

کاربرد سیستم‌های هوشمند شبکه عصبی و نروفازی در علوم زمین

مهرنوش علی پور شهسواری، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

ساره صدیق، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

حسین معماریان، استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

بهزاد تخم‌چی، استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

برای حل بسیاری از مسائل پیچیده در دنیای امروز که اغلب غیردقیق بوده و با عدم قطعیت همراه هستند، به سیستم‌های هوشمندی نیاز است که بتوانند ترکیبی از دانش، تکنیک‌ها و روش‌ها را از منابع مختلف به‌کار گیرند. چنین سیستم‌های هوشمندی باید همانند انسان قدرت استدلال داشته باشند و بتوانند خود را با تغییرات محیطی تطبیق دهند. همچنین امکان یادگیری برای بهبود عملکرد خود را داشته باشند و بتوانند چگونگی تصمیم‌گیری و عملکرد خود را شرح دهند. مزیت مهم روش‌های هوشمند این است که مبتنی بر قواعد هستند. به همین دلیل در آنها از ریاضیات مبتنی بر قواعد و روش‌های محاسباتی، مانند شبکه‌های عصبی و سیستم‌های نروفازی، استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی با الگوبرداری از سیستم عصبی موجودات زنده، توانایی ایجاد ارتباط بین پارامترهای گوناگون و محاسبه مدل ریاضی مناسب بین این پارامترها را دارند و این امر موجب کاهش پیچیدگی روابط ریاضی حاکم بر مدل‌ها و نیز صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها می‌شود. ترکیب این روش با منطق فازی نیز منجر به ایجاد سیستم‌های هوشمند ترکیبی شده است که سعی در بهره‌گیری از نقاط قوت روش‌های مذکور و از بین بردن نقاط ضعف آنها دارد. در این مقاله سعی شده است تا علاوه بر معرفی روش‌های مختلف شبکه‌های عصبی و سیستم‌های نروفازی، کاربرد آنها در علوم زمین به ویژه رشته مهندسی معدن و نفت به اختصار شرح داده شود.

کلید واژه‌ها: علوم زمین، مهندسی معدن، سیستم‌های هوشمند، سیستم‌های نروفازی، شبکه عصبی.

۱- مقدمه

جمله می‌توان به تفسیر و پردازش داده‌های لرزه‌ای، چاه‌پیمایی، مهندسی نفت و گاز، تعیین مناطق محتمل برای اکتشاف منابع معدنی، تحلیل خطر در لرزه سنجی، برآورد پارامترهای مخزنی مانند تخلخل و تراوایی، ژئوفیزیک اکتشافی (کسب اطلاعات سرعت صوت در لایه‌ها)، فرآوری مواد معدنی (مدل‌سازی هیدروسیکلون و مدل‌سازی عملیات فلوتاسیون)، مکانیک سنگ (تعیین میزان نفوذپذیری سازند) و دورسنجی اشاره کرد. به عنوان مثال می‌توان از کارهای پژوهشی محققان همچون شکر

به دلیل ماهیت پیچیده زمین و عدم امکان پیش‌بینی قطعی ویژگی‌های آن، در برخورد با بسیاری از پدیده‌های مرتبط با علوم زمین، امکان استفاده از تکنیک‌های هوشمند وجود دارد. از آنجا که این روش‌ها قابلیت یادگیری دارند، در اغلب موارد به خوبی می‌توانند مسائل پیچیده و غیرخطی زمین‌شناسی را حل کنند. امروزه تکنیک‌های شبکه عصبی، سیستم‌های نروفازی و منطق فازی، کاربرد وسیعی در علوم زمین پیدا کرده‌اند که از آن

[۱] (۲۰۰۴)، عبدالرحیم و همکاران (۲۰۰۷)، غفوری و همکاران (۲۰۰۸)، الاتانجی و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه پیش بینی تراوایی از داده‌های نگارهای پتروفیزیکی با استفاده از منطق فازی نام برد [۲]. کدخدایی - ایلچی و همکاران (۲۰۰۹) مدل هوشمندی را براساس سیستم‌های فازی برای ایجاد یک فرمولاسیون کمی بین ویژگی‌های لرزه‌ای و داده‌های پتروفیزیکی ارائه کردند [۳]. همچنین در سال‌های اخیر، با استفاده از منطق فازی مطالعات بسیاری بر روی ویژگی‌های مخازنی که شکستگی‌های طبیعی دارند، انجام شده است.

در این مقاله ابتدا شبکه‌های عصبی و ساختارشان شرح داده شده، سپس به توصیف نحوه یادگیری در شبکه‌های عصبی پرداخته شده و نیز کاربرد شبکه‌های عصبی در علوم زمین مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش دوم مقاله، شبکه‌های نروفازی و ویژگی‌های آنها شرح داده شده و در پایان نیز به بررسی کاربرد این سیستم‌ها در علوم زمین پرداخته شده است.

۲- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام از سیستم‌های عصبی بیولوژیکی، قابلیت پردازش اطلاعات را دارند. شبکه‌های عصبی مصنوعی از تعدادی واحد پردازش متصل به هم به نام نرون تشکیل شده‌اند. توانایی بسیار مهم شبکه‌های عصبی قابلیت یادگیری است. قابلیت یادگیری در شبکه‌های عصبی همانند انسان با استفاده از مثال صورت می‌گیرد، زمانی که با سیستم‌هایی روبه‌رو هستیم که رفتار آنها کاملاً پیچیده است و تنها اطلاعات عددی از سیستم در دست است، می‌توان از شبکه عصبی برای مدل سازی استفاده کرد.

همان‌طور که گفته شد مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های عصبی، قابلیت یادگیری، تعمیم و تطبیق آنها است. بدین معنا که پس از آنکه مثال‌های اولیه به شبکه آموزش داده شد، شبکه این قابلیت را دارد که در مقابل یک ورودی آموزش داده نشده، قرار بگیرد و یک خروجی مناسب را ارائه کند. در شبکه‌های عصبی هر سلول به‌طور مستقل عمل می‌کند و رفتار کلی شبکه، برآیند رفتار محلی سلول‌ها است [۴].

عدم ارائه توضیح در مورد پاسخ‌ها، عمده‌ترین ایرادی است

که به شبکه‌های عصبی وارد می‌شود. در واقع، شبکه‌های عصبی ابزاری مناسب برای مسائلی هستند که در آنها جواب‌ها، مهم‌تر از درک روابط علت و معلولی است. علاوه بر این، هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب ارائه شده توسط شبکه، بهترین پاسخ ممکن باشد. برای رفع این مشکل ابتدا باید به وسیله داده‌های موجود، مناسب بودن مدل فراهم شده را سنجید و سپس آن را بر روی داده‌های جدید به‌کار برد.

مک کالک و والتر پیترز در اوایل دهه ۴۰ قرن بیستم نشان دادند که شبکه‌های عصبی می‌توانند هر تابع حسابی و منطقی را محاسبه کنند و این آغاز دیدگاهی جدید در رابطه با شبکه‌های عصبی بود [۵]. از شبکه‌های عصبی برای پیاده‌سازی توابع پیچیده در زمینه‌های مختلف از جمله تشخیص الگو، تشخیص هویت، طبقه‌بندی، پردازش شنیداری و تصویری و سیستم‌های کنترلی استفاده می‌شود. امروزه از شبکه‌های عصبی برای حل مسائل دشواری که حل آنها با کامپیوترهای معمولی و انسان‌ها دشوار است، استفاده می‌کنند.

۲-۱- ساختار شبکه‌های عصبی

ساختار شبکه‌های عصبی از ۵ قسمت کلی تشکیل شده است:

- ۱- تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه
- ۲- تعداد لایه‌های شبکه
- ۳- چگونگی اتصال لایه‌ها به یکدیگر
- ۴- تابع تبدیل هر لایه
- ۵- تعداد نرون‌های هر لایه.

نرون: کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. نرون‌های شبکه عصبی، مدل‌های ریاضی هستند و معمولاً شامل یک تابع استاتیکی با چند ورودی و یک خروجی هستند. هر یک از ورودی‌ها در مقادیر وزن مربوط به خود ضرب و سپس وارد نرون می‌شود. مقادیر وزن دار شده ورودی‌ها در یک تابع انتقال با هم جمع و از دورن یک تابع که معمولاً غیرخطی است، عبور داده می‌شود. به این تابع، تابع محرک یا تابع فعال سازی گفته می‌شود. در شکل ۱ مدل ریاضی نرون نشان داده شده است.

$$a = \text{logsig}(n) = \frac{1}{1+e^{-n}}$$

ث - تابع محرک تانژانت هیپربولیکی:

$$a = \text{tansig}(n) = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$$

ج - تابع محرک با پایه شعاعی:

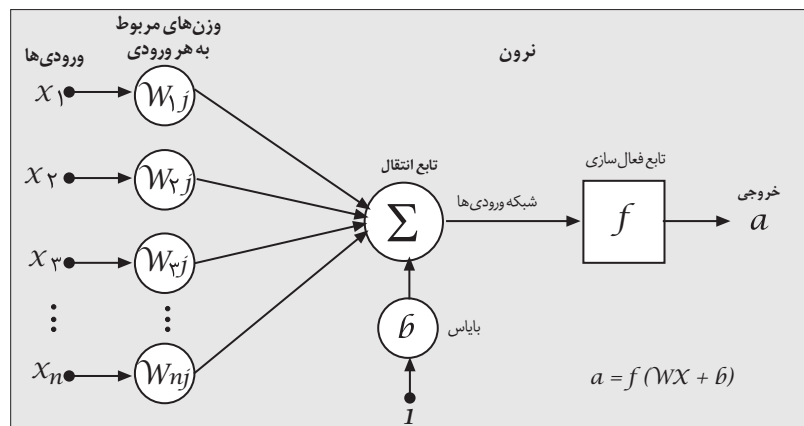
$$a = \text{radbas}(n) = e^{-n^2}$$

توابع محرک ذکر شده، در شکل ۲ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱، pi ها ورودی و a خروجی است. میزان تاثیر pi ها بر روی a به وسیله w_i ها (مقادیر وزن) تعیین می شود. ورودی دیگر، مقدار ثابت یک است که در b یا "بایاس" ضرب شده و سپس با مقادیر وزن دار شده ورودی ها در عضو جمع کننده، جمع می شود. خروجی نهایی نرون به صورت معادله زیر خواهد بود:

$$a = f(Wp + b)$$

که در آن ماتریس W ، شامل مقادیر وزن و بردار p در بردارنده تمامی ورودی ها است.



شکل ۱ - مدل ریاضی نرون [۶]

۲-۲- لایه های یک شبکه عصبی

دو یا چند نرون می توانند با هم در یک لایه قرار گیرند. یک شبکه شامل یک یا چند لایه است. زمانی که یک شبکه عصبی با چندین لایه وجود داشته باشد، هر لایه به طور جداگانه دارای ماتریس وزن، بردار بایاس و بردار خروجی است.

به ورودی های شبکه عصبی، لایه ورودی یا صفر، به لایه خروجی نهایی، لایه خروجی و به سایر لایه ها، لایه های میانی یا پنهان می گویند. اگر حداقل یک سیگنال برگشتی از یک نرون به همان نرون یا نرون های همان لایه یا سایر لایه ها وجود داشته باشد، به این شبکه، شبکه بازگشتی می گویند، در غیر این صورت یک شبکه پسخور خواهیم داشت.

۲-۳- یادگیری در شبکه های عصبی

قانون یادگیری در شبکه های عصبی، روندی است که توسط

توابع محرک: توابع محرک نگاشت هایی هستند که ورودی خالص نرون را به یک فاصله که معمولاً در بازه $[-1, 1]$ یا $[0, 1]$ قرار دارد، می نگارند. توابع محرک خطی یا غیرخطی هستند و متداول ترین آنها در شش دسته کلی جای می گیرند که عبارتند از:

الف - تابع محرک آستانه ای دو مقداره:

$$a = \text{hardlim}(n) = \begin{cases} 0 & : n < 0 \\ 1 & : n \geq 0 \end{cases}$$

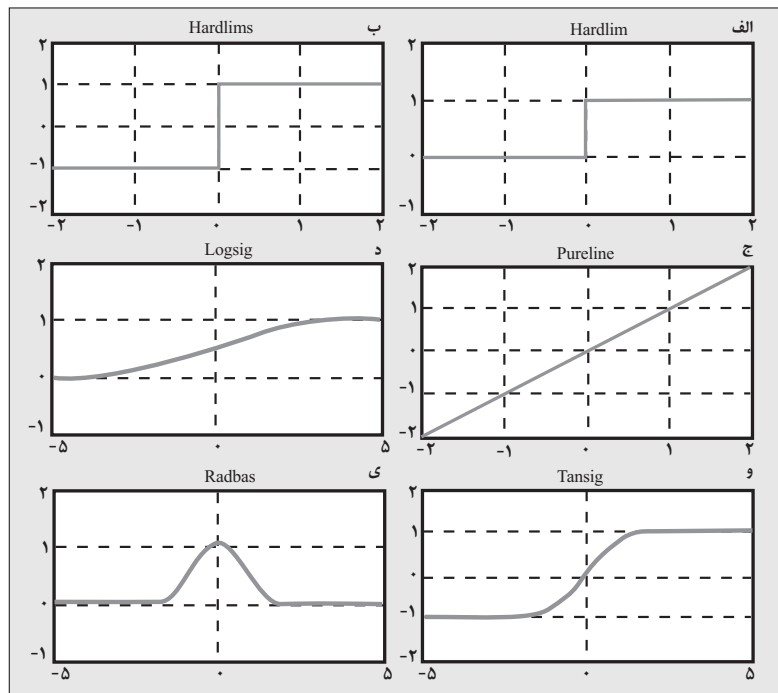
ب - تابع محرک آستانه ای دو مقداره متقارن:

$$a = \text{hardlim}(n) = \begin{cases} -1 & : n < 0 \\ 1 & : n \geq 0 \end{cases}$$

پ - تابع محرک خطی:

$$a = f(n) = \text{purelin}(n) = n$$

ت - تابع محرک سیگموئیدی:



شکل ۲- انواع توابع محرک، الف- تابع محرک آستانه‌ای دو مقدار، ب- تابع محرک آستانه‌ای دو مقدار متقارن، ج- تابع محرک خطی، د- تابع محرک سیگموئیدی، و- تابع محرک تانژانت هیپربولیکی و ی- تابع محرک با پایه شعاعی [۷]

نکردن جواب مطلوب، عددی که نشانگر مطلوبیت خروجی شبکه است، ارائه می‌شود [۸].

۲-۴- کاربرد شبکه‌های عصبی در علوم زمین

شبکه‌های عصبی معمولاً برای حل مسائلی به‌کار می‌روند که فرمول حل آنها ناشناخته است و ارتباط دقیق بین اجزا و پارامترهای مختلف به درستی مشخص نیست و با توجه به رفتار پیچیده زمین و نیز عدم شناخت ارتباط بین شاخص‌های مختلف آن، شبکه‌های عصبی قادر به پاسخ‌گویی مناسب در بیشتر مسائل مرتبط با آن هستند. به عنوان مثال، عوامل متعددی در شناسایی میزان نفوذپذیری سنگ‌های مخزن یک سد دخیل هستند. اطلاعاتی از قبیل تخلخل، جنس دانه‌ها، سیال پرکننده حفرات، محیط رسوبی و فشار منفذی همه از عوامل مؤثر در میزان نفوذپذیری هستند اما نحوه تأثیر این عوامل مشخص نیست. شبکه‌های عصبی با تجزیه و تحلیل پارامترهای فوق، امکان ایجاد یک مدل ریاضی را فراهم می‌کنند [۹].

تخمین ذخیره کانسار از دیگر موارد کاربرد شبکه‌های عصبی است. توزیع عیار ماده معدنی به عوامل بسیاری بستگی

آن ماتریس‌های وزن و بردارهای بایاس تنظیم می‌شوند. هدف قانون یادگیری، آموزش شبکه عصبی برای انجام کار مشخصی است. یعنی شبکه‌های عصبی در خلال آموزش، پس از هر بار تکرار الگوریتم یادگیری، از محیط، شرایط و هدف کار خود بیشتر مطلع می‌شوند. پس شبکه‌های عصبی، سیستم‌های یادگیر هستند و تنها با مشاهده عملکرد خود، می‌توانند رفتارشان را برای دستیابی به هدف و مقصدی خاص بهبود بخشند. رفتار سیستم‌های یادگیر توسط الگوریتم‌های بازگشتی تعیین می‌شود که به این الگوریتم‌ها قوانین بازگشتی می‌گویند.

به طور کلی الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی به سه دسته: یادگیری با ناظر، یادگیری بدون ناظر و یادگیری تقویتی یا تشدید تقسیم می‌شوند.

در یادگیری با ناظر، خروجی شبکه به ازاء ورودی‌های خاص، مشخص است. در یادگیری بدون ناظر، پارامترهای شبکه تنها با استفاده از مقادیر ورودی و خروجی شبکه تنظیم می‌شوند و خروجی مطلوب در دسترس نیست. این الگوریتم‌ها بیشتر برای خوشه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند. الگوریتم تشدید نوعی از یادگیری با ناظر است که در آن به جای فراهم

روابط حاکم بر آنها نیاز به مطالعات و تحقیق‌های وسیع در خصوص رفتار دینامیکی فرآیند داشته و عملی وقت‌گیر است. در چنین مواردی انواع شبکه‌های عصبی می‌توانند به منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندهای مختلف مورد استفاده قرار گیرند [۱۳]. به عنوان مثال در کارخانه‌های صنعتی به دلیل وسعت عملیات و تنوع فرآیندها و دستگاه‌های مورد استفاده، مدل‌سازی کارخانه، کاری دشوار و حتی در مواردی غیرممکن است. اما در مدل‌سازی به وسیله شبکه‌های عصبی، اگرچه اطلاع از ماهیت سیستم مفید است اما چندان ضروری نیست و تنها مقادیر اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. براین اساس شبکه‌های عصبی قابلیت بالایی در مدل‌سازی عملیات پیچیده‌ای همچون کارخانه‌های صنعتی دارند. در این حالت می‌توان از نوعی چشم الکترونیک بر روی فرآیندهای فلوتاسیون استفاده کرد که این چشم الکترونیک ویژگی‌های عملیات را از قبیل اندازه‌گیری حباب‌ها، رنگ و سایر عوامل متغیر را به شبکه انتقال داده و شبکه براساس آموزش‌هایی که از قبل دیده است، بهترین روش و راهکار را برای ادامه عملیات فلوتاسیون پیشنهاد می‌کند [۱۴].

۲-۵- مزایای شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی با قابلیت زیادی که در استنتاج معانی از داده‌های پیچیده دارند، می‌توانند برای استخراج الگوها و شناسایی روابطی که آگاهی از آنها برای انسان و دیگر تکنیک‌های کامپیوتری دشوار است، به کار گرفته شوند. شبکه‌های عصبی در حل طیف وسیعی از مسائل از قبیل تخمین، طبقه‌بندی و خوشه‌بندی شهرت دارند. مزیت‌های دیگر آن شامل موارد زیر است:

الف - روشی ساده و کم هزینه است.

ب - خود را با اطلاعاتی که در طول دوره یادگیری دریافت می‌کند، آموزش می‌دهد.

پ - محاسبات در آن می‌تواند به صورت موازی انجام شود. بنابراین در مقایسه با روش‌های سنتی قدرتمندتر بوده و در مسائل پیچیده، نتایج مطلوبی را ارائه می‌کند.

ت - می‌تواند از هر دو نوع متغیر پیوسته و گسسته استفاده کند.

دارد که تأثیر بسیاری از آنها شناخته شده نیست و در مدل‌های رایج ریاضی در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین در هر مدل‌سازی برای توزیع عیار کانسار، ساده‌سازی و فرضیاتی در مورد تغییرات فضایی صورت می‌گیرد، تقریباً در تمام روش‌های تخمین ذخیره فرض می‌شود که عیار، تابعی از فاصله است. به عبارت دیگر، فاصله تنها عاملی است که در تخمین ذخیره در نظر گرفته می‌شود؛ در حالی که عوامل دیگری مانند ساختار زمین‌شناسی، محیط تشکیل، شکل ذخیره، تیپ کانسار و درجه کانی‌سازی نیز از موارد تأثیرگذار بر روی عیار ماده معدنی و نحوه کانی‌سازی هستند.

همان‌طور که گفته شد مزیت شبکه عصبی استفاده از سیستم‌هایی پویا و غیرخطی است که قابلیت یادگیری دارند و در واقع تخمین‌گرهایی بدون مدل هستند که می‌توانند به طور غیرخطی نیز تخمین بزنند. این روش‌ها نیاز به فرضیاتی در مورد عوامل مؤثر در تغییرات فضایی عیار در اطراف یک کانی‌سازی و نیز مدل‌سازی پیچیده ریاضی ندارد و تنها محاسبات ساده‌ای را در مرحله آموزش، برای شناخت الگوی توزیع عیار انجام می‌دهند. روش‌های شبکه عصبی چون فرض خاصی را در رابطه با توزیع عیار در نظر نمی‌گیرند عموماً در رابطه با هر نوع توزیع عیاری می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. ورودی‌های شبکه عصبی که به منظور تخمین ذخیره به کار برده می‌شود، دارای مختصات فضایی (X, Y, Z) و سایر عوامل مرتبط با کانی‌زایی است و خروجی آن عیار در مختصات داده شده است. در واقع چنین شبکه‌ای قادر است ارتباط بین مختصات فضایی و عیار مرتبط با آن را شناسایی کرده و با منطق تعمیم برای سایر نقاط فضا، عیار را تخمین بزند [۱۰، ۱۱، ۱۲].

از دیگر کاربردهای شبکه عصبی می‌توان به کار آبی آن در فرآوری مواد معدنی اشاره کرد. بهینه‌سازی، کنترل و ارزیابی عملیات و فرآیندهای مختلف اغلب نیازمند در دست داشتن یک مدل دقیق، مناسب و همه جانبه است. برای ارائه چنین مدلی باید همه عوامل مؤثر در فرآیند شناسایی و تأثیر هم‌زمان این عوامل بر خروجی سیستم و نیز بر یکدیگر به طور دقیق مشخص شود. در رویارویی با فرآیندهای پیچیده‌ای که دارای چندین ورودی و خروجی هستند، تعیین متغیرهای اصلی سیستم و درک

ث - بارزترین مزیت آن در برآزش منحنی بر داده‌های به دست آمده از مشاهدات، در فضاها n بعدی است. کار برآزش از آن جهت برجسته است که در بسیاری از فعالیت‌های مهندسی لازم است میان تعدادی اطلاعات پراکنده، رابطه‌ای یافت شود.

۲-۶- معایب شبکه‌های عصبی

دو گام اصلی در به‌کارگیری شبکه‌های عصبی، مراحل گزینش و آموزش هستند. این مراحل مستقیماً بر اجرای کلی شبکه و در نتیجه بر نتایج، تأثیر می‌گذارند. چهار دلیل زیر می‌تواند موجب اجرای نادرست شبکه شود:

الف - ساختار نامناسب شبکه و تعداد بیش از حد نرون‌های لایه میانی خطر بیش برآزشی را به‌وجود می‌آورد. به منظور غلبه بر این مشکل، دسته داده‌های آموزشی به دو دسته داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی تقسیم می‌شوند. اعتبارسنجی اجرای خوب کل شبکه را تضمین می‌کند.

ب - با به‌کارگیری یک تابع نامناسب، شبکه می‌تواند به جای کمینه ناحیه‌ای، در دام کمینه محلی گیر بیفتد. برای جلوگیری از این مشکل می‌توان از واحد گشتاور (گشتاور مقداری ثابت بین ۰ و ۱ دارد) استفاده کرد که با میل بردار وزن به یک مقدار ثابت، همگرایی را افزایش می‌دهد.

پ - مهم‌ترین انتقادی که به شبکه‌های عصبی وارد می‌شود، عدم ارائه توضیح در مورد پاسخ‌ها است. در واقع، شبکه‌های عصبی ابزاری مناسب برای مسائلی هستند که در آنها جواب‌ها مهم‌تر از درک روابط علت و معلولی است.

ت - متأسفانه هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب ارائه شده توسط شبکه، بهترین مدل ممکن باشد. برای رفع این مشکل ابتدا باید به وسیله داده‌های موجود، مناسب بودن مدل فراهم شده را سنجید و سپس آن را بر روی داده‌های جدید به‌کار برد.

۳- سیستم‌های هوشمند ترکیبی

به منظور بهره‌گیری از نقاط قوت روش‌های هوشمند و نیز به منظور از بین بردن نقاط ضعف آنها، معمولاً از ترکیبی از دو یا چند سیستم هوشمند استفاده می‌شود که به آنها، سیستم‌های

هوشمند ترکیبی گفته می‌شود. معمول‌ترین ترکیب این سیستم‌ها، ترکیب سیستم‌های فازی با شبکه‌های عصبی است.

۳-۱- سیستم‌های نو-فازی

پایگاه اطلاعات در سیستم‌های فازی شامل پایگاه قواعد و پایگاه داده‌ها است. پایگاه قواعد شامل مجموعه قواعد اگر - آنگاه فازی و پایگاه داده‌ها شامل توابع یا ضرایب وزنی، عوامل مربوط به توابع عضویت و سایر شاخصه‌ها است. سیستم‌های فازی امکان استفاده از مهارت شخص خبره را، که به صورت قواعد اگر - آنگاه بیان می‌شود، در مدل‌سازی فراهم می‌سازند و قابلیت تفسیر هم دارند؛ به این معنی که عملکرد سیستم و تصمیم‌گیری‌های آن قابل شرح و تفسیر است. همچنین شاخصه‌های موجود در سیستم‌های فازی دارای مفهوم فیزیکی است. اما معمولاً سیستم‌های فازی طراحی شده با استفاده از دانش شخص خبره عملکرد مطلوبی ندارند و برای رسیدن به عملکرد مطلوب لازم است که ویژگی‌های آنها با استفاده از اطلاعات عددی تنظیم شود. همچنین مشخصه‌های سیستم فازی طراحی شده، ثابت بوده و ممکن است با تغییر در شرایط کاری موجود، سیستم قابلیت خود را از دست بدهد و عملکرد مطلوبی نداشته باشد.

همان‌طور که شرح داده شد، شبکه‌های عصبی سیستم‌های قدرتمندی در پردازش و استفاده از اطلاعات عددی هستند که می‌توانند با تنظیم پارامترهایشان خود را با تغییرات موجود در شرایط کاری تطبیق دهند ولی تفسیر عملکرد شبکه‌های عصبی در اکثر موارد غیر ممکن است. همچنین پارامترهای شبکه‌های عصبی مفهوم فیزیکی ندارند و مقداردهی اولیه آنها با استفاده از دانش موجود درباره مسئله امکان‌پذیر نیست.

برای بهره‌گیری از نقاط قوت سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی، می‌توان از آنها به صورت ترکیبی استفاده کرد. با این کار می‌توان از توانایی استدلال سیستم‌های فازی همراه با قدرت محاسباتی بالای شبکه‌های عصبی بهره جست. همچنین می‌توان از دانش شخص خبره درباره مسئله مورد نظر و اطلاعات عددی موجود به صورت توأم استفاده کرد. ترکیب سیستم‌های فازی با شبکه‌های عصبی امکان تعمیم دادن پارامترها در

۳-۳- ایجاد شبکه‌های نرو-فازی

برای ایجاد سیستم‌های نروفازی، هم می‌توان از دانش اولیه استفاده کرد و هم از داده‌هایی که در طی فرآیند حل مسئله به دست می‌آید. دانش اولیه می‌تواند دارای ماهیتی نسبتاً تقریبی (کیفی، مکاشفه‌ای) باشد. برای در کنار هم جمع کردن دانش اولیه و داده‌های فرآیند، دو روش اصلی قابل طرح است: الف - دانش خبره به صورت مجموعه‌ای از قواعد اگر - آنگاه فرموله شود. با این کار، مدل اولیه‌ای ایجاد می‌شود. سپس می‌توان با استفاده از داده‌ها، پارامترهای این مدل مانند توابع عضویت را به طور دقیق تنظیم کرد. ب - قواعد فازی از ابتدا با استفاده از داده‌های عددی ایجاد شود. در این صورت، مزیت استفاده از مدل نروفازی این است که امکان تعبیر نتایج به دست آمده را فراهم می‌کند (این امکان برای ساختارهای همانند شبکه‌های عصبی وجود ندارد). فرد خبره می‌تواند اطلاعات ذخیره شده در پایگاه قواعد را با دانش خود مقایسه، قواعد را اصلاح و یا برای گسترش اعتبار مدل، قواعد جدیدی به پایگاه قواعد اضافه کند.

لازم به ذکر است، بسته به مسئله مطرح شده، می‌توان ترکیبی از تکنیک‌های فوق را به کار گرفت [۱۸].

۳-۴- کاربرد سیستم‌های نرو-فازی در علوم زمین

همان‌طور که گفته شد سیستم‌های نرو-فازی قابلیت‌های سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی را به طور هم‌زمان دارند. نمونه‌ای از کاربرد این دسته از سیستم‌های هوشمند، پیش‌بینی تخلخل و تراوایی از روی لاگ‌های پتروفیزیکی است. در ادامه به اختصار نحوه محاسبه تخلخل و تراوایی با استفاده از این روش شرح داده شده است که در آن از آنالیز منحنی فازی براساس منطق فازی به منظور انتخاب بهترین نگار مرتبط با داده‌های تخلخل و تراوایی مغزه استفاده شده است. همچنین از شبکه عصبی نیز به عنوان یک روش رگرسیون غیرخطی برای بهبود تبدیل بین لاگ‌های چاه و اندازه‌گیرهای مغزه استفاده شده است. شکل ۳، نموداری کلی از روند مفروضات و اطلاعات در یک سیستم نرو-فازی را نشان می‌دهد.

سیستم فازی فراهم می‌کند و تعیین ساختار و مقدار دهی اولیه شاخص‌های شبکه عصبی را نیز آسان می‌سازد. همچنین ویژگی‌های سیستم ترکیبی دارای مفهوم فیزیکی هستند و عملکرد سیستم قابل تفسیر است [۱۵].

در ترکیب، سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی، برای افزایش قابلیت شبکه‌های عصبی از برخی ویژگی‌های فازی استفاده می‌شود. در شبکه‌های نرو-فازی معمولاً از مجموعه‌های فازی به عنوان ورودی، خروجی و یا وزن‌های شبکه عصبی استفاده می‌شود [۱۶]. گاهی اوقات هم از منطق فازی برای کنترل روند یادگیری در شبکه‌های عصبی استفاده می‌شود. رویکرد جدید در ترکیب سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی، رویکردی است که در آن یک سیستم استنتاج فازی در قالب یک شبکه عصبی پیاده می‌شود. بدین ترتیب یک سیستم فازی به وجود می‌آید که علاوه بر قابلیت‌های سیستم‌های فازی از توانایی‌های شبکه‌های عصبی نیز سود می‌برد. چنین سیستم‌هایی را معمولاً سیستم‌های نرو-فازی یا مدل‌های نرو-عصبی می‌نامند.

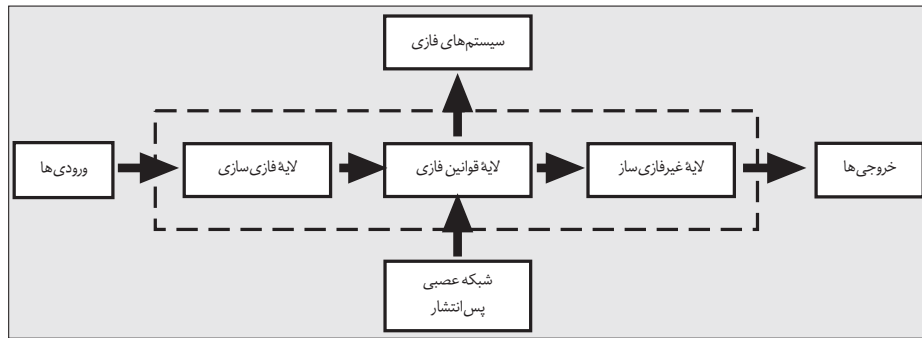
۳-۲- ویژگی‌های سیستم‌های نرو-فازی

انواع مختلفی از سیستم‌های فازی-عصبی معرفی شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند اما می‌توان گفت تمامی این سیستم‌ها، سیستم‌های استنتاج فازی هستند که در قالب شبکه‌های عصبی چندلایه پیشخور پیاده می‌شوند و پارامترهای سیستم فازی به عنوان وزن‌های شبکه عصبی در نظر گرفته می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی این سیستم‌ها عبارت است از: الف) برخورداری از توانایی استدلال سیستم‌های فازی و قدرت محاسباتی بالای شبکه‌های عصبی

ب) امکان استفاده از دانش شخص خبره، علاوه بر این امکان استفاده از داده‌های عددی حاصل از آزمایش را نیز برای بهبود عملکرد خود دارند.

پ) قابلیت تطبیق پذیری

ت) پارامترهای شبکه به وجود آمده توسط این سیستم‌ها دارای مفهوم فیزیکی هستند و می‌توان با استفاده از دانش موجود درباره مسئله به خوبی آنها را مقداردهی اولیه کرد [۱۷].



شکل ۳: نموداری از روند اطلاعات در یک سیستم نروفازی [۱۹]

عملگر "یا" (OR) استفاده می‌شود. عملگر OR در سیستم‌های فازی مشابه عملگر اشتراک در سیستم‌های غیرفازی است. لایه ۴: خروجی فازی؛ همان‌طور که گفته شد در سیستم‌های فازی با مقادیر بین ۰ و ۱ سروکار داریم. در این بخش نیز مقادیر فازی از کلاس‌ها وجود دارند. در واقع این مقادیر بیان می‌کنند که تا چه اندازه ورودی سیستم منطبق با کلاس‌ها است. لایه ۵: غیرفازی سازی؛ اگر کلاسه‌بندی قطعی مدنظر باشد، منطبق‌ترین کلاس برای ورودی (کلاسی که عدد فازی که به آن تعلق گرفته است بزرگ‌تر باشد) به عنوان کلاس خروجی انتخاب می‌شود.

داده‌های مورد استفاده برای تعیین تخلخل و تراوایی، داده‌های نگارهای چاه‌پیمایی پتروفیزیکی شامل پرتو گاما (GR)، صوتی (DT)، چگالی (ROHB)، مقاومت عمیق (RD)، نوترون (NPHI) و اشباع آب (SW) و نیز داده‌های مغزه (تخلخل و تراوایی مغزه) هستند.

معماری طبقه‌بندی‌کننده نرو-فازی اندکی با معماری استفاده شده در تقریب تابع متفاوت است. دو لایه اول دارای تابعی مشابه با تقریب هستند. شکل ۴، یک سیستم که از قوانین فازی زیر استفاده می‌کند را نشان می‌دهد.

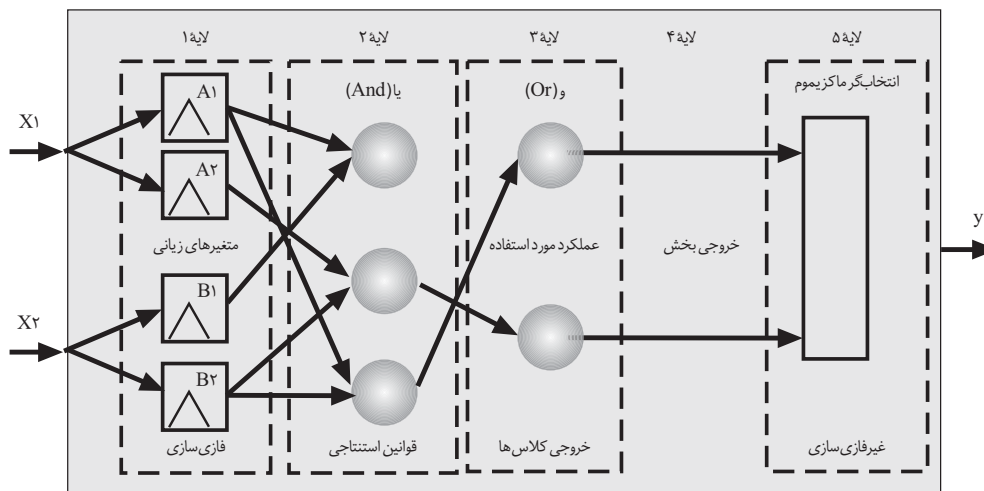
لایه ۱ و ۲: اگر X_1 برابر با A_1 باشد و X_2 برابر با B_1 باشد آنگاه در کلاس ۱ قرار می‌گیرند.

اگر X_1 برابر با A_2 باشد و X_2 برابر با B_2 باشد، آنگاه در کلاس ۲ قرار می‌گیرند.

اگر X_1 برابر با A_1 باشد و X_2 برابر با B_2 باشد، آنگاه در کلاس ۳ قرار می‌گیرند.

(در اینجا عملگر "و" یا "AND" برای ترکیب ورودی‌ها استفاده شده است. عملگر AND در سیستم‌های فازی، مشابه عملگر اجتماع در سیستم‌های غیرفازی است.

لایه ۳: ترکیب قوای تحریک؛ اگر نتیجه چندین قاعده فازی مختلف در یک کلاس مشابه قرار گیرد معمولاً در این لایه از



شکل ۴: ساختار عصبی یک کلاسیفای‌کننده نروفازی [۱۹]

تجربی یا فیزیکی مرتبط با پیچیدگی‌های مخزن برای ایجاد یک مدل دقیق و درست از یک سری داده‌اندازه‌گیری شده ندارد. براساس مدل نروفازی استفاده شده برای تخمین تخلخل و تراوایی، ضریب همبستگی بین داده‌های تخمین زده شده و مقادیر اندازه‌گیری شده بالای ۰.۸۰٪ است. پس این تکنیک هوشمند می‌تواند به عنوان ابزار قدرتمندی برای تخمین ویژگی‌های مخزن از نگارهای چاه در پروژه‌های توسعه مخازن نفت و گاز به کار رود [۱۹].

به عنوان مثالی دیگر از کاربرد سیستم‌های نرو-فازی در علوم زمین می‌توان به تخمین چگالی شکستگی با استفاده از داده‌های نگارهای پتروفیزیکی اشاره کرد. در این مثال با استفاده از داده‌های نگارهای پتروفیزیکی صوتی، مقاومت عمیق، تخلخل نوترون و چگالی بالک، مدلی برای تخمین داده‌های چگالی شکستگی‌ها معرفی شده است. مدل فازی سوگنو (a), و (b) سیستم استنتاج نرو-فازی تطبیقی مرتبط با آن در شکل ۶ نشان داده شده است.

سیستم نرو-فازی به کار رفته در این مطالعه، سیستم استنتاجی نرو-فازی تطبیقی است. آنالیز داده‌های استاتیکی همبستگی خوبی را بین چگالی شکستگی و داده‌های نگارهای چاه پیمایی نشان داد. روش پیشنهادی در این مقاله شامل دو مرحله اصلی است. قبل از ساختن هرمدلی، ابتدا دو سری داده برای چگالی شکستگی ایجاد می‌شود. اولین دسته شامل چگالی شکستگی‌ها بر متر، در دیوار چاه است که از تفسیر لاگ تصویری

فرآیند به کار رفته شامل مراحل زیر است:

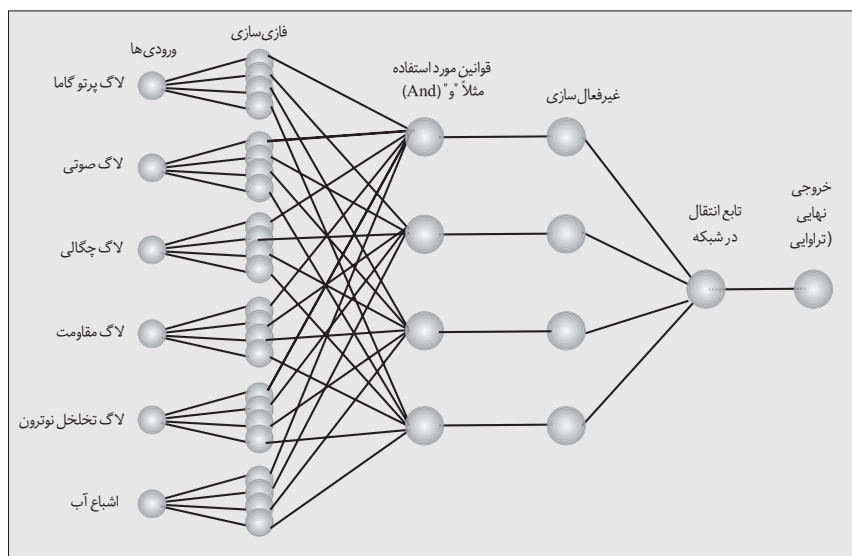
- حذف داده‌های خارج از رده و نادرست
- سازماندهی داده‌های ورودی (داده‌های نگارهای پتروفیزیکی) و داده‌های خروجی (تخلخل و تراوایی مغزه)
- نرمال کردن داده‌های ورودی و خروجی بین صفر و یک، تا بدین ترتیب داده‌ها بدون بعد شوند و اثر مقیاس از بین برود.
- تقسیم داده‌ها به سه بخش: داده‌های آموزش، داده‌های آزمون و داده‌های مقایسه

- خوشه‌بندی داده‌های ورودی و خروجی

- فازی سازی، که شامل تبدیل داده‌های عددی در حوزه واقعی به اعداد فازی در حوزه فازی است. این کار توسط سیستم استنتاج فازی که عبارت از تعیین تابع عضویت و تعیین قوانین فازی است، صورت می‌گیرد.

- غیرفازی سازی، که اختیاری و شامل تبدیل اعداد فازی به اعداد غیر فازی (اعداد در حوزه واقعی) است.

در نهایت مدل نرو-فازی برای تخلخل و تراوایی ساخته می‌شود. این مدل برای تراوایی در شکل ۵ نشان داده شده است. داده‌های ورودی با گره‌های سمت چپ و داده خروجی با گره سمت راست نشان داده شده است. در این شکل ابتدا از اپراتور AND فازی و سپس از اپراتور OR فازی استفاده شده است. رویکرد مدل سازی نروفازی دارای یک مزیت منحصر به فرد است؛ این رویکرد نیازی به هیچ فرض اولیه‌ای بر مبنای ملاحظات



شکل ۵: مدل نروفازی برای تراوایی [۱۹]

به دست می آید و دسته دوم شامل چگالی شکستگی های دسته - بندی شده است؛ کلاس اول شامل، ۰ تا ۲ شکستگی در هر متر است. کلاس دوم، ۳ تا ۴ بر متر و کلاس سوم بیشتر از ۴ شکستگی در هر متر دارد.

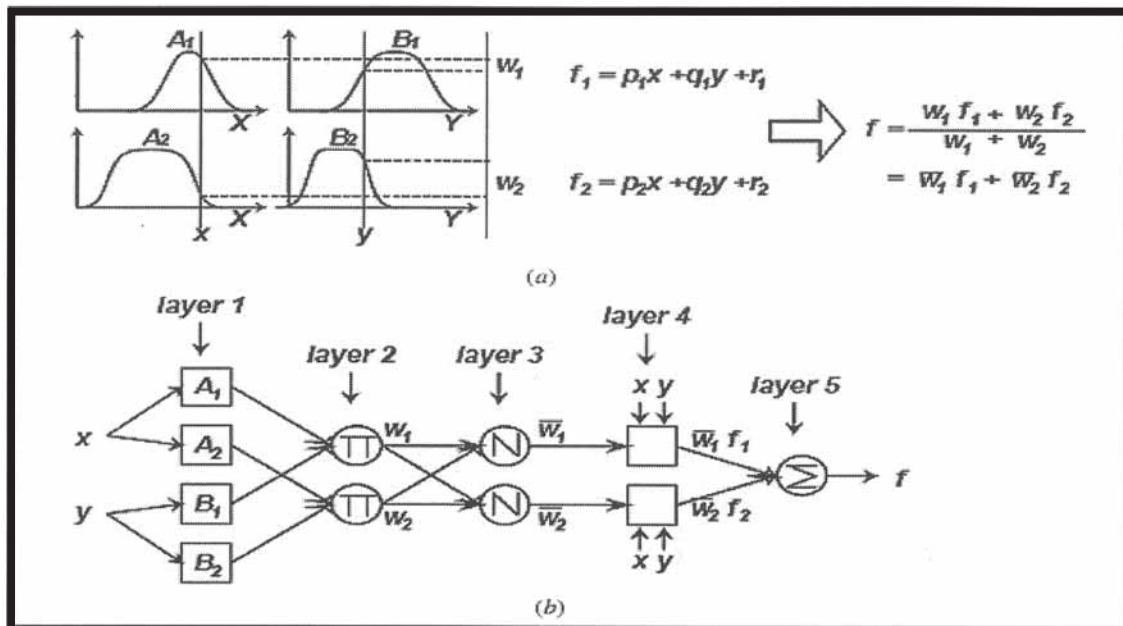
در مرحله اول، از مدار فازی چند ورودی و چند خروجی (MIMO) برای دسته بندی داده ها استفاده شد و در مرحله دوم، یک مدل ترکیبی چند ورودی و یک خروجی (MISO) برای چگالی شکستگی ها به کار گرفته شد. در نهایت مدل با داده های لاگ تصویری مقایسه شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داده که لاگ های پتروفیزیکی مانند صوتی (DT)، چگالی بالک (RHOB)، تخلخل نوترون (NPHI)، و مقاومت عمیق (Rd) ورودی های مناسبی برای به تصویر کشیدن چگالی شکستگی از داده های پتروفیزیکی هستند و استفاده از سیستم نرو- فازی قابلیت بالایی در تخمین چگالی شکستگی از خود نشان داد. نتایج به دست آمده از این مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه، دو فاکتور اصلی کرائی مدل استنتاج نرو- فازی پیشرفته را کنترل می کنند: ۱- پارامترهای مدل مانند تابع عضویت و قوانین فازی و نقاط آموزش.

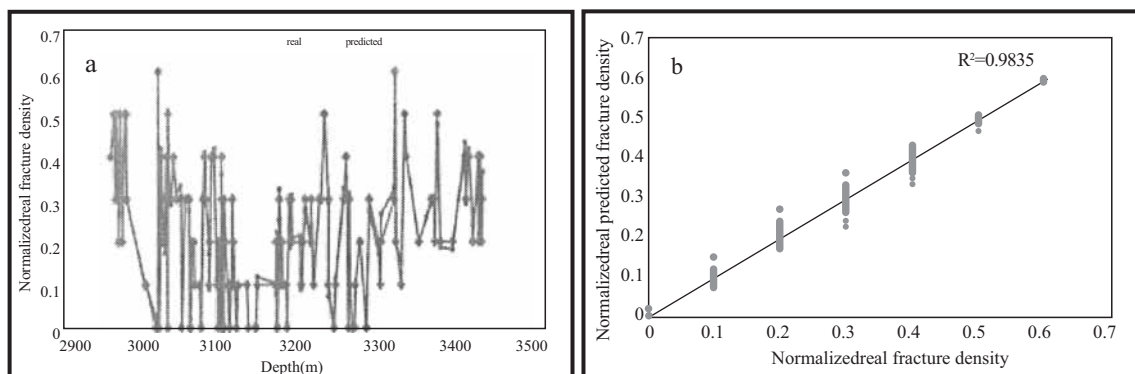
۲- ساختار داده، یعنی ارتباط بین ورودی ها و خروجی ها.

۴- نتیجه گیری

- ۱- در چند دهه اخیر استفاده از سیستم های هوشمندی همچون شبکه عصبی و شبکه های نروفازی، کاربرد گسترده ای در حل مسائل مختلف زمین و معدن پیدا کرده است.
- ۲- در حل مسائل مرتبط با علوم زمین و تصمیم گیری های اساسی و مهم، روش های مبتنی بر روش های هوشمند، امکان به کارگیری دانش افراد متخصص و اشخاص خبره را نیز دارند، از این رو عملکرد و تصمیم گیری هایشان قابل تفسیر است. همچنین روش های فوق قدرت محاسباتی و تطبیق پذیری بالایی دارند که می توان با بهینه سازی و انتخاب صحیح عملگرهای آنها، به نقاط بهینه کلی در مسائل مختلف دست یافت.
- ۳- تکنیک های هوشمند بیشتر از آنکه رقیب هم باشند، مکمل یکدیگر هستند و می توان با استفاده از ترکیب آنها از نقاط قوتشان به صورت توأم بهره برد و بر نقاط ضعفشان نیز غلبه کرد.
- ۴- کاربرد منطق فازی در علوم مهندسی سهم زیادی در



شکل ۶: مدل فازی سوگنو (a) و سیستم استنتاج نروفازی پیشرفته مرتبط با آن (b) [۲۰].



شکل ۷: مقایسه بین مقادیر چگالی شکستگی به دست آمده از روش فازی و مقادیر واقعی (a)، کراس پلات چگالی با روش ترکیبی فازی و داده‌های واقعی (b) [۲۰].

پردازش اطلاعات و استنتاج مفاهیم و اصول از بین داده‌های خام و مهارت شخصی در آن وجود ندارد. سیستم‌های استنتاج نرو - فازی اغلب قادر هستند این احتیاجات اساسی را به خوبی مرتفع همواره یکی از معایب این روش‌ها در مواقعی است که دانش خیره سازند.

منابع:

- [1] Shokir, E.M., 2004: "A novel model for permeability prediction in un-cored wells". SPE Asia Pacific Conference on Integrated Modeling for Asset Management, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [2] Olatungi, S.O., Selamat, A., Abdulraheem, A., 2011: "Modeling the permeability of carbonate reservoir using type-2 fuzzy logic systems". Comput. Ind.62.
- [3] Kadkhodaie-Ilkachi, A., Takahashi Monteiro, S., Ramos, F., Hatherly, P., 2010. "Rock recognition from MWD data: a comparative study of boosting, neural networks and fuzzy logic". IEEE Trans. Geosic. Remote Sens. Lett.No. 7.
- [۴] پورصمد. ا. ۱۳۸۳، کاربرد شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک در تنظیم سیستم‌های فازی، سمینار کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [5] McCulloch, W.S., Pitts, W., 1943. "Bulletin of mathematical biology, 5(4), 115-133.
- [6] Hagan, M.T., Demuth, H.B., Beale, M.H., 1996. "Neural Network Design". PWS Publishing, Boston.
- [7] Window, B., Lehr, M.A., 1990, "30 years of adaptive neural networks: Perceptron, Madaline and Backpropagation", in Proceeding of IEEE, 78(9), 1415-1442.
- [8] Sutton, R.S., Barto, A. G. 1998. Reinforcement learning: An introduction (Vol.1, No.1). Cambridge: MIT press.
- [9] Xiang, H., Shouju, L., Yingxi, L., Yuanpai, Z. 2004. Identification of permeability coefficient of rock mass in dam foundation based on genetic neural network. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 23(5), 751-757.
- [10] Chatterjee, S., Bhattacharjee, A., Samanta, B., & Pal, S. K. 2006. Ore grade estimation of

- a limestone deposit in India using an artificial neural network. Appl GIS, 2(1), 2-1.
- [11] Li, X. L., Guo, Q. J., Li, L..H.2010. **Adaptive ore grade estimation method for the mineral deposit evaluation. Mathematical and Computer modeling**, 52(11), 1947-1956.
- [12] Chaterjee, S., Bandopadhyay, S., Machuca, D. 2010. **Ore grade prediction using a genetic algorithm and clusteringbased ensemble neural network model. Mathematical Geosciences**, 42(3), 309-326.
- [13] Singh, V., Rao, S. M. 2005. **Application of image processing and radial basis neural network techniques for ore sorting and ore classification. Minerals Engineering**, 18(15), 1412-1420.
- [14] Tu, Y., Ai, G., Tao, X., & Fang, W. 2011, **Application of neural network in prediction model of flotation indicators. In Computer Research and Development (ICCRD)**, 2011 3th International Conference on IEEE , Vol. 4, pp.196-199.
- [15] Halgamuge, S.K., Mari, A., Glenser, M., 1994, **Fast perceptron learning by fuzzy controlled dynamic adaption of network parameters**, in Kruse, R., Gebhardt, J., Palm, R., editors, **Fuzzy systems in computer science**, pp. 129-139, vieweg Wiesbaden.
- [16] Hayashi, Y., Buckley, J.J., Czogala, E., 1993, **Fuzzy Neural networks from Fuzzy input and fuzzy targets in proc. 5th IFSA world Congr.**, Vol. I, pp.147-150.
- [17] Juang, C.F., Lin, C.T., 1998. **"An online self-Constructing neural fuzzy inference network and its applications"**, IEEE Trans. On Fuzzy Systems, 6(1), 12-32.
- [18] Vuorimaa. P., 1994, Fuzzy self-organizing map, **Fuzzy sets and systems**, Vol.66, pp,223-231.
- [19] Shahat, W., Ibrahim Hassan, A., 2010: **" Permeability and porosity Prediction from Wireline Logs Using Neuro-Fuzzy Technique"**. Ozean Journal of Applied Sciences, No. 3(1), ISSN 1943-2429.
- [20] Ja'fari, A., Kadkhodaei-likhchi, A., Sharghi, Y., Ghanavati, K., (2012): **" Fracture density estimation from petrophysical log data using the adaptive neuro fuzzy inference system"**. IOP Science, Journal of Geophysics and Engineering, NO.9.

اطلاعیه

به اطلاع خوانندگان محترم می‌رساند وب‌سایت جدید مجله نظام مهندسی معدن شروع به کار کرد. علاقمندان می‌توانند علاوه بر مشاهده آرشیو بخش‌های مختلف نشریه، نسخه الکترونیکی مجله را نیز به صورت اشتراک آنلاین دریافت کنند.

همچنین از این پس ارسال مقاله‌ها و داوری آنها به صورت الکترونیکی و از طریق سایت مجله انجام خواهد شد.