuzzy logic) روش جدیدی برای نشان دادن دانش زمین‌شناختی و کنار آمدن با مسائل زمین‌شناختی می‌باشد. این رویکرد جدید، به طور تعجب‌برانگیزی در بسیاری از نواحی زمین‌شناسی موفق بوده است. هدف دوم، کمک به زمین‌شناسان برای درک اشکال اصلی منطق فازی و نقش این اشکال در زمین‌شناسی، است. هدف نهایی، آگاهی‌بخشی به پژوهشگران در منطق فازی است که از این طریق بتوانند تخصص‌های خود را در زمینه‌شناسی به کار گیرند.

این کتاب، نه تنها نظریه‌پردازان، متخصصان و اساتید زمین‌شناسی، بلکه کل اعضای جامعه‌ی مجموعه‌ی فازی را در مورد مطالب قرار می‌دهد. برای زمین‌شناسان، کتاب، حاوی تعلیمات تخصصی درباره‌ی منطق فازی (فصل ۲)، مقدمه‌ی اساسی کاربرد منطق فازی در مدل‌سازی تحت شرایط زمین‌شناختی (فصل ۳)، مرور مختصری از کاربردهای معروف فعلی منطق فازی در زمین‌شناسی (فصل ۴) و شش فصل اضافی با مثال‌های، ملحق کاربردهای منطق فازی به مسائل، در محدوده‌ی وسیعی از رشته‌های زمین‌شناختی، می‌باشد. برای مطلق دانان (logicians) فازی، کتاب، مرور مختصری از نواحی زمین‌شناسی است که در آن، منطق فازی به خوبی ریشه‌یافته شده و امیدبخش می‌باشد. در نتیجه، هدف اصلی تدوین کتاب، فراهم نمودن پیوند مفهومی بین دو جامعه و تحریک بیشتر پژوهش میان‌رشته‌ای (interdisciplinary) می‌باشد.

کتاب، حاصل همکاری نزدیک بین تدوین‌کنندگان و بهترین مؤلف است. از مؤلفان خواسته شد فصلهایی درباره‌ی موضوعات ویژه به نگارش درآورند. دقت زیادی، ملحوظ گردید تا حفظ یکنواختی اصلاحات ریاضی و نمادگذاری در سرتاسر کتاب، تضمین گردد. از این داشته، دقت زیادی مبذول گردید تا اطمینان حاصل شود که ساختار هر فصل و الگوی مراجعه به منابع در تمام کتاب یکنواخت باقی بماند. علاوه بر این، از مؤلفان درخواست گردید بر روی وضوح مطالب اراعه شده متمرکز شوند و در جایی که مناسب تشخیص می‌دهند، خلاصه‌ها را اضافه نمایند. تمام این ویژگیها، باعث می‌شوند کتاب، به عنوان کتاب درسی، برای دوره‌های کارشناسی ارشد و سمینارها جذاب و مناسب گردد.

کتاب، به استثنای بخشهایی از فصلهای ۷ و ۹، با سبک داستان به رشته‌ی تحریر در آمده است. فصلهای ۷ و ۹، به مقدمات ریاضی نسبتاً پیچیده‌ای وابسته هستند. معرفی این مقدمات با الگوی رسمی‌تر، شاخص آثار چاپی ریاضی، با استفاده از تعاریف شماره‌دار، قضایای مقدماتی (lemmas)، نظریه‌ها و مثالها، بسیار مفیدتر می‌باشد. اگرچه این آرایه‌ی رسمی در فصلهای ۷ و ۹، برای شناخت جزئیات عملیاتی روشهای توضیح داده شده، اساسی تلقی می‌گردد ولی برای درک مفهومی روشها و

کاربردهای زمین‌شناختی آنها، ضروری نمی‌باشد. در حقیقت، این فصلها، به طور مفهومی ساخته شده‌اند. با این ساختار، پژوهشگر، بدون مطالعه‌ی جزئیات ارایه‌ی رسمی، می‌تواند جان کلام فصل را بفهمد.

ایده‌ی تهیه‌ی کتاب درباره‌ی منطق فازی در زمین‌شناسی، به وسیله‌ی پروفیسور لطفی‌زاده (Lotfizadeh) ایرانی‌الاصل، بنیانگذار منطق فازی، در حین بازدید از دانشگاه بینگهامتون (Binghamton) در اکتبر ۱۹۹۹، به تدوین‌کنندگان کتاب، پیشنهاد گردید و این پیشنهاد با استقبال مؤلفان مواجه شد. در حالیکه، منطق به عنوان ابزار مهمی در مهندسی، به خوبی پذیرفته شده است، ولی توسعه‌ی کاربردهای آن در علوم، بسیار اندک بوده است. با این وصف، از اواسط سالهای ۱۹۹۰ تا کنون، کاربرد منطق فازی در بخشهای مختلف علوم به طور رو به افزایشی تشخیص داده شده است. یکی از مثالهای خوب در سیسمایی، جایی که نقش منطق فازی در کتاب عالی "منطق فازی در شیمی"، که دنیس اچ. رووری (Dennis H. Kruvar) تدوین نمود و به وسیله‌ی انتشارات Academic Press، در سال ۱۹۹۷، به چاپ رسید، می‌باشد. در نتیجه، پیشنهاد کردن این کتاب، که نقش منطق فازی را در زمین‌شناسی مورد بررسی قرار می‌دهد، یک امر طبیعی و منطقی به نظر می‌رسد. امیدواریم که این کتاب، نه تنها بتواند هدف خود را به خوبی انجام دهد بلکه در چاپ کتابهای دیگر مفید واقع شود تا نقش منطق فازی در نواحی دیگر علوم طبیعی، مانند زیست‌شناسی و فیزیک و همچنین علوم اجتماعی، مانند جغرافیا و اقتصاد نیز به منصه‌ی ظهور برسد.

رابرت وی. دمیکو

جورج جی. کلیر

دسامبر ۲۰۰۲

مقدمه‌ی مترجم

تاریخچه‌ی کاربرد فازی، اولین بار در سال ۱۹۲۶، به یکی از فلاسفه، بنام کریستین اسماتز، برمی‌گردد که فلسفه‌ی کلیت و فرضیه‌ی مسیر تکامل را در رابطه با مفاهیم مبهم و غیردقیق ارایه نموده است. پس از آن در سال ۱۹۳۷، ماکس بلک، فیلسوف کوانتوم، مقاله‌ای تحت عنوان "ابهام" منتشر نمود که برای اولین بار منجر به تعریف منحنی عضویت گردید.

در سال ۱۹۶۵، پروفیسور لطفی عسگرزاده، استاد ایرانی‌الاصل دانشگاه برکلی کالیفرنیا، اولین مقاله‌ی خود را تحت عنوان "مجموعه‌های فازی" منتشر نمود. از جمله کاربردهای فازی را می‌توان در ساخت اسباب بازی‌های رایانه‌ای و سامانه‌های کنترل وسایل الکترونیکی، نام برد. علم، همواره با یک اشتباه همراه بوده است. اشتباهی که شاید همه‌ی دانشمندان مرتکب آن شده‌اند. علم، حقیقت نبوده و دارای خطا می‌باشد. علم، دیگر به عنوان حاکم مطلق قرن ۲۰ مطرح نیست.

بر اساس مبانی و اصول علم، همه چیز تنها مشمول یک قاعده‌ی ثابت می‌شود که به موجب آن درست یا غلط است. دانشمندان نیز در گذشته بر همین اساس به تحلیل دنیای محیط خود می‌پرداختند. گرچه آنها همیشه مطمئن بودند که چیزهایی درست و چه چیزهایی نادرست است و ممکن است درباره‌ی درستی یا نادرستی یک پدیده‌ی مشخص، دچار تردید شوند، لیکن در یک مورد هیچ تردیدی نداشتند و آن اینکه هر پدیده‌ای می‌تواند درست یا نادرست باشد.

مثالهای فراوانی را می‌توان ارایه داد که در آنها، شکی با داشتی دور از حقیقت نیست. برای مثال، هر کسی می‌تواند بگوید که علف سبز است و قرمز نیست، اما انعامش می‌کنند یا نمی‌کنند و یا تعداد دریاچه‌های ایران زوج است یا فرد، هر کدام از این پدیده‌ها تنها یک پاسخ درست دارند.

در حالیکه، تفکر فازی از دیدگاهی فلسفی نشأت می‌گیرد که ساختار چند هزار ساله و با قدمت فلسفه‌ی تاریخ دارد. همانگونه که فلسفه‌ی ادیان الهی، با طبیعت و ساختار انسان سازگار است، تفکر فازی با الهام از فلسفه‌ی شرقی، جهان را همانگونه که هست، معرفی می‌کند. در فلسفه‌ی ارسطویی، که در مقابل فلسفه‌ی شرق قرار دارد، همه چیز به دو دسته‌ی سیاه و سفید و آری و نه، تقسیم می‌شود. مفاهیم و نتایج حاصله از استدلال‌ات منطقی نیز در فلسفه‌ی ارسطویی هیچگونه حالت میانه‌ای ندارند. در این فلسفه نمی‌توان تا اندازه‌ای راستگو و در عین حال کمی هم دروغگو بود. نمی‌توان همزمان نسبتاً جوان و تا اندازه‌ای هم پیر بود. در فلسفه‌ی ارسطویی، مرزها کاملاً مشخص و تعریف شده می‌باشند.

در تفکر فازی مرز مشخصی وجود ندارد و تعلق عناصر مختلف به مفاهیم و موضوعات گوناگون نسبی است. به این ترتیب می‌توان دید که این تفکر تا چه اندازه با طبیعت و سرشت انسان و محیط جهان سازگار است. تا این مرحله به نظر نمی‌رسد که مخالفتی با این نگرش وجود داشته باشد. زیرا تفکر فازی، دیدگاه تازه‌ای را معرفی می‌کند که همان تعمیم منطق ارسطویی استوار است. نکته‌ی مهم آن است که براساس این دیدگاه، ریاضیات کلاسیک نیز که بر منطق ارسطویی استوار است. نکته‌ی مهم آن است که بر اساس این دیدگاه، ریاضیات کلاسیک نیز که بر منطق ارسطویی استوار است، زیر سوال می‌رود. در اینجا است که مخالفتها آغاز می‌گردد.

ریاضیات کلاسیک در مواردی که با جهان دوازشی سروکار داشته باشیم، ابزار مناسبی برای بیان مفاهیم مختلف است. اما با رشد اندیشه‌ی انسانی و پیشرفتهای علمی و فناوری نیاز به ابزارهای مناسب‌تر علمی، برای بیان مفاهیم پیچیده‌تر زندگی و محیط انسان، آشکار شده است. مفاهیمی که دیگر نمایش آنها با ریاضیات معمولی که بر معیارهای دوازشی استوار است، چندان مناسب و در دسترس نیست. ریاضیات فازی پاسخی گویا به این نیاز است. نیاز برای بیان مفاهیم چندارزشی، به جای مفاهیم دوازشی می‌باشد.

پروفسور لطفی‌زاده می‌فرماید: متناقضات کلاسیک، شبیه شخصی است که با یک لباس رسمی مشکی، بلوز سفید آهاردار، کراوات مشکی و کفشهای براق ... به یک مهمانی رسمی آمده است. منطق فازی، تا اندازه‌ای شبیه فردی است که با لباس غیررسمی، شلوار جین، تی‌شرت و کفشهای پارچه‌ای در مهمانی شرکت نموده است. این لباس را در گذشته نمی‌پذیرفتند ولی اکنون مورد پذیرش قرار می‌گیرد.

مبانی و اصول علم، بیان می‌کند که هر چیزی درست یا غلط است. در حالیکه همه چیز به طور نسبی اینگونه است. در مورد پدیده‌های واقعی حالتی از "عدم قطعیت" حاکم می‌کند. شاید اشتباه اساسی علم این باشد: آنچه را تنها در موارد خاصی مصداق پیدا می‌کند، به عام پدیده‌ها تعمیم داده شود که در واقع علم، جهان فازی را به صورت غیر فازی توصیف می‌کند.

امروزه، بدون شک منطق فازی در تمام شاخه‌های علوم، اعم از محض و کاربردی، نفوذ کرده و مزایای زیادی را به ارمغان آورده است. کتاب حاضر، مطالب جالبی درباره‌ی علوم مربوط به زمین را پوشش می‌دهد که برای مطالعه‌ی زمین‌شناسان جالب خواهد بود.

از تمام کسانی که در شکل گرفتن کتاب با اینجانبان همکاری نمودند کمال تشکر را داریم. (متن فوق، با اندک تغییر، برگرفته از کتاب مدیریت و کنترل پروژه‌ی فازی-تألیف دکتر اردشیر احمدی و مهندس سید رسول حسین بهارنچی-می‌باشد).

الحمد لله رب العالمین

فروردین ۱۳۹۵

فهرست مطالب

۱	پیشگفتار.....
۳	مقدمه‌ی مترجم.....
۵	فهرست علائم.....
۶	فصل ۱. مقدمه.....
۱۱	فصل ۲. منطق فازی: بحث علمی تخصصی.....
۱۱	۱-۲. مقدمه.....
۱۳	۲-۲. مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی.....
۲۰	۳-۲. عملیات بر روی مجموعه‌های فازی.....
۲۰	۱-۳-۲. اصلاح‌کننده‌ها.....
۲۲	۲-۳-۲. متمم‌ها.....
۲۴	۳-۳-۲. اشتراکات و اجتماعات.....
۲۸	۴-۳-۲. عملیات میانگین‌گیری.....
۳۳	۵-۳-۲. عملیات حسابی.....
۳۵	۴-۲. روابط فازی.....
۳۶	۱-۴-۲. تصاویر، بسط‌های استوانه‌ای و بستارهای استوانه‌ای.....
۳۷	۲-۴-۲. معکوسها، ترکیبها و اتصال‌ها.....
۳۹	۳-۴-۲. معادلات رابطه‌ی فازی.....
۴۱	۴-۴-۲. روابط فازی بر روی یک مجموعه‌ی تکی.....
۴۴	۵-۲. منطقی فازی.....
۴۷	۱-۵-۲. انواع اساسی اشکال گزاره‌ای.....
۵۱	۲-۵-۲. استدلال تقریبی.....

۵۳	۶-۲. نظریه‌ی امکان
۵۶	۷-۲. سامانه‌های فازی
۶۱	۸-۲. ساختن مجموعه‌ها و عملیات فازی
۶۳	۹-۲. مجموعه‌های فازی غیراستاندارد
۶۶	۱۰-۲. منابع اصلی برای مطالعه‌ی بیشتر
۷۱	فصل ۳. منطق فازی و علوم مربوط به زمین: مرور مختصر
۷۱	۱-۳. مقدمه
۷۳	۲-۳. مجموعه‌های قطعی و زمین‌شناسی
۷۵	۳-۳. مجموعه‌های فازی در زمین‌شناسی
۸۱	۴-۳. سامانه‌های منطق فازی
۸۲	۱-۴-۳. کاربرد قوانین استنتاج استاندارد ("ممدانی") به منحنی‌های تراکم
۸۷	۲-۴-۳. کاربرد قوانین استنتاج استاندارد ("ممدانی") به مدل آهنگ مرجانی
۹۲	۳-۴-۳. کاربرد قوانین استنتاج خودتنظیم‌کننده به محاسباتی شاخص نمایانشدن
۹۸	۴-۴-۳. تولید کربنات به صورت تابعی از عمق و فاصله تالیه‌ی سنگ
۱۰۵	۵-۴-۳. تراوایی به صورت تابعی از اندازه‌ی دانه و دانه‌بندی با استفاده از حرسه فازی
۱۱۱	۶-۴-۳. افزودن متغیرهای مرجع ضمیر بیشتر: دوباره مطرح‌شدن تراوایی
۱۱۱	۵-۳. خلاصه و نتیجه‌گیری
۱۱۵	فصل ۴. منطق فازی در علوم زمین‌شناختی: مرور آثار چاپی
۱۱۵	۱-۴. مقدمه
۱۱۷	۲-۴. طرحی از محاسبه‌ی نرم
۱۱۹	۳-۴. منطق فازی در زمین‌شناسی: مرور آثار چاپی

۱۲۰	۱-۳-۴. آب‌شناسی سطحی
۱۲۳	۲-۳-۴. آب‌شناسی زیرزمینی
۱۲۵	۳-۳-۴. ارزیابی خطر زیرزمینی
۱۲۶	۴-۳-۴. مهندسی زمین‌فنی (geotechnical)
۱۲۷	۵-۳-۴. اکتشاف، هیدروکربن
۱۲۹	۶-۳-۴. لرزه‌شناسی
۱۳۰	۷-۳-۴. علم خاک و توسعه‌ی حداثداز
۱۳۳	۸-۳-۴. نهشت رسوب
۱۳۴	۹-۳-۴. کاربردهای گوناگون
۱۳۵	۴-۴. نتیجه‌گیری
۱۳۷	فصل ۵. کاربردهای منطق فازی برای مدلسازی چینه‌شناختی
۱۳۷	۱-۵. مقدمه
۱۳۹	۲-۵. منطق فازی و مدل‌های چینه‌شناختی
۱۴۰	۳-۵. دره‌ی مرگ، کالیفرنیا
۱۴۹	۴-۵. مدلسازی فرایندهای نهشتی در دهانه‌ی دلتا
۱۶۴	۶-۵. توسعه‌های آتی
۱۶۶	۷-۵. نتیجه‌گیریها
۱۷۱	فصل ۶. منطق فازی در آب‌شناسی و منابع آب
۱۷۱	۱-۶. مقدمه
۱۷۱	۲-۶. مرور مختصر (overview)
۱۷۵	۳-۶. مدلسازی آب‌اقليمی براساس قانون فازی
۱۷۶	۱-۳-۶. انتخاب متغیرهای پایه‌ای ورودی و خروجی

- ۱۸۰ ۲-۳-۶. تعریف مجموعه‌های فازی
- ۱۸۰ ۱-۲-۳-۶. تعریف اعداد فازی با توجه به اصول مقدماتی
- ۱۸۲ ۲-۲-۳-۶. تعریف اعداد فازی با توجه به پاسخ (response)
- ۱۸۴ ۳-۳-۶. تعریف مجموعه‌های داده‌های آموزشی و اعتبار
- ۱۸۵ ۴-۳-۶. ساختن قانون
- ۱۸۵ ۱-۴-۳-۶. بیشتر از مقادیر تمام توابع عضویت برای هر آرایه‌ی داده را تعیین کنید
- ۱۸۷ ۲-۴-۳-۶. تأثیر ترکیبی اعداد فازی (با استفاده از عملگر AND)
- ۱۸۸ ۳-۴-۳-۶. به هر قانون یک وزن تخصیص دهید
- ۱۸۸ ۵-۳-۶. دستورالعمل اعتبار
- ۱۸۹ ۱-۵-۳-۶. تمام DOF ممکن برای داده‌ها را محاسبه کنید
- ۱۸۹ ۱-۵-۳-۶. پاسخ‌های فازی را ترکیب کنید: غیر فازی، از
- ۱۹۱ ۶-۳-۶. ارزیابی سامانه‌ی قانون فازی (annealing)
- ۱۹۳ ۷-۳-۶. ارزیابی مدل بر پایه‌ی قانون فازی
- ۱۹۴ ۴-۶. مثالهای کاربرد برای نبراسکا، آریزونا، آلمان و لهستان
- ۱۹۴ ۱-۴-۶. پیش‌بینی آماری طولانی‌مدت اندیس خشک‌سالی در نبراسکا و لهستان
- ۱۹۶ ۱-۱-۴-۶. نتایج نبراسکا
- ۱۹۷ ۲-۱-۴-۶. نتایج لهستان
- ۱۹۸ ۲-۴-۶. پیش‌بینی آماری بلندمدت بارش در لهستان، آریزونا و آلمان
- ۱۹۸ ۱-۲-۴-۶. نتایج لهستان
- ۲۰۳ ۲-۲-۴-۶. نتایج آریزونا
- ۲۰۴ ۳-۲-۴-۶. نتایج آلمان
- ۲۰۷ ۵-۶. بحث و نتیجه‌گیری‌ها

۲۱۵	فصل ۷. تحلیل مفهوم رسمی (صوری) در زمین شناسی
۲۱۵	۱-۷. مقدمه
۲۱۵	۱-۱-۷. داده‌های مستقیماً قابل مشاهده: اشیا و خواص آنها
۲۱۵	۲-۱-۷. تحلیل: کشف وابستگی‌های صفات مخفی و مفاهیم طبیعی
۲۱۶	۲-۷. تحلیل مفهوم رسمی (صوری): چه و چرا
۲۱۶	۱-۲-۷. منشأ
۲۱۷	۲-۲-۷. طرح غیر رسمی (تجرباتی)
۲۱۸	۳-۲-۷. کشف مفاهیم طبیعی که در داده‌ها پنهان شده‌اند
۲۲۲	۵-۲-۷. وابستگی‌های صفات
۲۲۲	۶-۲-۷. موضوعات مربوط به ابهام (fuzziness) و تشابه
۲۲۳	۳-۷. تحلیل مفهوم رسمی داده‌های فازی: یک گردش داده‌شده (guided tour)
۲۲۳	۱-۳-۷. زمینه‌ی فازی و مفاهیم فازی: داده‌های ورودی و مفاهیم پنهان
۲۲۸	۲-۳-۷. شبکه‌های مفهوم فازی: سلسله‌مراتب مفاهیم پنهان
۲۳۰	۳-۳-۷. استلزامهای صفت
۲۳۳	۴-۷. تشابه و دقت منطقی
۲۳۳	۱-۴-۷. روابط تشابه
۲۳۶	۲-۴-۷. تشابه اشیا و تشابه صفات
۲۳۷	۳-۴-۷. تشابه مفاهیم
۲۳۹	۴-۴-۷. تشابهات سازگار و تجزیه (به عوامل)
۲۴۲	۵-۴-۷. تشابه شبکه‌های مفهوم
۲۴۳	۶-۴-۷. دقت منطقی
۲۴۶	۵-۷. نمایش تحلیل مفهوم رسمی: مثالها

۲۴۶	مثال ۷-۱۰.....
۲۶۹	فصل ۸. منطق فازی و پژوهش درباره‌ی زلزله.....
۲۶۹	۱-۱. مقدمه.....
۲۷۱	۲-۸. اصطلاحات فنی اساسی در پژوهش زلزله.....
۲۷۱	۱-۲-۸. زلزله و لرزه‌شناسی.....
۲۷۴	۲-۲-۸. مهندسی زلزله.....
۲۷۵	۳-۸. منطق فازی در پیش‌بینی زلزله.....
۲۷۵	۱-۳-۸. روش مستقیم شناسایی انرژی فازی در پیش‌بینی زلزله.....
۲۷۵	۱-۱-۳-۸. روش کلی.....
۲۷۶	۱-۲-۳-۸. تحلیل و شناسایی فازی سازه‌های زلزله.....
۲۷۸	۲-۳-۸. الگوی فازی برای پیش‌بینی زلزله: اساساً از سیسهای زلزله‌خیزی.....
۲۸۰	۴-۸. منطق فازی در مهندسی زلزله.....
۲۸۰	۱-۴-۸. شدت زلزله‌ی فازی.....
۲۸۶	۲-۴-۸. تخمین‌زدن آسیب بر اثر زلزله با استفاده از منطق فازی.....
۲۹۱	۵-۸. شبکه‌های عصبی فازی ترکیبی (هیبرید) با روش پخش اطلاعات.....
۲۹۲	۱-۵-۸. روابط فازی که به وسیله‌ی روش پخش اطلاعات داده می‌شوند.....
۲۹۵	۲-۵-۸. هموارسازی الگو (Pattern Smoothing).....
۲۹۷	۳-۵-۸. روابط یادگیری به وسیله‌ی شبکه‌های عصبی BP.....
۲۹۷	۴-۵-۸. کاربرد.....
۳۰۳	۶-۸. نتیجه‌گیری و بحث.....
۳۱۱	فصل ۹. تبدیل فازی: کاربرد به شکل رشد آبسنگ.....

۳۱۱ ۱-۹. مقدمه

۳۱۱ ۲-۹. رهنمونها

۳۱۲ ۳-۹. بخش‌بندی فازی مجموع

۳۱۹ ۵-۹. تبدیل معکوس F

۳۲۴ ۶-۹. حل تقریبی مسأله‌ی کوچی

۳۲۴ ۱-۶-۹. روش معمّم یافته‌ی اوپلر

۳۲۹ ۲-۶-۹. روش معمّم یافته‌ی بلر-کوچی

۳۳۱ ۷-۹. مدل رشد آبستگ و ۱-۱. استخراج سطح دریا

۳۳۶ ۸-۹. نتیجه‌گیریها

۳۳۹ فصل ۱۰. تخمین‌زدن سطح دریای قدیمی

۳۳۹ ۱-۱۰. مقدمه

۳۴۱ ۲-۱۰. فنون ویژه‌ی منطق فازی

۳۴۱ ۱-۲-۱۰. طرح روشها

۳۴۳ ۲-۲-۱۰. نظریه‌ی ارزیابی عبارات زبانی

۳۴۳ ۱-۲-۲-۱۰. مؤلفه‌های عبارات زبانی ارزیابی‌کننده

۳۴۶ ۲-۲-۲-۱۰. معناشناسی عبارات زبانی ارزیابی‌کننده

۳۵۴ ۳-۲-۲-۱۰. یافتن عبارت مناسب

۳۵۵ ۳-۲-۱۰. توضیح زبانی و استنتاج منطقی

۳۵۵ ۱-۳-۲-۱۰. تفسیر توضیح زبانی

۳۵۶ ۲-۳-۲-۱۰. غیرفازی‌سازی

۳۵۸ ۳-۳-۲-۱۰. استنتاج منطقی

۳۶۰ ۴-۳-۲-۱۰. یادگیری توضیح زبانی از داده‌ها

۳۶۱	 ۴-۲-۱۰. تبدیل فازی
۳۶۲	 ۱-۴-۲-۱۰. تبدیل فازی مستقیم
۳۶۳	 ۲-۴-۲-۱۰. تبدیل فازی معکوس
۳۶۳	 ۳-۴-۲-۱۰. استنتاج منطقی هموار
۳۶۵	 ۳-۱۰. تعیین خودکار توابعهای سنگ
۳۶۵	 ۱-۳-۱۰. تعیین ویژگی زمین‌شناختی
۳۶۶	 ۲-۳-۱۰. قوانین آبی و الگوریتم فازی
۳۶۹	 ۳-۳-۱۰. نتایج آزمایشها
۳۷۰	 ۱-۳-۳-۱۰. داده‌های G۱
۳۷۱	 ۲-۳-۳-۱۰. داده‌های D۱
۳۷۱	 ۴-۱۰. تخمین زدن سطح دریا
۳۷۸	 ۵-۱۰. نتیجه‌گیری
۳۹۱	 واژگان انگلیسی - فارسی
۴۰۲	 واژگان فارسی - انگلیسی
۴۱۳	 نمایه‌ها

فصل ۱. مقدمه

به طور معمول، علوم، مهندسی و ریاضیات، اساساً علاقه‌ای به مطالعه‌ی عدم قطعیت (uncertainty) نشان نداده‌اند؛ آن، نامطلوب در نظر گرفته می‌شد و حذف آن، ایده‌آل تلقی می‌گردید. در حقیقت، حذف عدم قطعیت از علوم با عنوان دکترین پیشرفت، در نظر گرفته می‌شد. این نگرش به عدم قطعیت، که قبل از قرن ۲۰، غالب بود به وسیله‌ی بعضی توسعه‌ها در نیمه‌ی اول آن قرن، با چالش جدی مواجه گردید. در میان آنها، می‌توان ظواهر مکانیک آماری (statistical mechanics)، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ (Heisenberg) در مکانیک کوانتوم و نظریه‌های گودل (Godel)، که عدم قطعیت ذاتی سامانه‌های رسمی ریاضی را برقرار کردند، نام برد. علی‌رغم این توسعه‌ها، در نیمه‌ی اول قرن ۲۰، نگرش قدیمی به سمت عدم قطعیت، بسیار کم و به تدریج تغییر کرد. در حالیکه عدم قطعیت در مکانیک آماری و در بعضی نواحی دیگر (مانند حرفه‌ی آمارگیری (actuarial) یا طراحی مراکز تلفن در مقیاس بزرگ)، مفید یا حتی اساسی تشخیص داده شد ولی مدت زمان زیادی طول کشید تا نظریه‌ی احتمال (Probability theory) قلمرو کامل عدم قطعیت را بپذیرد.

تساوی فرضی بین عدم قطعیت و احتمال، فقط در نیمه‌ی دوم قرن ۲۰ به چالش کشیده شد. چالش، از دو کلیت (generalizations) در ریاضیات نشأت گرفت. اولاً، تعمیم نظریه‌ی معیار کلاسیک [۶] به نظریه‌ی معیارهای یکنواخت، (monotone measures) اولین بار به وسیله‌ی یکی از پژوهشگران [۳]، در نظریه‌ی ظرفیتهای وی پیشنهاد گردید. دومی، تعمیم نظریه‌ی مجموعه‌ی کلاسیک با الزامات ضعیف‌تر یکنواختی (montonocity) نسبت به شمول مجموعه‌ای (set inclusion)، جایزین می‌شود. در نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی، شرایط مرزهای دقیق مجموعه‌های کلاسیک، ره می‌شود یعنی، عضویت (membership) یک شیئی در یک مجموعه‌ی فازی موضوع قبول یابد، چون در مورد تمام مجموعه‌های کلاسیک، این حالت صحت دارد، نمی‌باشد ولی در کل، یک موضوع مربوط به درجه (degree) است.

برای علل تاریخچه‌ای کم‌اهمیت، معیارهای یکنواخت، اغلب در آثار چابی به صورت "معیارهای فازی (fuzzy measures)" مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۳]. این اسم، چون مجموعه‌های فازی در تعریف معیارهای یکنواخت درگیر نمی‌باشند، تا حدودی گمراه‌کننده است. به هر حال، معیارهای یکنواخت، می‌توانند فازی شوند (یعنی، بر روی مجموعه‌های فازی تعریف شوند)، که به طبقه‌ی عمومی‌تری از معیارهای یکنواخت—"معیارهای یکنواخت فازی"—منجر می‌شود [۲۳] و ضمیمه‌ی E.

همانطور که معروف است، اساس نظریه‌ی احتمال، نظریه‌ی معیار کلاسیک است، که به نوبه بر پایه‌ی نظریه‌ی مجموعه‌ی کلاسیک قرار دارد [۶]. وقتی که معیارهای کلاسیک، با نوعی از معیارهای

یکنواخت و مجموعه‌های کلاسیک، با نوعی از مجموعه‌های فازی جایگزین می‌شوند، شبکه‌ی احتمال، به دست می‌آید. این، نشان می‌دهد که دو کلیت، زمینه‌ی وسیعی را برای شکل‌دادن عدم قطعیت فراهم نموده‌اند. در حال حاضر، فقط بخش نسبتاً کوچکی از این زمینه به طور کافی کشف شده است [۱۴] و [۱۱].

رهاسازی عدم قطعیت، از نظریه‌ی احتمال، راه‌های جدید و گران قیمت‌تر نشان‌دادن دانش علمی را باز کرده است. دانش علمی، بر حسب انواع مختلفی از سامانه‌ها (یا طبقات در نظریه‌ی طبقات ریاضی)، تنظیم می‌شود [۱۳ و ۱۲]. در کل، سامانه‌ها به صورت روابط بین حالات بعضی متغیرها، در نظر گرفته می‌شوند. برای اهداف مختلفی (پیش‌بینی، گذشته‌پژوهی، (retrodiction)، تجویز، تشخیص، کنترل و غیره)، ساخته می‌شوند. در هر سامانه، برای تعیین حالات مجهول بعضی از متغیرها بر اساس حالات معلوم بعضی از متغیرها، دیگر روابط آن، مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. سامانه‌هایی که در آنها، حالات مجهول به طور منحصربه‌ردی تعیین می‌گردند، قطعی (معین) (deterministic) نامیده می‌شوند؛ تمام سامانه‌های دیگر، ناقطعی (نامعین) (nondeterministic)، نامیده می‌شوند.

طبق تعریف دیگر، هر سامانه ناقطعی، نوعی عدم قطعیت را درگیر می‌کند. این عدم قطعیت، به هدفی مربوط می‌شود که سامانه برای آن هدف ساخته شده است. در نتیجه، تشخیص بین عدم قطعیت پیش‌بینی‌کننده، عدم قطعیت گذشته‌پژوهی، عدم قطعیت تشخیص و غیره، امری طبیعی است. در هر سامانه‌ی نامعین، عدم قطعیت مربوطه، باید با یک زبان رسمی به طور مناسبی در توضیح سامانه شامل گردد. در نتیجه، شناخت دامنه‌ی کامل عدم قطعیت برای شناختن با سامانه‌های نامعین، امری اساسی، محسوب می‌گردد.

وقتی که سامانه‌ای برای هدف معینی ساخته می‌شود، هدف نهایی، به دست‌آوردن سامانه‌ای است که تا حد امکان برای این هدف مفید باشد. یعنی، سامانه‌ای با مختصات مناسبی از سه ویژگی بنیادی سامانه‌ها ساخته شود: اعتبار (باورپذیری) (credibility)، پیچیدگی (complexity) و عدم قطعیت. به طور ایده‌آل، دوست داریم سامانه‌ای با اعتبار بالا، پیچیدگی و عدم قطعیت پایین، به دست آوریم. متأسفانه این سه معیار با یکدیگر در تناقض می‌باشند. برای دستیابی به مفیدبودن بالای سامانه، معاوضه‌ی درست بین سه ویژگی بنیادی، ضروری می‌باشد.

رابطه‌ی بین اعتبار، پیچیدگی و عدم قطعیت، کاملاً بفرنج است و هنوز به طور کامل درک نشده است. به هر حال، به خوبی به اثبات رسیده است که عدم قطعیت در هر فعالیتی، برای به حداکثر رساندن سودمندی سامانه‌های ساخته شده، نقش کلیدی دارد. اگرچه معمولاً عدم قطعیت وقتی که به تنهایی در نظر گرفته می‌شود، نامطلوب جلوه می‌کند ولی وقتی که در رابطه با اعتبار و پیچیدگی سامانه‌ها در نظر گرفته می‌شود بسیار ارزشمند خواهد بود. افزایش جزئی عدم قطعیت مربوطه، اغلب، پیچیدگی را به طور

قابل ملاحظه‌ای و همزمان، اعتبار سامانه را افزایش می‌دهد. در نتیجه، عدم قطعیت در تجارب دانش، کالای مهمی است. کالایی که می‌تواند برای افزایش ویژگیهای اساسی دیگر سامانه‌هایی که با آنها، دانش را نشان می‌دهیم، معامله شود. به علت این نقش مهم، عدم قطعیت در علوم و مهندسی، بیش از این به عنوان امر مزاحم غیرقابل برهیز، در نظر گرفته نمی‌شود بلکه به عنوان ذخیره‌ی مهمی در نظر گرفته می‌شود که اجازه می‌دهد با مسائلی که سامانه‌های بسیار پیچیده را درگیر می‌کنند کنار بیاییم.

موضوع مورد بحث ما، این است که معیارهای یکپارخت و مجموعه‌های فازی (و همچنین نظریه‌های مختلف عدم قطعیت، که با این کلیت برجسته، در ریاضیات مطرح شده) با علم زمین‌شناسی، بسیار مرتبط می‌باشند و کاربرد آنها در زمین‌شناسی، باید در طول سالیان متمادی، به طور جدی مورد مطالعه قرار گیرد. هدف کتاب نشان دادن این نکته با تمرکز بر نقش نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و به ویژه منطق فازی مرتبط در زمین‌شناسی، است.

اصطلاح "منطق فازی" به نیت دارای دو معنی مشخص است: (۱) به صورت تعمیم منطقهای چندارزشی کلاسیک (قدیمی) در هر گونه زمینه می‌شود: توسعه‌ی جنبه‌های ترکیبی (syntactic aspects) (بر اساس عقیده‌ی اثبات) و جنبه‌های لغوی (semantic) (بر اساس عقیده‌ی درستی (truth)) محاسبه‌ی (calculus) منطقی مربوطه را مدنظر قرار می‌دهد. (۲) منطقی فازی، به صورت سامانه‌ای از مفاهیم، اصول و روشها برای کنار آمدن با روش‌های استدلالی، که به جای کامل، تقریبی می‌باشند در نظر گرفته می‌شود. چون هدف تحقیق درباره‌ی منطق فازی در معنی (۱) راه‌نمودن منطق فازی در منحنی (۲) با شالوده‌های درست می‌باشد، دو معنی به هم مرتبط می‌شوند. در این کتاب، فقط منطق فازی با توجه به معنی (۲)، که در فصل ۲ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نقش آن در زمین‌شناسی، که موضوع فصلهای ۳ تا ۱۰ می‌باشد، مدنظر خواهد بود.

از نظر علمی، همانطور که هنوز به طور غالب شناخته می‌شود، ایده‌های مجموعه‌ی فازی و گزاره‌ی فازی (fuzzy proposition)، به میزان زیادی اساسی می‌باشند. پس از پذیرفتن، باید منطق دوطرفیتی کلاسیک (classical bivalent logic)، که عموماً فرض می‌گردد، ستون اصلی علوم است، کنار گذاشته شود. در مقابل، منطقی به دست می‌آوریم که در آن، ضرورتی ندارد گزاره‌ها درست یا غلط باشند، بلکه ممکن است تا درجات مختلفی، درست یا غلط باشند. در نتیجه، بعضی قوانین منطق دوطرفیتی، مانند قانون میانه‌ی ناشمول (excluded middle) یا قانون تناقض (contradiction)، بیش از این صادق نمی‌باشند. در نگاه اول، به نظر می‌رسد این با هدف علوم در تضاد باشد. به هر حال، این صحت ندارد. حداقل چهار علت وجود دارند که اجازه می‌دهند درجات عضویت در مجموعه‌ها و درجات درستی گزاره‌ها، روش‌شناسی علمی را به میزان قابل ملاحظه‌ای تقویت کند.

۱- مجموعه‌های فازی و گزاره‌های فازی، برای به دست آوردن عدم قطعیت‌های نتیجه، کاربرد آنها، بل بین مدل‌های ریاضی و حقیقت فیزیکی مرتبط را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌بخشد. در مورد خطاهای اجتناب‌ناپذیری که در اندازه‌گیری‌ها رخ می‌دهند، به اثبات رسیده است که داده‌های فازی همیشه دقیق‌تر از همتهای قطعی (crisp) (یعنی، نافازی) می‌باشند. داده‌های قطعی هر متغیر، بر اساس بخش‌بندی (partition) مجموعه‌ای حالت متغیر، استوار می‌باشند. درشتی (coarseness) این بخش‌بندی، به وسیله قدرت تفکیک وسیله اندازه‌گیری مورد استفاده، تعیین می‌شود. اندازه‌گیریهایی که در بلوک مشابه بخش‌بندی، قرار می‌گیرند، بدون توجه به موقعیت آنها در درون بلوک، در داده‌ای تعمی قابل تشخیص نخواهند بود. در نتیجه، برای مثال، اندازه‌گیری‌ای که در نقطه‌ای وسط بلوک است، از آنهایی که در مرزها با بلوکهای مجاور قرار دارند، قابل تشخیص نمی‌باشد. در حالیکه ایی بدن قطعیت است، مشروط بر اینکه بلوک، نسبت به قدرت تفکیک وسیله اندازه‌گیری مورد استفاده، به اندازه‌ای کافی بزرگ باشد، آخری، بر اثر خطاهای اندازه‌گیری اجتناب‌پذیر، عدم قطعیت قابل ملاحظه‌ای را درگیر می‌کند. این تمایز بنیادی داده‌های قطعی، اصلاً مشاهده نمی‌شود. برعکس، داده‌های فازی می‌توانند این و تمایزهای اندازه‌گیری دیگر از این نوع را برحسب درجات عضویت مشخص کنند. از این نظر، داده‌های فازی، دقیق‌تر از داده‌های قطعی می‌باشند. درجات عضویت، که داده‌های فازی را همراهی می‌کنند، عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری غیرمستقیم پایداری را بیان می‌نمایند. هنگام فرایند داده‌های فازی، درجات عضویت نیز فرایند می‌شوند. این، دلالت می‌کند که تمام نتایج به دست آمده از این فرایندکردن، (از نظر تجربی) دقیق‌تر از همتهای آنها می‌باشند که با فرایندکردن داده‌های قطعی با دقت کمتر، به دست می‌آیند.

۲- یکی از ویژگیهای مهم منطق فازی، توانایی گرفتن ابهام (linguistic vagueness) (linguistic) در عباراتی است که در زبانهای طبیعی بیان می‌شوند. ابهام علامت (یک اصطلاح زبانی) در یک زبان معین، از وجود اشیایی نشأت می‌گیرد که تصمیم‌گیری درباره‌ی اینکه آیا این علامت، با توجه به عاداتهای زبانی جامعه‌ای که زبان را مورد استفاده قرار می‌دهند، در مورد آنها به کار برده می‌شود یا خیر، ذاتاً غیرممکن می‌باشد. یعنی، ابهام، نوعی عدم قطعیت است که از نبود اطلاعات، نشأت نمی‌گیرد بلکه از معانی نادقیق اصطلاحات زبانی، که در زبانهای طبیعی به طور ویژه فراوان می‌باشند، حاصل می‌شود. نظریه‌ی مجموعه‌ی کلاسیک و منطق دوطرفیتی کلاسیک، توانایی بیان عدم دقت معانی اصطلاحات مبهم را ندارند. بنابراین، گزاره‌ها در زبان طبیعی که حاوی اصطلاحات مبهم می‌باشند، از قبل غیرعلمی در نظر گرفته می‌شدند. به هر حال، این نظر شامل زمین‌شناسی، به میزان بسیار زیادی

محدودکننده می‌باشد. همانطور که به طور رو به افزایشی در بسیاری از نواحی علوم، تشخیص داده شده است، زبان طبیعی، اغلب، تنها راهی است که در آن، دانش معنی‌دار می‌تواند بیان شود.

۳- مجموعه‌های فازی و گزاره‌های فازی، برای مدیریت پیچیدگی و کنترل هزینه‌های محاسباتی، ابزاری قوی می‌باشند. این، عمدتاً بر اثر دانه‌سازی (granulation) متغیرهای سامانه‌ها، که شریک فازی کوانتش (quantization) کلاسیک متغیرها بوده است، می‌باشد. در کوانتش، حالات یک متغیر معین به زیرمجموعه‌ها (کوانت‌ها)، که دوبعدی (pairwise) مجزاً (disjoint) بوده است، گروه‌بندی می‌شوند. هدف کوانتیده‌کردن دانه‌سازی، این است که دقت را با وظیفه‌ی معین، سازگار کند. مزیت دانه‌سازی، برخلاف کوانتش، این است که انتقال‌های تدریجی از هر دانه به دانه‌های مجاور را ممکن می‌سازد. در کوانتش، انتقال از یک گروه به دیگری همیشه ناگهانی و بنابراین، نسبتاً سطحی است. برای تنظیم دقت سامانه‌ها، وقتی آن، احتیاج باشد، دانه‌سازی، نسبت به کوانتش، روش بهتری محسوب می‌شود.

۴- دستگاه نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و منطق فازی، توانایی‌های مدل‌سازی استدلال احساس مشترک انسان، تصمیم‌گیری و جنبه‌های دیگر، معرفت انسان را تقویت می‌کند. این توانایی‌ها برای کسب دانش از تخصص‌های انسان، برای نشان‌دادن و استعاری دانش در سامانه‌های خبره (expert systems)، به روشی مانند انسان و عموماً برای طراحی و ساخت ماشین‌های با هوش بالای دوستدار انسان، اساسی می‌باشند. مجموعه‌های فازی و گزاره‌های فازی برای مطالعه‌ی استدلال، تصمیم‌گیری و عمل انسان، که بر اساس ادراکات، به جای اندازه‌گیرها، استوار می‌باشد، نیز اساسی خواهند بود.

اشتراک مساعی (synergy) تمام این توانایی‌ها، باعث شده است که نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و منطق فازی در دو دهه‌ی گذشته در بسیاری از کاربردهای مهندسی، بسیار موفق عمل کند. مشهودترین کاربردها در ناحیه‌ی کنترل، در محدوده‌ی سامانه‌های کنترل ساده، محاسبات مصرف‌کنندگان (ماشین‌های لباس‌شویی، هوشمند، جاروهای برقی، دوربین‌های ثبت‌کننده و غیره)، سامانه‌های کنترل بسیار چالش‌برانگیز، مانند کنترل بالگرد بدون خلبان، از طریق ارتباط بی‌سیم دستورات بیان شده بر حسب زبان طبیعی، بوده است. کاربردهای به طور برابر موفق ولی کمتر قابل مشاهده، در نواحی پایگاه داده‌ها و سامانه‌های بازیافت اطلاعات، سامانه‌های خبره، تصمیم‌گیری، تشخیص الگو و خوشه‌سازی (clustering)، پردازش تصاویر و بینایی رایانه‌ای، تولید، روباتیک، حمل و نقل، تحلیل‌های خطر و اعتماد و چندین ناحیه‌ی مهندسی دیگر، بوده است. در حقیقت، تمام رشته‌های مهندسی به وسیله‌ی نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و منطق فازی، به طور مثبت تأثیرپذیر شده‌اند.

در علوم، کاربردهای نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و منطق فازی، نسبت به مهندسی، با سرعت کمتری پیشرفت کرده است؛ در علوم، فقط بعضی از نواحی، پیشرفت داشته‌اند. اگر اساسی بودن ایده‌های

مجموعه‌ی فازی و گزارش‌های فازی تشخیص داده شود، گفته‌ی فوق قابل درک خواهد بود. با این وصف، کاربردهای موفق در بسیاری از نواحی علوم نشان داده شده‌اند. کاربردها در فیزیک کوانتوم [۱۷ و ۱۲]، شیمی [۱۹]، زیست‌شناسی [۲۲]، جغرافیا [۴]، بوم‌شناسی (ecology) [۱۶]، زبان‌شناسی [۱۸]، اقتصاد [۱]، روانشناسی [۲۵] و علوم اجتماعی [۲۱]، از جمله‌ی مثال‌ها می‌باشند. در زمین‌شناسی، کاربرد نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و منطق فازی، در اواخر سال‌های ۱۹۹۰، تشخیص داده شد ولی تعداد مقالات چاپ شده که با کاربردهای منطق فازی در زمین‌شناسی سروکار دارند در حال حاضر قابل ملاحظه است و با سرعت رشد می‌کند (فصل ۴). این نشان‌دهنده‌ی مشخصی است که کاربرد منطق فازی در زمین‌شناسی، دارای پتانسیل بالایی است. بگیزه‌ی ما برای چاپ این کتاب، کمک به توسعه‌ی این پتانسیل است.

مهم است که تشخیص داده شود، نظریه‌ی مجموعه‌ی فازی و منطق فازی، نه تنها ابزاری هستند که به ما کمک می‌کنند با مسائل مشکل در علوم، مهندسی و ناحیه‌های تخصصی دیگر، کنار بیاییم، بلکه چهارچوب مفهومی‌ای فراهم می‌کند که راه‌های اساساً جدید تفکر را به ما یاد می‌دهند. مرزهای دقیق مجموعه‌های کلاسیک و درس‌های مطلق (absolute truth) یا تئوری‌های گزاره‌های کلاسیک، تحت تفکر جدید، در صورت مجازبودن، هنوز امکان پذیر می‌باشند ولی آنها به صورت حالات محدودکننده، به جای تنها ممکن‌ها، در نظر گرفته می‌شوند. تفکر حسب عبارات مطلق، با تفکر بر حسب عبارات نسبی، جایگزین شده است. همه چیز بر حسب درجه بیان می‌شود. این تغییر تفکر، بدون شک راه‌های جدید و تصفیه‌شده‌تری از نگرش موضوعات قدیمی معرفت‌شناسی (epistemology)، اخلاق (ethic)، قانون، خطا، مشی اجتماعی (social policy) و ناحیه‌های دیگری که بیانیه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، باز خواهد کرد.

ظهور نظریه‌ی مجموعه فازی و منطق فازی و تأثیر آنها بر ریاضیات و منطق و همچنین علوم و نواحی وابسته به علوم ارتباطات انسانی، دارای تمام ویژگی‌های بارز یک تغییر پارادایم (paradigm)، را نشان می‌دهند، همانطور که در کتاب بسیار تأثیرپذیر به وسعت توماس کوهن (Thomas Kuhn) [۱۹۶۲]، معرفی شده است، دارا می‌باشند. چون منطق برای تمام شاخه‌های ریاضیات و همچنین علوم، اساسی تلقی می‌گردد، این تغییر پارادایم، دلالت‌های بسیار وسیع‌تری نسبت به آنهایی که عموماً در تاریخچه‌ی علوم و ریاضیات، که هر کدام فقط ناحیه‌ی ویژه‌ای از علوم یا ریاضیات را تحت تأثیر قرار می‌دهند، تشخیص داده شده، دارند. در نتیجه، اطلاق آن، به صورت "تغییر پارادایم بزرگ"، مناسب می‌باشد. ویژگی‌های بخصوص متفاوت این تغییر پارادایم، که هنوز ادامه دارد، توسط بعضی از پژوهشگران مورد بحث قرار گرفته است [۹ و ۸ و ۷]، عموماً پذیرفته شده است که این تغییر پارادایم، به وسیله مقاله‌ی اصلی پروفسور لطفی‌زاده [۲۴] شروع شد. به هر حال، ایده‌های زیادی که به منطق فازی مربوط می‌شوند، قبل از مقاله‌ی لطفی‌زاده به چاپ رسیده بودند. متأسفانه این ایده‌ها در آن زمان نادیده گرفته شدند [۱۰].

این کتاب، سه هدف را دنبال می‌کند: (i) بررسی چگونگی کاربرد قبلی منطق فازی در بعضی از نواحی زمین‌شناسی (ii) تحریک توسعه کاربردهای منطق فازی در نواحی دیگر زمین‌شناسی و (iii) تحریک کاربرد ابزار اضافی منطق فازی در زمین‌شناسی. موضوعاتی که در فصلهای ۲ تا ۱۰ پوشش داده شده‌اند، به دقت انتخاب شده است تا این هدف را به انجام برساند. مرور مختصری از این موضوعات، در زیر ارایه می‌گردد.

فصل ۲، مرور مختصری از منطق فازی در مفهوم کلی (broad sense) و برای کسانی که با منطق فازی آشنا نیستند، نوشته شده است. این فصل، نه تنها اجزای منطق فازی را که در فصلهای بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند، پوشش می‌دهد بلکه شامل اجزای اضافی می‌شود که امکانات کاربرد جدید در زمین‌شناسی را ارائه می‌دهد. از آن گذشته، این فصل، اصطلاحات فنی و علایمی را که در سرتاسر کتاب به طور یکنواخت پیگیری می‌شوند، معرفی می‌کند.

فصل ۳، دو هدف را دنبال می‌کند: (i) علل استفاده از منطق فازی در زمین‌شناسی را مورد بحث قرار می‌دهد و (ii) کاربرد منطق فازی، در زمین‌شناسی را با ارایه مثالهای ساده، ترسیم می‌کند. برای زمین‌شناسان، بعضی از علایم منطقی فازی که در فصل ۲ معرفی شده‌اند، بر حسب تفاسیر زمین‌شناختی ساده، بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرند. بر این پژوهش‌ها از منطق فازی، فصل، نوعی کتاب درسی است که موضوعات مورد توجه زمین‌شناسی را معرفی می‌کند.

فصل ۴، مرور جامع کاربردهای معروف فعلی منطق فازی در زمین‌شناسی، می‌باشد. آن، عمدتاً یک کتاب‌شناسی تفسیری است که به ۹ طبقه‌ی زیر، گردبند شده است: (۱) آب‌شناسی سطحی (۲) آب‌شناسی زیرزمینی (۳) ارزیابی خطر آب زیرزمینی (۴) مهندسی زمین‌شناسی (geotechnical) (۵) اکتشاف هیدروکربن (۶) لرزه‌شناسی (seismology) (۷) علوم مربوط به زمین و توسعه‌ی منظره (۸) نهشت رسوبات و (۹) کاربردهای گوناگون. علاوه بر این، نقش منطق فازی در مفهوم وسیع‌تر محاسبه‌ی نرم (soft computing) به طور مختصر مطرح شده است. هدف این فصل، در دسترس قراردادن منابع مفید برای مطالعه‌ی بیشتر کاربردهای برقرار شده‌ی منطق فازی در زمین‌شناسی، گاهی در محدوده‌ی وسیع‌تر محاسبه‌ی نرم، می‌باشد.

هر کدام از شش فصل باقیمانده‌ی کتاب، کاربردهای منطق فازی را در ناحیه‌ی ویژه‌ی زمین‌شناسی به طور عمیق مورد توجه قرار می‌دهند. کاربرد منطق فازی به مدل‌سازی چینه‌شناختی (stratigraphic)، از طریق چندین مطالعه‌ی موردی، در فصل ۵، نشان داده شده است. فصل ۵، شبیه‌سازیهای چینه‌شناختی دوبعدی و سه‌بعدی، که منطق فازی را برای مدل‌سازی تولید رسوب، سایش رسوب، حمل رسوب و نهشت رسوب، مورد استفاده قرار می‌دهند، توضیح می‌دهد. نشان داده شده است که منطق فازی، نسبت به حل عددی مرسوم معادلات دیفرانسیل پیچیده‌ی زوج (coupled)، که به طور

معمول برای مدل‌سازی پراکندگی رسوب در مدل‌های چینه‌شناختی، مورد استفاده قرار می‌گیرند، جایگزین به آسانی قابل انطباق و از نظر محاسباتی قوی می‌باشد.

فصل ۶، کاربرد منطق فازی در آب‌شناسی و منابع آب را مورد بررسی قرار می‌دهد. اینها نواحی‌ای از زمین‌شناسی هستند که کاربردهای منطق فازی به خوبی استقرار یافته است. پس از ارزیابی کاربردهای مختلف منطق فازی در این ناحیه‌ها، یک ناحیه‌ی آب‌شناسی برای توضیح کاربرد منطق فازی با جزئیات، انتخاب می‌شود: ناحیه‌ی مدل‌سازی آبی-اقلیمی حدهای آب‌شناختی (یعنی، خشک‌سالیها (droughts) و بارش شدید). نتایج ۴ ناحیه (آریزونا، بنراسکا، آلمان، لهستان) و تحت ۳ اقلیم مختلف (نیمه‌خشک، خشک و قاره‌ای مرطوب)، پیشنهاد می‌کنند که کاربرد منطق فازی برای پیش‌بینی خواص آماری بارش ماهانه و شاخص خشک‌سالی از نیروی مشترک الگوهای چرخشهای بزرگ (macrocirculation) و غلات ENSO، موفق عمل می‌کند.

هدف فصل ۷، رهیافتی در مدل مفهوم رسمی داده‌های فازی و کشف کاربردهای آتی آن در زمین‌شناسی (geology) و دیرینه‌شناسی (paleontology) می‌باشد. تحلیل مفهوم رسمی، تحلیل داده‌ها بر حسب اهداف و خواص آنها را مد نظر قرار می‌دهد و می‌تواند به سوالاتی مانند (i) مفاهیم طبیعی که در داده‌های خاص شیئی پنهان شده‌اند (برای مثال، طبقات مهم موجودات، کانیها یا سنگواره‌ها) کدامند؟ یا (ii) وابستگی‌هایی که در داده‌های خاص شیئی پنهان وجود دارند، کدامند؟ پاسخ دهد. تحلیل مفهوم رسمی فازی‌شده، که ابزار روش‌شناختی نسبتاً جدیدی است، به تفصیل توضیح و با ذکر مثالی از دیرینه‌شناسی، ترسیم شده است.

فصل ۸، بررسی کاملی از نقش منطق فازی در زلزله‌شناسی و بعضی از نواحی، به طور نزدیک مرتبط می‌باشد. اصطلاح‌شناسی فنی اساسی لرزه‌شناسی برای کمک به این نواحی که با ناحیه‌ی زمین‌شناسی آشنا نیستند، معرفی شده است. تمرکز فصل بر روی کاربردهای منطق فازی در نواحی دیگر ریاضیات فازی تا پیش‌بینی زلزله، ارزیابی شدت زلزله، ارزیابی آسیب توسط زمین‌لرزه و ارتباطی، رابطه بین ناحیه‌ی هم‌لرزه (isoseismal) و بزرگی زلزله، می‌باشد.

دو فصل آخر کتاب، ایده‌های جدیدی را که از منطق فازی نشأت می‌گیرند و می‌توانند در محدوده‌ی وسیعی از مسائل زمین‌شناختی به کار برده شوند، کشف می‌کند. این فصل‌ها، نیاز به پیچیدگی ریاضی دارند ولی از این نظر که پژوهشگر با مثالهای اولیه و ویژه‌ی کاربردها آشنا می‌شود، خودکفا خواهند بود. فصل ۹، فنّ عددی جدیدی را - تبدیل فازی (fuzzy transformation) - که باعث می‌شود توابع پیچیده، در مرتبه‌ی بالا، تخمین زده شوند، توضیح می‌دهد. از این گذشته، دستکاریهای مفید (مانند انتگرال‌گیری عددی)، در تعدادی از موارد، برای اصطلاحات تبدیل‌شده، آسانتر از اصطلاحات اولیه می‌باشند. این فن، آنگاه به حلّ یک معادله‌ی دیفرانسیل معمولی، که برای مدل‌سازی طولانی‌مدت رشد

آبسنگ (reef)، تحت رژیم سطح دریای متغیر، مورد استفاده قرار می‌گیرد، به کار برده می‌شود. فصل ۱۰، مثالی از منطق فازی را در اختیار قرار می‌دهد که نشان می‌دهد، منطق فازی، می‌تواند به آنچه که قبلاً فقط توضیحات و تفاسیر پدیده‌های زمین‌شناختی بودند، از نظر ریاضی رسمیت بخشد. در این حالت، یک برنامه‌ی رایانه‌ای که از "عبارات ارزیابی" بر پایه‌ی مجموعه‌ی فازی تخصصی، استفاده می‌کند، برای تقلید از "قوانین" زمین‌شناختی زبانی، در تقسیم بخشهای اندازه‌گیری شده‌ی پالئوزوئیک سنگ آهک به درون سلسله مراتب چرخه‌های مختلف و تفسیر آن چرخه‌ها بر حسب سطح دریای قدیمی، آموزش داده می‌شود.

منابع

1. Billot, A. [۱۹۹۲], *Economic Theory of Fuzzy Equilibria*, Springer-Verlag, New York.
2. Cattaneo, G. [۱۹۹۳], "Fuzzy quantum logic II: The logics of unsharp quantum mechanics." *International Journal of Theoretical Physics*, ۳۲(۱۰), ۱۷۰۹-۱۷۳۴.
3. Choquet, G. [۱۹۵۲-۵۴], "Theory of capacities." *Annales de L'Institut Fourier*, ۵, ۱۳۱-۲۹۵.
4. Gale, S. [۱۹۷۲], "Inexactness, fuzzy sets and the foundations of behavioral geography." *Geographical Analysis*, ۴, ۳۳۷-۳۴۹.
5. Hajek, P. [۱۹۹۸], *Metamathematics of Fuzzy Logic*, Kluwer, Boston, MA.
6. Halmos, P. R. [۱۹۵۰], *Measure Theory*, Van Nostrand, Princeton, NJ.
7. Klir, G. J. [۱۹۹۵], "From classical sets to fuzzy sets: a grand paradigm shift." In: Wang, P. P. (ed.), *Advances in Fuzzy Theory and Technology*, Vol. III, pp. ۳-۳۰. Duke University, Durham, NC.
8. Klir, G. J. [۱۹۹۷], "From classical mathematics to fuzzy mathematics: emergence of a new paradigm for theoretical science." In: Rouvray, D. H. (ed.), *Fuzzy Logic in Chemistry*, pp. ۳۱-۵۰. Academic Press, San Diego, CA.
9. Klir, G. J. [۲۰۰۰], *Fuzzy Sets: An Overview of Fundamentals, Applications, and Personal Views*, Beijing Normal University Press, Beijing, China.
10. Klir, G. J. [۲۰۰۱], "Foundations of fuzzy set theory and fuzzy logic: A historical overview." *International Journal of General Systems*, ۳۰(۲), ۹۱-۱۳۲.
11. Klir, G. J. [۲۰۰۲], "Uncertainty-based information." In: Melo-Pinto and H.-N. Teodorescu (eds.), *Systemic Organisation of Information in Fuzzy Systems*, pp. ۲۱-۵۲. IOS Press, Amsterdam.
12. Klir, G. J., & Elias, D. [۲۰۰۳], *Architecture of Systems Problem Solving* (۲nd edition), Kluwer/Plenum, New York.
13. Klir, G. J., & Rozehnal, I. [۱۹۹۶], "Epistemological categories of systems: an overview." *International Journal of General Systems*, ۲۴(۱-۲), ۲۰۷-۲۲۴.
14. Klir, G. J., & Wierman, M. J. [۱۹۹۹], *Uncertainty-Based Information: Elements of Generalized Information Theory* (۲nd edition), Physica-Verlag/Springer-Verlag, Heidelberg and New York.