

مدل سازی مکانی مناطق اکتشاف نفتی با سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) در GIS

نورالدین میثاق^{۱*}، نجمه نیسانی سامانی^۲، عطااله عبدالهی کاکرودی^۳، سید کاظم علوی پناه^۴، عباس بحرودی^۵

- ۱- کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران
- ۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
- ۳- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
- ۴- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
- ۵- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده معدن، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۵/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۳

چکیده

فرآیند اکتشاف منابع هیدروکربنی فرآیندی بسیار پیچیده و پرهزینه می باشد. در این فرایند فاکتورهای متعدد زمین شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تهیه و باهم تلفیق می شوند. طراحی بهترین مسیر برای برداشت داده های لرزه نگاری و همچنین تعیین بهترین محل برای حفر چاه های اکتشافی از اهمیت ویژه ای برخوردار است، زیرا عدم دقت در انتخاب موقعیت مکانی، صرف هزینه و زمان زیاد در طول عملیات می باشد. هدف این تحقیق تعیین مناطق محتمل نفت و گاز در برکه ۱:۲۵۰۰۰۰ اهواز با ۲۰ میدان نفتی به منظور کاهش زمان و هزینه اکتشاف و تولید است بدین منظور ۱۷ نقشه ی فاکتور شامل: کمترین و بیشترین مقدار (غنا ی کربن آلی (TOC)، بازده پتانسیل برای تولید هیدروکربن (PP)، پیک دمایی Tmax، شاخص تولید (PI)، اندیس اکسیژن (OI)، اندیس هیدروژن (HI) و داده های مجاورت به مناطق دارای آنومالی باقیمانده ثقل بوگه بالا، محور طاقدی ها و گسل ها، نقشه ی ناهمواری و انحنا ی حاصل از منحنی های زیر سطحی سازند آسماری توسط توابع GIS ایجاد شدند. برای ترکیب نقشه های فاکتور، از سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی که از روش های داده مبنا می باشد، استفاده شد. نتایج حاصل از مدل سازی با داده های آزمون نشان داد که مدل مذکور با شاخص کاپای ۰/۸۵۹، همبستگی ۰/۸۳۹ و متوسط ریشه مربع خطا برابر با ۰/۳۹۹ توانسته است با دقت بالایی میدان های نفتی را پیش بینی کند، هر چند میدان های از قبیل شاور و سپهر شناسایی نشده و برخی قسمت ها نیز به اشتباه، مناطق نفتی پیش بینی شده اند.

واژه های کلیدی: اهواز، مدل سازی، ANFIS، GIS، میدان نفتی

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، میدان انقلاب، خیابان امیرآباد شمالی، کوی دانشگاه تهران

تلفن: ۰۹۱۴۹۹۲۷۸۵۶

۱- مقدمه

اگرچه شناسایی و تعیین محل فاکتورهای از قبیل سنگ مولد، سنگ مخزن و تله‌ی نفتی اساس کار اکتشاف را تشکیل می‌دهد ولی هنوز بسیاری از مسائل در زمینه‌های مختلف بدون پاسخ مانده است که علت عمده‌ی آن عدم دسترسی مستقیم به ذخایر نفتی در اعماق زمین است تعیین فاکتورهای چون مشخصات فیزیکی و شیمیایی نفت، مقدار ذخایر قابل برداشت، فشار درون مخزن و از همه مهمتر وجود یا عدم وجود نفت در مخزن زیرزمینی از جمله مسائلی است که از سطح زمین نمی‌توان در مورد آنها اظهار نظر نمود [۱]. بنابراین صرف شناسایی و مشخص نمودن عوامل و شرایط زمین‌شناسی مناسب، دلیل بر وجود نفت و ذخایر هیدروکربوری در زیر زمین نیست. تطبیق واقعیات زمین‌شناسی در سطح زمین با آنچه که در زیرزمین وجود دارد، همیشه مقدور نمی‌باشد، به این معنی که در اکثر مواقع هماهنگی زمین‌شناسی طبقات سطحی با بخش‌های عمیق زمین، به دلایل مختلف، برهم خورده است [۱]. از آنجا که منابع نفت در اعماق زمین یافت می‌شود، به طور قطع نمی‌توان محل تجمع آنها را در یک منطقه تعیین کرد. در نتیجه این موضوع که با صرف هزینه‌ای بالغ بر ۱۰۰ میلیون دلار برای حفر یک چاه اکتشافی به یک چاه خشک برخورد کند، وجود دارد [۲]. بنابراین طراحی بهترین مسیر برای برداشت داده‌های لرزه‌ای که با هزینه بسیار زیاد انجام می‌شود و همچنین تعیین بهترین محل برای حفر چاههای اکتشافی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا عدم دقت و ارزیابی درست می‌تواند هزینه‌های زیادی را اعمال کند و حتی پروژه اکتشاف را با مشکلات اساسی مواجه سازد.

در فرایند اکتشاف یا توسعه میادین نفتی، فاکتورهای متعدد زمین‌شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک تهیه و باهم تلفیق می‌شوند. امروزه

روش‌های پتانسیل‌یابی مکانی معمولاً در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی موسوم به GIS^۱ انجام می‌شود [۳]. سیستم اطلاعات جغرافیایی، امکان اخذ، ذخیره‌سازی، بازیابی، مدیریت، پردازش و نمایش داده‌های مکانی و توصیفی جهت پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های پایه‌گذاری شده براساس داده‌های مکانی را فراهم کرده و از ترکیب لایه‌های متفاوت داده‌ها با روش‌های مختلف و با دیدگاه‌های گوناگون، اطلاعات جدیدی را تولید می‌کند [۵،۴]. کاربردهای GIS تقریباً در دنیای اکتشاف نفت، جدید است. یک محیط GIS کارا با بکارگیری مجموعه ابزارهای تحلیلی موجود، می‌تواند داده‌ها را با هم تلفیق کرده و امکان همپوشانی و تغییر داده‌ها را به شکل یک نقشه برای آنالیز پتانسیل‌یابی یا توسعه میادین موجود را فراهم سازد که این امر در کاهش زمان و کم کردن هزینه‌های اکتشاف نفت موثر می‌باشد. به طور کلی مدل‌های تلفیق داده در GIS به دو دسته کلی داده- مبنا و دانش- مبنا تقسیم می‌شوند [۶،۷]. روش‌های شبکه عصبی، وزن‌های نشانگر و رگرسیون لجستیک از مهم‌ترین مدل‌های داده مبنا و روش‌های چند معیاره، فازی، دمپستر- شفر و همپوشانی شاخص از مهم‌ترین مدل‌های دانش مبنا به شمار می‌روند [۶]. روش‌های داده مبنا برای رسم نقشه پتانسیل بر پایه بخش تجربی و اکتشافی استوار هستند و وزن‌ها با استفاده از روش‌های آماری و داده‌های موجود در منطقه محاسبه شده و در مناطقی که داده‌های آموزشی کافی وجود داشته باشند کاربرد دارند اما روش‌های دانش مبنا بر پایه بخش استنباطی و نظرات کارشناسی بوده و در مناطق شناخته نشده استفاده می‌شوند. روش‌های آماری و کمی داده مبنا به علت نارسایی دانش میدانی، نتایج و وزن متغیرها را بصورت فزاینده‌ای تحت تاثیر قرار داده و

^۱ Geographic information system

فاکتورهای زمین شناسی که وجود هیدروکربن را تایید می کند، به روز رسانی شد [۱۱]. خانم لیزا بینقام (۲۰۱۲) در پایان نامه ارشد خود با عنوان اکتشاف نفت براساس تحلیل های منطق فازی برپایه GIS، با در نظر گرفتن فاکتورهای زمین شناسی، لرزه نگاری و اقتصادی و با استفاده از روش منطق فازی اقدام تهیه نقشه راه برای اکتشاف منبع نفتی کردند. وی پس از انجام اعتبارسنجی با میدان های نفتی موجود در منطقه رسوبی شمال آمریکا جنوبی، پیشنهاد داد که در سایر مناطق جهان نیز از این مدل برای تهیه نقشه پتانسیل نفتی استفاده کنند [۱۲]. آتیلا در ترکیه (۲۰۰۸)، با استفاده از داده های گرانی، نقشه سه بعدی زیرسطحی را تهیه کرد و سپس به همراه شاخص های ژئوشیمی شامل پیک های S1، S2 و کل کربن آلی و پیک دمایی Tmax تفسیری از هیدروکربن های زیرسطحی در حوضه دریاچه نمک "توزگولو" ترکیه بدست آورد [۱۳]. وانگ و همکاران (۲۰۱۳) به منظور بررسی خصوصیات مخازن نفت از تکنیک های هوش مصنوعی استفاده کردند و تلاش کردند تا مدلی با ترکیب رتبه بندی فازی (FR^۱)، شبکه عصبی پرسپترون (MLP^۲) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) موسوم به GFRA^۳ به منظور شبیه سازی خصوصیات مخزن در چاه های نفتی آلبرتا کانادا ایجاد کنند. داده های اولیه در GIS مورد پردازش قرار می گیرند و روابط میان داده های ورودی و خصوصیات مخزن توسط مدل های مزبور شناسایی می شوند. بعنوان مثال از آنجا که فرآیند مغزه گیری به منظور محاسبه تخلخل مخازن عملی دشوار و پرهزینه است، با استفاده از شبکه های عصبی می توان رابطه ای بین لاگ (به عنوان ورودی های شبکه) و تخلخل مغزه (به عنوان

محدود می کنند و زمانی که داده ها کافی نباشند در جهت عدم قطعیت میل می کنند. داده های مکانی مورد نیاز برای مدل های قطعی و جبری غیرقابل انکار بوده و اغلب غیر ممکن است که داده ورودی لازم جهت استفاده در یک مدل به طور موثری اخذ گردد [۸]. همچنین از آنجا که بخش بیشتری از اطلاعات علوم زمین نیازمند اعمال هر دو روش داده مبنا و دانش مبنا برای رسم نقشه پتانسیل هستند [۹] لازم است تا از مدل های ترکیبی داده مبنا و دانش مبنا در فرایند پتانسیل یابی استفاده گردد. با ترکیب منطق فازی و شبکه عصبی به علت خاصیت تکمیل پذیری این دو سیستم، می توان از مزایای دو سیستم توأم استفاده نمود منطق فازی مکانیسم استنتاج را تحت عدم قطعیت انجام می دهد و شبکه عصبی نیز یادگیری، انطباق، پردازش موازی را دارا می باشد. سیستم های استنتاج فازی از شبکه های عصبی برای جبران نقاط ضعف منطق فازی بهره می برند. بزرگترین مزیت آنها در این است که می توانند از قابلیت یادگیری شبکه عصبی استفاده کنند و از زمان بری هزینه زای تنظیم قوانین یک موتور استنتاج در سیستم منطق فازی جلوگیری کنند و از هر نوع اطلاعات (عددی، منطقی، متغیر زبانی و...)، مدیریت اطلاعات غیر دقیق، ناقص و مبهم، توانایی یادگیری، تقلید در فرآیند تصمیم گیری استفاده کنند [۱۰].

پژوهش هایی که در زمینه پتانسیل یابی منابع هیدروکربنی و معدنی توسط محققان رشته های مختلف انجام شده است که که هر یک سعی کرده اند روش های داده مبنا و یا دانش مبنا را مورد استفاده قرار دهند که به برخی از آنها اشاره می شود: زرگانی و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از GIS و وزن های نشانگر، مناطق با پتانسیل بالای نفت را در کشور لیبی را بررسی کردند. در این مطالعه احتمال اولیه وجود هیدروکربن از اکتشافات قبلی تخمین زده شد و توسط ترکیب

¹ Fuzzy Ranking² Multi Layer Perceptron³ GIS-based FR ANN

پیش‌بینی کرد اما مدل عصبی فازی ۱۷ درصد از منطقه را پتانسیل بالا و متوسط و ۸۲ درصد از آلتراسیون‌های طلا - مس را پیش‌بینی نمود [۱۷]. پوروال (۲۰۱۵) از روش عصبی فازی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی در ایالت راجستان هند استفاده کردند. داده‌های سنگ شناسی، چینه شناسی، فاصله از خطواره‌ها و ۵۴ اندیس شناخته شده ورودی‌های شبکه آنها بودند. نتایج حاصل از این روش ۱۰ درصد از منطقه را به عنوان پتانسیل بالا که شامل نزدیک به ۹۶ درصد از کل اندیس‌ها بود را شناسایی کردند [۱۸]. براون و همکاران (۲۰۰۳) نقشه‌های زمین‌شناسی، گسل‌های منطقه‌ای، مغناطیس‌هوائی، داده‌های اشعه گاما و ۶۳ اندیس معدنی برای تهیه نقشه پتانسیل معدنی طلا در نشریلد استرالیا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، دو روش نشانگر و فازی مورد استفاده قرار دادند که نتایج نشان از برتری شبکه عصبی بر روش‌های دیگر بود [۱۹]. از دیگر کارها در این زمینه می‌توان به [۲۰ و ۲۱] اشاره کرد. تحقیقاتی نیز در زمینه مدل‌سازی مکانی زمین لغزش توسط مدل عصبی فازی صورت گرفته است [۲۲ و ۲۳].

هدف اصلی این تحقیق طراحی و بکارگیری یک مدل GIS پایه با استفاده از مدل استنتاج فازی عصبی تطبیقی^۴ برای تشخیص مناطق با پتانسیل بالای هیدروکربنی برای کارهای اکتشافی بیشتر، شامل لرزه‌نگاری و حفاری‌های اکتشافی است. با توجه به تجربه شرکت‌های بزرگ نفتی از قبیل شل^۵، در استفاده از قابلیت‌های GIS، تحقیق زیر می‌تواند سرآغازی برای تحقیقات بیشتر باشد و توانایی‌های تکنولوژی GIS را در حل مباحث نفتی اثبات کند.

خروجی شبکه) برقرار نمود. آنها پیشنهاد کردند به دلیل نتایج قابل اطمینان مدل پیشنهادی در شبیه‌سازی خصوصیات مخازن نفتی، در سایر مخازن نیز مورد استفاده قرار گیرد [۱۴]. در ایران نیز خانم مرجان روستا (۱۳۸۷) در پایان نامه ارشد خود از چهار روش همپوشانی شاخص، اوزان شاهد، فازی و شبکه عصبی برای تلفیق ۹ لایه اطلاعاتی موثر در ایجاد نفت در محیط GIS استفاده کرد و در نهایت به این نتیجه رسیده است که مدل فازی به دلیل سازگاری با ساختار زمین‌شناسی در سازند قم-اردستان، با واقعیت همخوانی بیشتری دارد [۱۵]. آقای عرب امیری و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله تحت عنوان نقشه پتانسیل منابع هیدروکربنی در اهواز تلاش کرده‌اند تا با استفاده از توابع باور شهودی و GIS، مناطق پتانسیل نفتی را در اهواز شناسایی کنند. آنها نقشه‌های فاکتور ژئوشیمی، ژئوفیزیک و عوارض زمین‌شناسی را به‌عنوان داده‌های ورودی استفاده کردند و در نهایت مدل توابع باور شهودی با نرخ موفقیت (SRC)^۱ برابر ۷۲/۶۸ درصد دقت توانست مناطق پتانسیل نفتی را مشخص سازد [۱۶]. اسدی و همکاران (۲۰۱۵) سعی کردند با مدل عصبی فازی (ANFIS)^۲ و سیستم استنتاج فازی (FIS)^۳ نقشه پتانسیل کانسارهای فلزی را تهیه کنند. داده‌های ورودی زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک و تصاویر ماهواره‌ای در سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد پردازش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مدل ANFIS مناطق با پتانسیل بالای معدنی را بهتر از مدل FIS پیش‌بینی کرده است. در مدل فازی ۱۶ درصد از منطقه به‌عنوان مناطق با پتانسیل بالا و متوسط شامل می‌شود و ۷۷ درصد از آلتراسیون‌های شناخته شده طلا-مس را

^۱ Success Rate Curve^۲ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System^۳ Fuzzy Inference System^۴ Adaptive neuro-fuzzy inference system^۵ SHELL

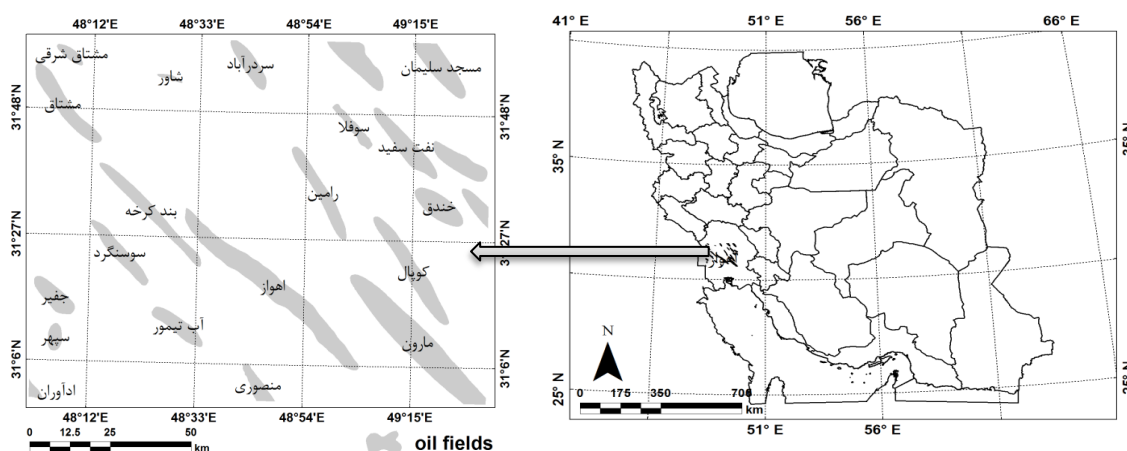
۲- روش تحقیق

مراحل انجام تحقیق را بصورت خلاصه میتوان چنین بیان کرد:

- ۱- شناسایی معیارهای لازم و جمع آوری داده های موثر در اکتشاف مناطق نفت خیز شامل انواع نقشه های زمین شناسی، مغناطیسی، گرانشی، لرزه نگاری
- ۲- ایجاد لایه های جدید و نقشه های فاکتور پهنه های نفتی از داده های خام و تشکیل پایگاه داده مورد نظر با استفاده از توابع GIS
- ۳- ایجاد نقشه میداین نفتی منطقه مورد مطالعه برای استفاده در مدل شبکه عصبی فازی به عنوان داده های هدف
- ۴- نرمال سازی و تبدیل نقشه های فاکتور به فرمت اسکی
- ۵- طراحی ساختار شبکه عصبی فازی (تعیین پارامترهای بهینه سیستم استنتاج سوگنو اولیه)
- ۶- آموزش شبکه و ایجاد نقشه پتانسیل نفتی منطقه مورد مطالعه
- ۷- اعتبارسنجی و بررسی دقت نقشه بدست آمده از مدل عصبی فازی

۲-۱- ویژگی های منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، برگه ی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهواز در جنوب غربی ایران می باشد که از نظر ساختاری غالب منطقه در فروافتادگی دزفول شمالی واقع شده است، این منطقه به همراه میادین نفتی کشف شده در شکل (۱) نشان داده شده است. این منطقه حدود ۶۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد، ۸ درصد مخازن نفت و ۱۵ درصد از مخازن گاز کشف شده ی جهان را در بر می گیرد [۲۴]. سنگ منشاء اصلی این منطقه، سازند کژدمی است که در محیط رسوبی دریایی بی هوای تشکیل شده و در مناطق دزفول و فارس نسبت به لرستان دارای گسترش بیشتری است. این سازند با درصد بالای کربن آلی یکی از مهمترین سنگهای منشاء زاگرس به شمار می رود که واجد پتانسیل نفتی بسیار خوبی بوده است بطوری که نفت های مخازن آسماری و سروک را در بیشتر میادین نفتی فروافتادگی دزفول را تولید کرده است. گفتنی است، حوضه رسوبی زاگرس یکی از مهم ترین حوضه های نفتی دنیا است [۲۵] و یکی از اهداف اصلی نفتی در ایران است که حدود یک صد سال فعالیت های نفتی در انجام شده است.



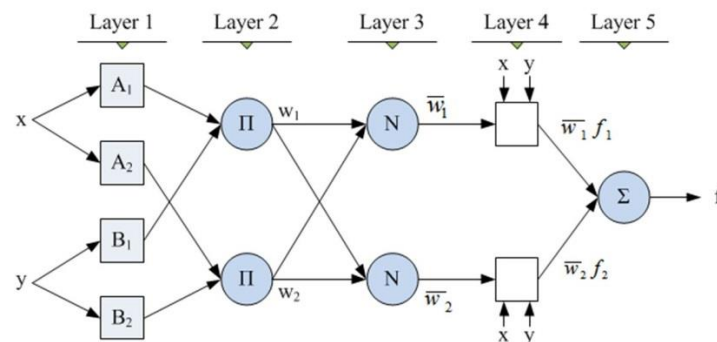
شکل ۱: منطقه مورد مطالعه به همراه میدان های نفتی مورد نظر

۲-۲- معرفی مدل

۲-۲-۱- سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی

سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی موسوم به ANFIS حاصل تلفیق شبکه‌های عصبی تطبیقی و سیستم استنتاج فازی است که توسط یانگ (۱۹۹۳، ۱۹۹۰) بسط داده شد [۲۶، ۲۷]. این مدل همانند مدل فازی از دانش تجربی بهره گرفته و نیز همانند مدل شبکه عصبی می‌تواند آموزش ببیند. با بکارگیری فرآیند یادگیری هاببرد، می‌توان

قاعده ۱: اگر $x = A_1$ و $y = B_1$ آنگاه $f_1 = (p_1x + p_1y + r_1)$
 قاعده ۲: اگر $x = A_2$ و $y = B_2$ آنگاه $f_2 = (p_2x + p_2y + r_2)$



شکل ۲: ساختار پنج لایه‌ای مدل عصبی فازی ANFIS با دو ورودی و دو قانون برپایه مدل سوگنو [۲۶].

این ساختار پنج لایه دارد. ملاحظه می‌شود که لایه ۱: هر گره در این لایه شامل یک گره تطبیقی با یک تابع گره است و طبق رابطه (۱) داریم:

$$O_{1,i} = \mu A_i(x) \text{ for } i = 1, 2 \text{ or } O_{1,i} = \mu B_i(y) \text{ for } i = 3, 4 \quad \text{رابطه (۱)}$$

سیگنال‌های ورودی را درهم ضرب کرده و حاصل را به عنوان خروجی شبکه تحویل می‌دهد و قدرت آتش^۱ هر قاعده را نشان می‌دهد رابطه (۲).

رابطه (۲)

$$O_{2,i} = \mu A_i(x) \cdot \mu B_i(y) \text{ for } i = 3, 4$$

لایه ۳: این گره‌ها که در شکل (۲) با n نامگذاری شده‌اند. وظیفه‌ی محاسبه‌ی وزن نرمالیزه شده قواعد را برعهده دارند رابطه (۳).

که در آن x یا y ورودی گره i و A_i یا B_i مجموعه‌ی فازی مربوط به آن گره می‌باشد. به عبارات دیگر خروجی این لایه مقدار عضویت آن می‌باشد و هر تابع مناسبی که پیوسته و به‌طور تکه‌ای مشتق پذیر باشد، مانند توابع گوسی، دوزنقه‌ای، مثلثی و ... می‌تواند به عنوان تابع عضویت مورد استفاده قرار گیرد.

لایه دوم: هر گره در این لایه عمل and فازی را انجام می‌دهد و با Π نامگذاری شده است. گره‌های لایه دوم که ثابت در نظر گرفته می‌شوند،

¹ Firing strenght

که در آن $O_{5,i}$ خروجی i امین گره در لایه ی پنجم می باشد.

۲-۲-۲- الگوریتم یادگیری هیبریدی

الگوریتم یادگیری هیبریدی ترکیبی از روش های حداقل مربعات و کاهش گرادیان می باشد و از دو فاز متناوب تشکیل شده است: کاهش گرادیان که سیگنال های خطای ایجاد شده را از لایه خروجی به لایه ورودی برگشت می دهد. این فاز پارامترهای بخش مقدم مدل (توابع عضویت) را تصحیح می کند. روش حداقل مجموع مربعات خطا که پارامترهای بخش تالی مدل (ضرائب رابطه ی خطی) را تصحیح می کند. در هر دور آموزش، هنگام حرکت رو به جلو، خروجی های گره ها به صورت عادی تا لایه چهارم محاسبه می شوند. در ادامه پس از محاسبه ی خطا در بازگشت با استفاده از الگوریتم شیب نزولی خطا، مقدار خطا به سمت ورودی ها پخش و پارامترها تصحیح می شوند [۲۸]. در ANFIS قوانین ثابت می باشند و آنچه بهینه سازی می شود، شکل توابع عضویت است. خروجی کل F از شکل ۲ توسط رابطه (۶) به صورت زیر بیان می شود.

$$F = \frac{w1}{w1 + w2} f1 + \frac{w1}{w1 + w2} f2$$

$$= \frac{w1f1 + w2f2}{w1 + w2}$$

$$= (\overline{w1}x)p1 + (\overline{w1}y)q1 + (\overline{w1})r1 + (\overline{w2}x)p2 + (\overline{w2}y)q2 + (\overline{w2})r2$$

روشهای متعددی پیشنهاد شده است، که مرسوم ترین آنها، دو روش تفکیک شبکه ای و تفکیک خوشه ای است [۲۹]. تفاوت این روش در چگونگی تعیین تابع عضویت است. هنگامی که تعداد متغیرهای ورودی کم باشد، روش تفکیک شبکه ای برای طبقه بندی داده ها مناسب است [۳۰]. در روش تفکیک شبکه ای با تخصیص تعداد مشخصی توابع عضویت به هر ورودی و سپس در نظر گرفتن کلیه ترکیبات ممکن از آنها،

$$O_{3,i} = \frac{\bar{w}_i}{\sum_i \bar{w}_i}, i = 1, 2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن w_i وزن قاعده i و $O_{3,i}$ وزن نرمالیزه شده آن می باشد.

لایه ۴: هر گره در این لایه وابسته به یک تابع گره می باشد. این گره ها وزن نرمالیزه هر یک از قوانین فازی را در خروجی بخش موخره آن قانون ضرب می کنند.

رابطه (۴)

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + p_i y + r_i) \quad i = 1, 2$$

که در آن $O_{4,i}$ مقدار خروجی نامین قانون اگر-آنگاه فازی، w_i وزن نرمالیزه شده از لایه ی سوم و $(p_i x + p_i y + r_i)$ مجموعه ی پارامترهای گره i هستند پارامترهای این لایه تحت عنوان «پارامترهای نتیجه شده» نامیده می شوند.

لایه ۵: تنها گره موجود در این لایه با Σ نامگذاری شده است که مجموع تمام سیگنالهای ورودی به آن را محاسبه کرده و به خروجی می برد، هدف این لایه حداقل نمودن اختلاف خروجی شبکه و خروجی واقعی است [۲۸]. خروجی کلی ANFIS توسط رابطه (۵) بدین گونه محاسبه می شود:

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad i = 1, 2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

رابطه (۶)

از معادلات فوق می توان این را بیان داشت که خروجی ترکیبی خطی از پارامترهای نتیجه شده ی $r1, p1, q1, p2, q2, r2$ می باشد. بنابراین وقتی پارامترهای پیش فرض ثابت هستند، خروجی کل ترکیبی خطی از پارامترهای نتیجه شده است و در این صورت الگوریتم یادگیری هیبریدی عملی می شود [۲۸].

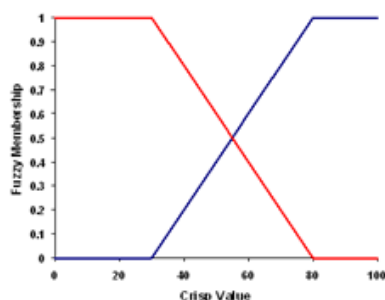
۲-۲-۳- خوشه بندی

برای طبقه بندی داده های ورودی و ایجاد قوانین فازی

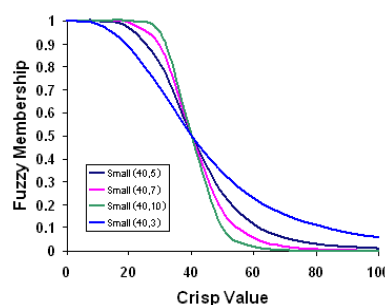
۲-۲-۴- آماده سازی داده های اولیه

داده های ورودی برای تحلیل در سیستم ANFIS باید نرمالیزه شوند و ورودی ها، باید در مقیاس یکسان وارد شبکه شوند زیرا داده های بزرگ اهمیت داده های کوچک را در شبکه تحت تاثیر قرار می دهند و روند مدل سازی را دچار خطا می کنند. در این تحقیق، نرمال کردن داده ها در محیط نرم افزار آرک جی آی اس نسخه ۱۰ و با استفاده از ابزار توابع عضویت فازی شامل Small، Large و خطی صورت می گیرد. در تابع Large عضویت فازی، داده های ورودی بین بازه ی [۰، ۱] نرمال می شوند با این تفاوت که از یک حد آستانه که توسط کاربر مشخص می گردد، میزان عضویت فازی داده ها با شیب زیاد، افزایش می یابد. در این نوع تابع، داده های با مقدار زیاد، به عدد یک نزدیکتر می شوند. در نوع Small، که برعکس حالت Large عمل می کند، داده هایی با مقدار کمتر، میزان تعلق بالاتری را دریافت می کنند و به عدد یک نزدیکتر می شوند. برای مثال فاصله های نزدیکتر به گسل ها که مقدار کمتری دارند با استفاده از نوع تابع، دارای تعلق بیشتری می شوند. در حالت خطی، شیب افزایش تابع تعلق یکنواخت است و برای نرمال سازی یکنواخت مقادیر ورودی ها به کار می رود (شکل (۳)).

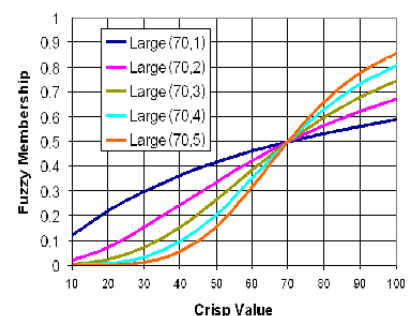
قوانین فازی تعریف می شوند. برای مثال در این تحقیق، ۱۷ متغیر ورودی و یک متغیر خروجی وجود دارد و در صورتی که به هر متغیر، ۳ عضو زبانی اختصاص یابد، ۳^{۱۸} قواعد فازی از ترکیب آنها ایجاد می شود و در نتیجه نمی توان از این روش استفاده کرد. هر چند اغلب قواعد ایجاد شده تاثیری در خروجی سیستم نخواهند داشت و پیچیدگی سیستم را افزایش می دهند، لذا در این تحقیق از روش خوشه بندی فازی کاهشی برای ساخت سیستم استنتاج سوگنو اولیه استفاده شد. ایده ی اساسی این روش گروه بندی زوجهای ورودی - خروجی در خوشه های مختلف به نحوی است که داده های یک خوشه تا حد امکان به هم شبیه و در عین حال متفاوت از داده های خوشه های دیگر باشد تا برای هر خوشه یک قاعده فازی استفاده شود [۳۱]. در نهایت تعداد قواعد با تعداد خوشه ها برابر خواهد بود. بدین منظور ابتدا یک سیستم فازی بهینه را از این نظر که می تواند تمامی زوجهای ورودی - خروجی را با یک دقت مطلوب تطبیق دهد، به وجود آورده و آنگاه خوشه های ورودی - خروجی را با استفاده از الگوریتم خوشه سازی کاهشی تعیین می شود.



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۳: نرمال سازی داده ها: (الف): تابع Large فازی، (ب): تابع Small فازی، (ج): تابع خطی فازی

محاسبه شده و به صورت درصد نمایش می‌دهند. اندیس اکسیژن (OI): ضریب اکسیژن مشخص‌کننده مقدار اکسیژن موجود در کروژن است. با این ضریب می‌توان درجه اکسیده شدن مواد آلی موجود در سنگهای منشاء را ارزیابی کرد و هر چقدر مقدار آن بیشتر باشد، مقدار اکسیده شدن مواد آلی نیز بیشتر است. اندیس اکسیژن را بر حسب میلی گرم CO_2 بر یک گرم کل کربن آلی نمایش می‌دهند.

$$OI = \frac{S_3}{TOC} \quad mgCO_2/g \text{ TOC} \quad (9)$$

اندیس تولید (PI): این ضریب مشخص‌کننده درجه پختگی مواد آلی موجود در سنگهای منشاء است که با افزایش آن مقدار ضریب تولید افزایش می‌یابد. همچنین عامل مهاجرت بر روی آن اثر مستقیم دارد که باعث افزایش ظاهری آن می‌شود. مقدار PI برای شروع نفت برابر با 0.05 تا 0.1 است و در مرحله پایانی نفت‌زائی با $0.4 - 0.3$ می‌رسد.

میزان اندیس تولید از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$PI = \frac{S_1}{S_1 + S_2} \quad mgHC/g \text{ rock} \quad (10)$$

پتانسیل نفت یا گاز (PP): این ضریب مجموع S_1 و S_2 است که پتانسیل تولید هیدروکربن را در سنگ منشا را مشخص می‌کند. (رابطه (۱۱))

$$PP = S_1 + S_2 \quad mgHC/g \text{ rock} \quad (11)$$

اندیس هیدروژن (HI): این ضریب، مشخص‌کننده پتانسیل نفتی نمونه سنگ مادر است که هرچه مقدار HI بیشتر باشد، سنگ منشاء از پتانسیل بالاتری برخوردار است [۳۲]. اندیس هیدروژن از رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید:

$$HI = \frac{S_2}{TOC} \quad mgHC/g \text{ TOC} \quad (12)$$

۳-۲- شناسایی داده‌های موثر در اکتشاف نفت

۳-۲-۱- تحلیل داده‌های ژئوشیمی

یکی از روش‌های رایج در ارزیابی پارامترهای ژئوشیمی سنگ‌های منشاء نفتی استفاده از دستگاه پیرولیز راک-اول^۱ یا دستگاه ارزیاب سنگ مادر است که امروزه به طور گسترده در صنعت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۲]. متغیرهای ثبت شده توسط دستگاه عبارتند از:

S_1 : مقدار هیدروکربن آزاد که در دمای 300 درجه سانتی‌گراد تیخیر شده و در واحد میلی گرم هیدروکربن در هر گرم ($mgHC/g \text{ rock}$) سنگ بیان می‌شود.

S_2 : مقدار هیدروکربن و ترکیبات اکسیژن داری است که میان دمای 300 تا 650 درجه سانتی‌گراد در اثر ترکیبات سنگین‌تر مانند رزین‌ها و آسفالتن‌ها آزاد می‌شود که به صورت میلی گرم هیدروکربن در هر گرم ($mgHC/g \text{ rock}$) سنگ بیان می‌شود.

S_3 : ترکیبات اکسیژن‌داری که در دمای 400 درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شوند نیز به صورت گاز CO_2 آزاد گشته که به شکل پیک S_3 و در واحد میلی گرم CO_2 در هر گرم سنگ ($mgCO_2/g \text{ TOC}$) نمایش داده می‌شود.

$Tmax$: دمایی که پیک S_2 در آن بیشینه‌ی خود را نشان داده و به عنوان یک متغیر بسیار عالی برای ارزیابی بلوغ حرارتی نمونه سنگ منشاء است و با افزایش عمق و درجه بلوغ ماده آلی، $Tmax$ نیز افزایش می‌یابد [۳۲].

مقدار کل کربن آلی (TOC ^۲): جهت ارزیابی پتانسیل‌زائی هیدروکربنی سنگ منشاء بکار می‌رود. مقدار آن به صورت خودکار توسط دستگاه ارزیاب سنگ و به صورت پیک های S_1 ، S_2 ، S_3

³ Oxygen index

⁴ Produce index

⁵ Genetic index

⁶ Hydrogen index

¹ Rock Eval Pyrolysi

² Total organic carbon

۲-۳-۲- تحلیل داده‌های زیرسطحی

منحنی‌های تراز ساختاری مشابه منحنی‌های توپوگرافی هستند اما نشانگر یک سطح زیرزمینی مثل طاق‌دیس یا مرز یک سازند مشخص هستند. نقشه‌هایی از قبیل نقشه کلوزر، ناهمواری و انحناء را می‌توان از طریق منحنی‌های تراز ساختاری بدست آورد و با آنها می‌توان موقعیت و شکل سطوح زیرزمینی را نشان داد.

۲-۳-۲-۱ ایجاد محور طاق‌دیس‌ها

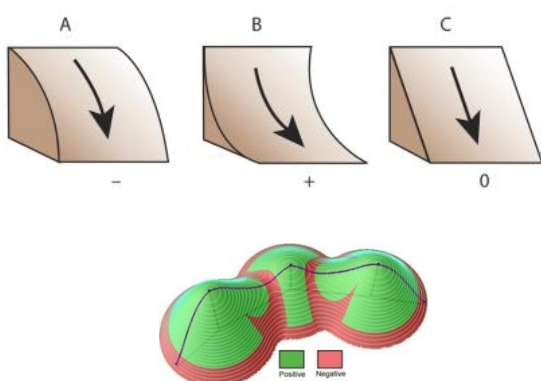
از آنجا که طاق‌دیس‌ها معمولاً حاوی بیشترین نفت و گاز کشف شده در جهان هستند، مجاورت به طاق‌دیس‌ها می‌تواند به عنوان یک فاکتور مهم در تهیه نقشه پتانسیل نفت باشد. جهت طاق‌دیس‌ها را می‌توان با نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی و نقشه‌های زیر سطحی تعیین نمود اما طاق‌دیس‌هایی که در سطح زمین رخنمون دارند، در واقع قسمت کوچکی از سازند آن طاق‌دیس بشمار می‌روند. عواملی مثل گسل، می‌تواند نظم پیوستگی طاق‌دیس زیر سطحی را با سطح رویی زمین جابجایی نماید. همچنین بسیاری از طاق‌دیس‌ها در سطح زمین رخنمون ندارند [۳۴]. بنابراین به منظور مدل‌سازی صحیح تنها از طاق‌دیس‌هایی که در نقشه زمین‌شناسی دیده می‌شود برای مدل‌سازی استفاده نمی‌شود. در این تحقیق به منظور شناسایی موقعیت طاق‌دیس‌ها از شاخص ناهمواری سطح (TRI^1) استفاده گردید که طبق رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود [۳۵].

رابطه (۱۳) $TRI = Y \left[\sum (x_{ij} - x_{00})^2 \right]^{1/2}$
که x_{ij} ارتفاع هر سلول از سلول همسایه به سلول مرکزی می‌باشد.

۲-۳-۲-۲ نقشه انحناء

اغلب تله‌های ساختمانی مانند طاق‌دیس‌ها به طور محدب می‌باشند. برای تهیه یک نقشه که پتانسیل تله در یک منطقه را نشان دهد علاوه بر

ناهمواری نیاز به نقشه انحناء می‌باشد. انحناء مشتق دوم ارتفاع سطح می‌باشد. معیار انحناء به تشخیص شکستگی‌های شیب و پتانسیل ناهمواری کمک می‌کند [۳۶]. می‌توان انحناء را بدین صورت تصور کرد که یک منحنی بر روی سطح طاق‌دیس اعمال شده است، با محاسبه مشتق دوم این سطح، نقطه عطف این تابع یعنی مقداری که بالاتر از آن طاق‌دیس و کمتر از آن ناودیس محسوب خواهد شد. می‌توان از این شاخص به همراه شاخص ناهمواری سطح برای شناسایی طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌ها استفاده کرد. شکل (۴)، نیمرخ‌های مختلف شاخص انحناء را روی یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM^2) را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مقادیر منحنی میزان های زیر سطحی برعکس منحنی میزان‌های سطحی زمین می‌باشد، تفسیر نتایج شاخص انحناء، برعکس DEM می‌باشد و مقادیر مثبت انحناء، ناودیس‌ها و مقادیر منفی، طاق‌دیس‌ها را شامل می‌شوند.



شکل ۴: اعمال تابع انحناء بر روی DEM ارتفاعی، (A) سطح محدب، (B) سطح مقعر و (C) بدون انحناء

۲-۳-۲-۳-۲ کلوزر

در هر چین طاق‌دییسی، محفظه بسته‌ای به نام کلوزر وجود دارد که در مقطع افقی با منحنی‌های بسته

² Digital elevation model

³ Closed

¹ Terrain roughness index

۳- نتایج و یافته های تحقیق

۳-۱- ایجاد نقشه های فاکتور

لایه های اطلاعاتی مورد نظر از شرکت ملی اکتشاف نفت دریافت گردید. این داده ها، بعد از پیش پردازش های لازم و برش وارد محیط GIS شدند. همچنین میادین شناخته شده نیز به عنوان خروجی های مورد انتظار مدل مورد نظر، به پایگاه داده ی GIS وارد گردید. پایگاه داده ی تشکیل شده با سیستم مختصات^۱ (UTM) (زون ۳۹ شمالی، دیتوم WGS_1984) و از ۱۷ ورودی و یک خروجی تشکیل شده است (جدول (۱) و شکل (۵))

به منظور تهیه نقشه های ژئوشیمی، پس از تهیه مقادیر متوسط و بیشینه پارامترهای ژئوشیمیایی در هر چاه، هریک از پارامترها به طور جداگانه با استفاده از کرجینگ و وزن دهی معکوس فاصله^۲ (IDW) درون یابی و نقشه های مربوطه تهیه شدند و با استفاده از تابع عضویت خطی فازی، نرمال شده و مناطقی که مقادیر بالاتری داشتند، تعلق بیشتری به آنها اختصاص یافت. برای اعمال شاخص ناهمواری سطح (TRI) در نرم افزار متلب، اقدام به کدنویسی شد. بدین صورت که یک فیلتر ۳×۳ بر روی ماتریس نقشه ساختمانی اعمال شد و اختلاف ارتفاع هریک از سلول ها را نسبت به سلول مرکزی گرفته و به توان دو می رساند و در نهایت از مقدار به دست آمده جذر گرفته می شود. در ادامه منطقه مورد مطالعه بر اساس مجاورت به طاق دیس ها با استفاده از تابع فاصله در GIS به ۱۰ طبقه تقسیم بندی شد. از تابع Small فازی برای اختصاص تعلق زیاده تر به فواصل نزدیک محورهای طاق دیس ها استفاده شد. نقشه انحناء توسط تابع انحناء^۳ در GIS تولید و با استفاده از

نمایش داده می شود. کلوزر هر ساختمان آنتی کلینال، عبارت است از فاصله ی قائم بلندترین نقطه آن تا عمیق ترین منحنی بسته ی آن، که مقدار آن از چندین متر تا چندین هزار متر تغییر می کند. مساحت کلوزر به همراه موارد دیگر، حجم مخزن نفتی را نشان می دهند. نقشه کلوزر در واقع آخرین منحنی تراز ی است که طاق دیس توسط آن بسته می شود و به آن کلوزر گفته می شود که اگر وسعت آن زیاد باشد نشان دهنده ی ارزش اقتصادی بالای میدان نفتی احتمالی در آن است [۳۶].

۳-۲- نقشه آنالوژی ثقل بوگه

ژئوفیزیک به دنبال بررسی و بدست آوردن شتاب جاذبه زمین و همچنین بحث درباره ی شکل میدان جاذبه زمین در نقاط مختلف است. با توجه به اینکه میدان جاذبه بستگی به جنس لایه ها دارد با این روش می توان به تحلیل و بررسی مسائل زمین ساختی مثل تاقدیس های زیر زمینی، گنبدها، گسل ها و توده های نفوذی پرداخت. هدف از کاوش های گرانشی آشکارسازی ساختارهای زیر زمینی از روی آشفتگی هایی است که در سطح زمین در میدان گرانشی زمین به وجود می آید. بی هنجاری بوگه در واقع آن قسمت از اختلاف بین گرانی اندازه گیری شده و گرانی نظری در هر نقطه بر روی زمین که فقط مربوط به تغییرات جانبی چگالی در زیر سطح زمین می باشد را توصیف می کند. گرانی بالا در بسیاری از مناطق به تاقدیس ها و یا بلوک های بالا آمده مربوط می شود که هر دو این ساختارها سنگ های قدیمی تر و چگالی تر را نزدیک به سطح زمین می آورند [۳۸]. به کمک مغناطیس سنجی و آنالوژی های ثقل سنجی بوگه، مناطق تکتونیکی و مطالعات میدان بالقوه شناسایی می شوند.

^۱ Universal transfer mercator

^۲ Inverse distance weighting

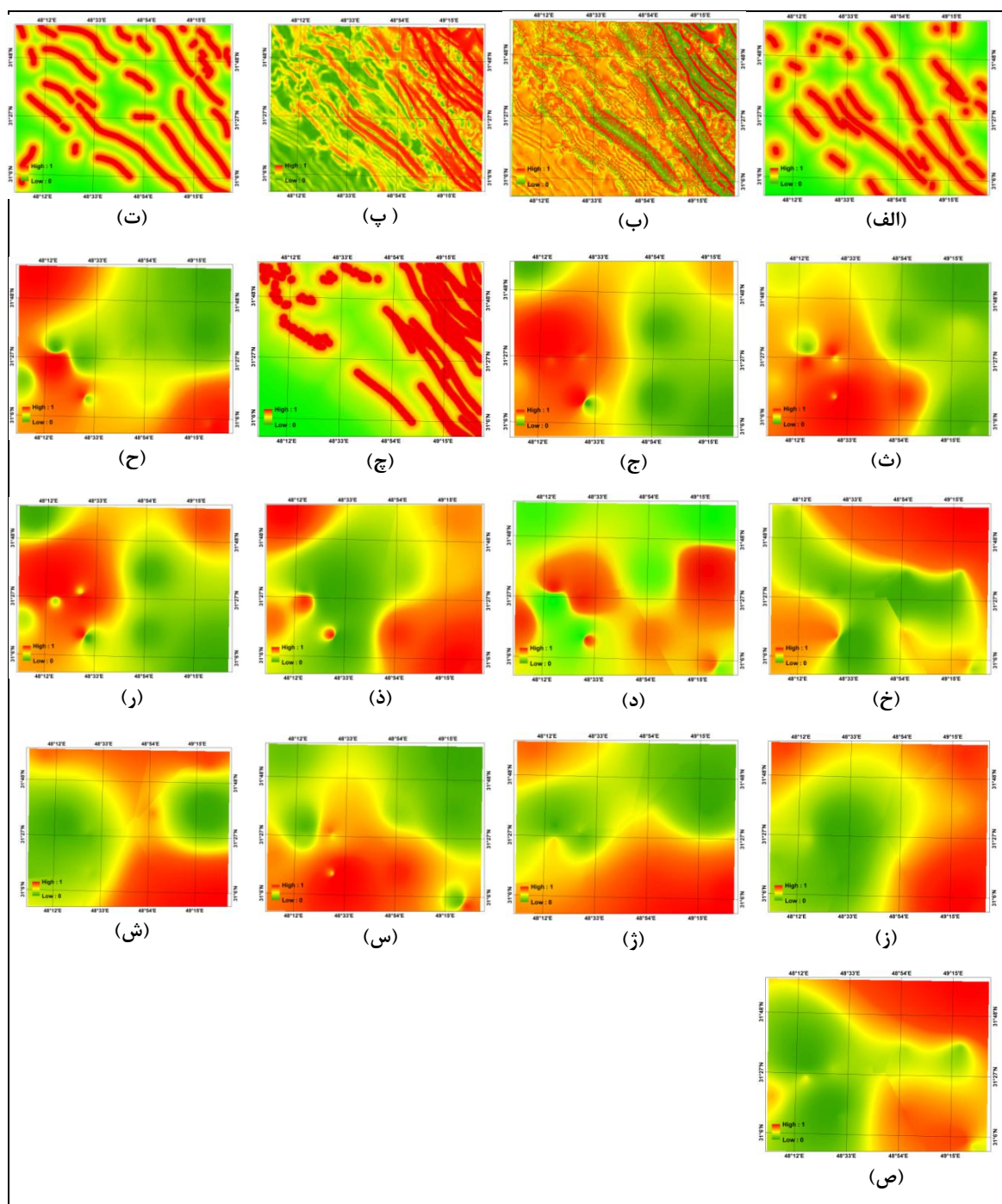
^۳ Carvature

از پلیگون‌ها با دستور بردارسازی در نرم‌افزار آرک اسکن به‌دست آمد. از آنجا که مجاورت به کلوژرها، احتمال وجود میادین نفتی را افزایش می‌دهد از تابع عضویت Small فاز برای نرمال‌سازی استفاده شد که مناطق نزدیک به محور پلیگون‌های آنومالی بالا، درجه تعلق بالاتری اختصاص یافت. داده‌های گرانی سنجی بصورت نقطه‌ای برداشت می‌شود، آماده‌سازی این نقاط، با استفاده از روش‌های درون‌یابی، لایه رستری آنامولی ثقل بوگه ایجاد و نقشه‌ی آن همانند کلوژرها، آماده گردید.

تابع عضویت Large فاز، مناطقی که مقدار بیشتری داشتند، تعلق زیادتری به آنها اختصاص یافت. برای تولید نقشه‌های کلوژر ابتدا بصورت بصری، هر یک از منحنی‌های تراز ساختمانی مربوط به سازند آسماری در منطقه، مورد پایش قرار گرفت. طاق‌دیس‌ها در قسمت‌هایی که مقدار منحنی‌ها از کم به زیاد افزایش می‌یابند، وجود دارند، بنابراین در محل طاق‌دیس‌ها، آخرین منحنی که طاق‌دیس‌ها را بصورت یک پلیگون بسته نشان می‌دهد بعنوان کلوژر آن طاق‌دیس در نظر گرفته می‌شود. بعد از عملیات رسترسازی و کلاسه بندی، مرکز خطی هر یک

جدول ۱: مشخصات داده‌های ورودی

فاکتورها	انواع	پردازش‌های انجام شده
زمین‌شناسی	نقشه گسل‌ها	رقومی کردن گسل‌ها - تبدیل به رستر با تابع فاصله - نرمال‌سازی از نوع کاهشی
ژئوفیزیک	آنومالی ثقل بوگه	درون‌یابی - طبقه‌بندی - یافتن مرکز خطی پلیگون‌ها - رستر سازی با تابع فاصله - نرمال‌سازی کاهشی
لرزه‌ای	نقشه ناهمواری سازند آسماری	تهیه نقشه ناهمواری براساس شاخص ناهمواری سطح (TRI) - نرمال‌سازی با تابع Small فاز
	نقشه انحناء سازند آسماری	تهیه نقشه انحناء با مشتق دوم ارتفاع - نرمال‌سازی تابع عضویت Large فاز
	نقشه کلوژر سازند آسماری	بستن کلوژرها - یافتن مرکز خطی پلیگون‌ها - رسترسازی با تابع فاصله - نرمال‌سازی
ژئوشیمی	غناي کربن آلی (TOC)	درون‌یابی براساس متوسط و بیشینه هر چاه - نرمال‌سازی
	بازده پتانسیل برای تولید هیدروکربن (PP)	
	پیک Tmax	
	شاخص تولید (PI)	
	اندیس اکسیژن (OI)	
	اندیس هیدروژن (HI)	



شکل ۵: نقشه های فاکتور ایجاد شده شامل (الف) : کلوزر، (ب) : انحنا، (پ) : ناهمواری، (ت) : ژئوفیزیک، (ث) : ماکزیمم هیدروژن، (ج) : ماکزیمم اکسیژن، (چ) : گسل، (ح) : ماکزیمم بازده پتانسیل برای تولید هیدروکربن، (خ) : ماکزیمم Tmax، (د) : ماکزیمم TOC، (ذ) : ماکزیمم تولید، (ر) : متوسط اکسیژن (ز) : متوسط تولید، (ژ) : متوسط بازده پتانسیل برای تولید هیدروکربن، (س) : متوسط هیدروژن (ش) : متوسط TOC، (ص) : متوسط Tmax

۳-۲- مدل سازی داده های پتانسیل نفتی

توپولوژی شبکه مورد استفاده در این تحقیق، شامل تعداد لایه های شبکه، تعداد ورودی، تعداد خروجی، تعداد توابع عضویت و تعداد متغیرهای زبانی هستند. ابتدا پارامترهای توابع عضویت هرمتغیر ورودی با استفاده از خوشه بندی فازی مشخص گردید و از ترکیب توابع عضویت متناظر متغیرهای ورودی و ارتباط آنها با متغیر خروجی توسط یک رابطه ی خطی، قوانین تعریف شدند. در کل شبکه عصبی فازی طراحی شده، سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) از نوع سوگنو بوده و ساختار این شبکه از نوع پیش خور است و در آن ۱۸ متغیر (۱۷ ورودی و یک خروجی) و به ازای هر متغیر از ۱۸ تابع عضویت از نوع گاوسی و ۱۸ قانون^۱ فازی برای شبکه استفاده شده است. در سیستم استنتاج فازی سوگنو اولیه، در مرحله ی استلزام^۲ فازی به منظور بیان ارزش صحت قواعد ایجاد شده (T-norm)، از عملگر ضرب^۳، برای ترکیب قصلی قواعد ایجاد شده (S-norm) در مرحله استنتاج^۴ فازی از روش حداکثر^۵ و برای غیرفازی سازی^۶ نیز از روش متوسط وزن دار^۷ استفاده شد (جدول (۲)). پس از آن پارامترهای مدل (ضرائب رابطه ی خطی خروجی هر قانون و پارامترهای توابع عضویت) با قرار گرفتن سیستم استنتاج سوگنو در بطن یک شبکه تطبیقی بهینه می شوند. تعداد تکرار الگوریتم ترکیبی پس انتشار خطا و حداقل مربعات برای تصحیح پارامترهای مدل برابر ۳۰۰ و خطای هدف برابر ۰/۰۰۵ قرار داده شد. شکل های (۶ و ۷) ساختار مدل های ایجاد شده را نشان می دهند.

^۱ Rules^۲ implication^۳ Prod^۴ Aggregation^۵ Maximum^۶ Defuzzify^۷ Weighted Average

جدول ۲: مشخصات سیستم استنتاج فازی سوگنو اولیه

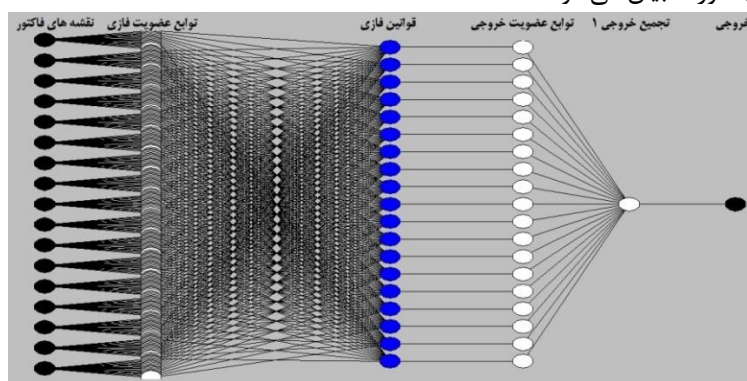
نوع سیستم استنتاج اولیه	سیستم استنتاج فازی سوگنو
تعداد ورودی ها	۱۷ متغیر
تعداد خروجی	۱ مورد
تعداد تابع عضویت برای هر متغیر	۱۸ تابع عضویت از نوع گاوسی
تعداد قوانین ایجاد شده	۱۸ قانون
مرحله ی استلزام فازی به منظور بیان ارزش صحت قواعد ایجاد شده (T-norm)	عملگر ضرب
ترکیب قصلی قواعد ایجاد شده (S-norm)	روش حداکثر
غیرفازی سازی	روش متوسط وزن دار

برای یک فرآیند مشخص از جمله مدل سازی پهنه های نفتی، منظور از ساخت سیستم های استنتاج فازی، تعیین قواعد فازی حاکم بر آن فرآیند است. پارامترهای هر قاعده شامل شکل، پارامترهای توابع عضویت وازه های فازی معرفی شده در قسمت مقدم و تالی و پارامترهای رابطه خطی در سیستم سوگنو می باشد که از دو طریق تعیین می شوند: از طریق نظر خبره و کارشناسان که بر اساس تجربه و قضاوت و ذهن یک انسان خبره تعیین می شوند و یا از طریق داده های موجود در فرآیند مشخص می شوند. این داده ها حکم داده های آموزشی را دارند و شکل کلی قواعد از طریق مدل های بهینه سازی به نحوی تعیین می شوند که خروجی ای قواعد فازی بازای متغیرهای ورودی داده ها بیشترین تطابق را با مقادیر خروجی های داده ها داشته باشند. با توجه به اینکه تعداد قواعد فازی بستگی مستقیمی به تعداد مجموعه های فازی دارد. روش خوشه بندی که جفت داده ورودی - خروجی را به خوشه های همسان تقسیم می کند، روش موثری برای کاهش قواعد در سیستم های استنتاج فازی به شمار می رود و هر خوشه به عنوان نماینده ای از یک قاعده مشخص بوده و در نتیجه تعداد قواعد به تعداد خوشه ها تقلیل می یابد. تعداد خوشه ها یا

- اگر اولین متغیر در خوشه اول، دومین متغیر در خوشه اول، ...، هفدهمین متغیر در خوشه اول باشد، آنگاه میزان خروجی در خوشه اول از پتانسیل نفتی خواهد بود.

- اگر اولین متغیر در خوشه دوم، دومین متغیر در خوشه دوم، ...، هفدهمین متغیر در خوشه دوم باشد، آنگاه میزان خروجی در خوشه دوم از پتانسیل نفتی خواهد بود (شکل (۷)).

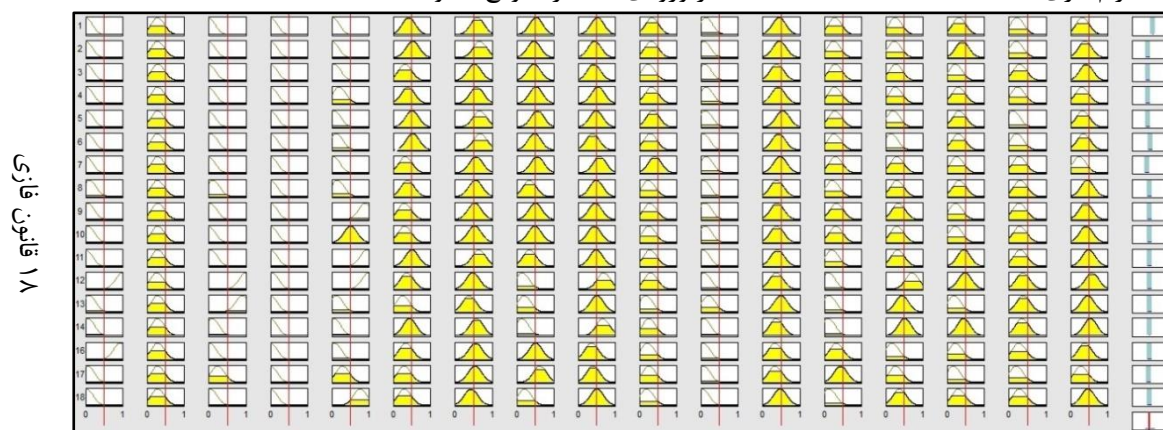
توابع عضویت توسط الگوریتم خوشه‌بندی تعیین می‌شود که تعداد آن بستگی به میزان پراکندگی و فراوانی داده‌ها و درجه نفوذ و تاثیر هر خوشه نسبت به خوشه‌های دیگر دارد. در این تحقیق میزان نفوذ بصورت پیش فرض، ۵۰ درصد انتخاب شد و بدین ترتیب برای هر متغیر ورودی، ۱۸ خوشه مشخص گردید و قوانین اولیه تولید شدند. گفتنی است که برای هر خوشه، یک قانون وجود دارد، برای مثال قانون اول و دوم بدین صورت بیان می‌شود:



شکل ۶: نمایی از سیستم طراحی شده برای مدل عصبی فازی (ANFIS)

۱۷ متغیر ورودی به همراه توابع عضویت

استلزام فازی



شکل ۷: نمایش متغیرهای ورودی و قوانین فازی

شاخص کاپا^۲ استفاده گردید. با توجه به جدول (۳) و شکل (۸)، به وضوح مشخص می‌گردد که شبکه عصبی ANFIS با شاخص کاپای ۸۵/۹۳، همبستگی ۸۳/۹۱ درصد و RMSE برابر با ۰/۰۳۹۹ توانسته است با دقت

پس از آموزش شبکه عصبی فازی و ایجاد نقشه پتانسیل نفتی، برای ارزیابی و مقایسه عملکرد مدل از معیارهای آماری متوسط ریشه مربع خطا^۱ (RMSE)، ضریب همبستگی (R) و

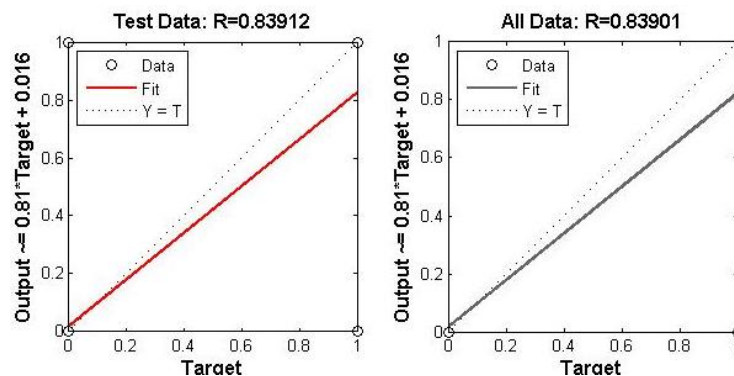
^۲ Kappa

^۱ Root Mean Square Error

بالایی، خروجی‌ها را تولید کند. باید توجه داشت که هرچه در مرحله آزمون مقدار R و کاپا، به یک (بصورت

جدول ۳: نتایج اعتبارسنجی مدل شبکه عصبی - فازی نسبت به داده‌های واقعی

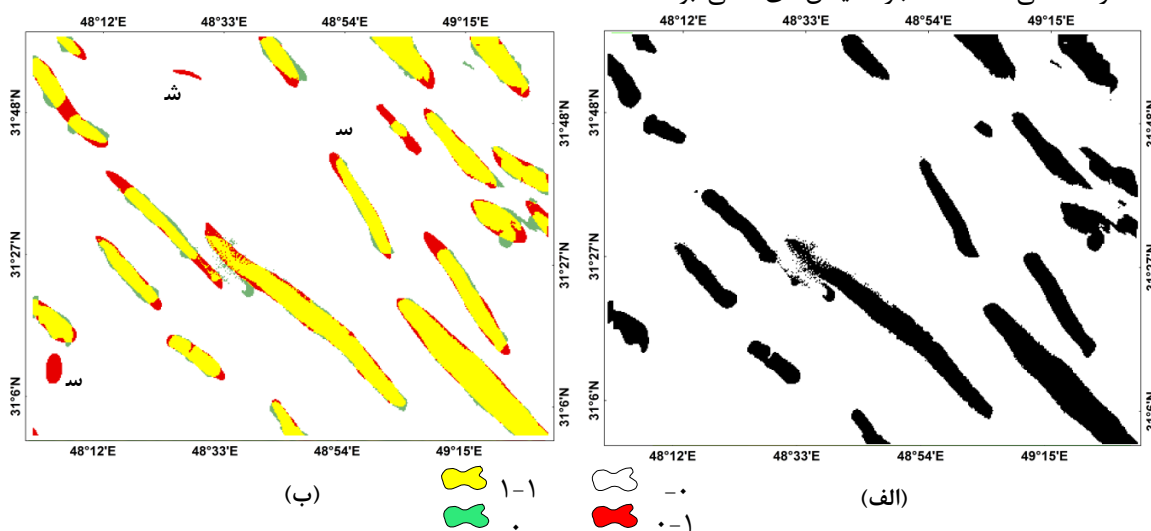
کاپا	R	RMSE	شبکه عصبی فازی
۰/۸۵۹۳	۰/۸۳۹۱۲	۰/۰۳۹۹	شبکه عصبی فازی



شکل ۸: مقدار همبستگی در کل داده‌ها و آزمون در شبکه عصبی - فازی نسبت به داده‌های واقعی

اما مدل نتوانسته است آنها را درست پیش‌بینی نماید و مناطق سبز نیز، جزء میدان‌های واقعی نفتی نیستند اما به‌عنوان میادین نفتی طبقه‌بندی شده‌اند. باتوجه به نقشه‌های مقایسه شده و نتایج حاصل از شاخص‌های اعتبارسنجی می‌توان گفت که مدل شبکه عصبی فازی قابلیت زیادی در مدل‌سازی مکانی مناطق پتانسیل نفتی دارد.

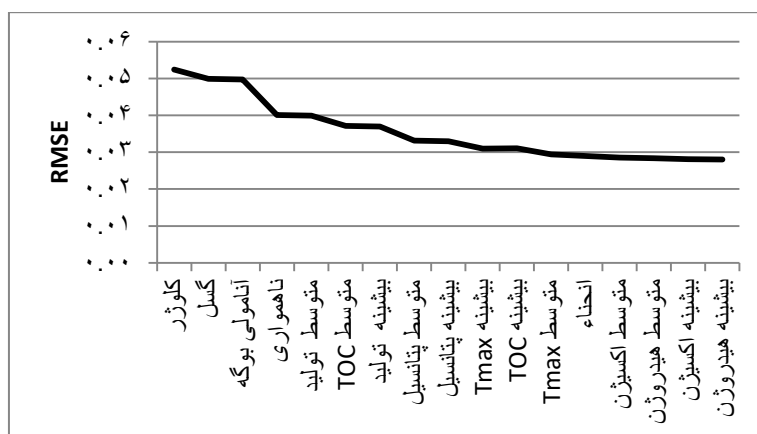
همچنین با توجه به شکل (۹)، می‌توان گفت، مدل توانسته است با دقت بالایی میدان‌های نفتی را پیش‌بینی کند، هرچند برخی میدان‌ها از قبیل شاور و سپهر، به طور کلی شناسایی نشده و میدان نفتی سوفلا، به صورت جزئی شناسایی شده‌اند. برخی قسمت‌ها نیز به اشتباه، جزء مناطق نفتی پیش‌بینی شده‌اند. گفتنی است رنگ قرمز نشانگر مناطقی است که جزء میدان‌های نفتی بوده‌اند



شکل ۹: (الف): نقشه پیش‌بینی شده منابع نفتی توسط مدل عصبی فازی، (ب): نقشه تغییرات پیش‌بینی شده توسط مدل عصبی فازی (گفتنی است که در راهنمای نقشه، عدد یک بیانگر پهنه‌های نفتی و عدد صفر عدم وجود پهنه‌های نفتی است).

گفت که حضور تمام نقشه‌های فاکتور در پتانسیل‌یابی میادین نفتی معنادار است اما فاکتورهای کلوزر، گسل و آنامولی ثقل بوگه به ترتیب بیشترین تاثیر را داشته‌اند چرا که با حذف هریک از آنها خطای RMSE افزایش یافته است. فاکتورهای انحاء، متوسط و بیشینه اکسیژن و هیدروژن نیز به ترتیب از کمترین تاثیر برخوردارند و با حذف هریک از این فاکتورها، میزان خطا افزایشی نداشته و مدل همچنان با دقت بالایی مدل‌سازی را انجام داده است.

برای بیان میزان تاثیر هریک از نقشه‌های فاکتور در پتانسیل‌یابی میادین نفتی از روش حذف یک متغیر و اجرای مدل با داده‌های باقی مانده استفاده گردید. برای انجام این کار مدل به تعداد نودهای ورودی، دوباره به اجرا در می‌آید، با این تفاوت که شبکه ایجاد شده در این مرحله بجای ۱۷ ورودی، دارای ۱۶ ورودی می‌باشد. نتایج این محاسبات در هر مرحله در شکل (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از حساسیت‌سنجی فاکتورهای مورد نظر می‌توان



شکل ۱۰: نمودار اثرگذاری فاکتورهای ورودی بر میزان RMSE

منحنی‌های تراز ساختاری نتایج تحقیق آنها را تحت شعاع قرار داده است. همانطور که بیان گردید، استفاده از نقشه‌های فاکتور زیر سطحی از جمله کلوزر و ناهمواری می‌تواند به میزان زیادی دقت نتایج را افزایش دهد. پورووال (۲۰۰۶) نیز با استفاده از مدل عصبی فازی ترکیبی، ۹۶ درصد از اندیس‌های معدنی در هند را مدل‌سازی کرد [۱۸] در نتیجه می‌توان گفت مدل شبکه عصبی فازی توسعه داده شده در این تحقیق با نتایج تحقیقات پیشین همخوانی داشته و توانسته است با دقت مناسبی میادین نفتی را مدل‌سازی کند.

۴- نتیجه‌گیری

اکتشاف نفت فرآیند بسیار پیچیده‌ای است که

در مقایسه با تحقیقات پیشین، عرب امیری و همکاران (۲۰۱۴) مدل توابع باور شهودی را به همراه فاکتورهای ژئوشیمی، آنامولی ثقل بوگه و مجاورت به طاق‌دیس‌ها به منظور پتانسیل‌یابی هیدروکربن در اهواز استفاده کردند و توانستند با نرخ موفقیت (SRC) ۷۲/۶۸ درصد دقت، مناطق پتانسیل بالای هیدروکربنی را مدل‌سازی کنند. نقشه تناسب بهینه بدست آمده توسط مدل، حدود ۲۴ درصد از منطقه مورد مطالعه را در طبقه تناسب بالا برای وقوع میادین نفتی طبقه‌بندی نمود که به ترتیب بیش از ۷۲ درصد از ذخایر آموزشی و بیش از ۶۵ درصد از ذخایر تست را پیش‌بینی نمود [۱۶]. می‌توان گفت که استخراج محسوس طاق‌دیس‌ها از نقشه سطحی زمین‌شناسی بجای

با کمک این الگوریتم‌ها شناسایی می‌شوند و اطلاعات تکمیلی با استفاده از عملیات لرزه‌نگاری دقیق و چاه‌های اکتشافی صورت می‌گیرد. با این تفاوت که احتمال خطا نسبت به قبل بسیار کاهش خواهد یافت. در نتیجه این تکنیک‌ها می‌توانند با جلوگیری از تلاش بیهوده روی مناطق کم پتانسیل و با پوشش سریع در مناطق بزرگ، از هدر رفتن سرمایه‌ها جلوگیری کنند. می‌توان گفت که وجود نگرشی بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی، می‌تواند در فراهم آوردن اطلاعات ارزشمند از داده‌های اولیه، به منظور مدل‌سازی پهنه‌های نفتی مورد استفاده قرار گیرد.

۵- پیشنهادات

- باتوجه به نتایج مثبت مدل عصبی فازی در فرایند مدل‌سازی پهنه‌های نفتی، می‌توان عملکرد سایر روش‌های داده مبنا مانند SVM و ژنتیک را نیز مورد آزمون قرار داد.
- باتوجه به این که منابع نفتی در اعماق مختلف زمین و در لایه‌های چینه‌ای مختلف یافت می‌شوند، در نتیجه در یک مکان، ممکن است در چندین افق میادین نفتی وجود داشته باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در فرایند مدل‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، بخصوص منحنی‌های تراز ساختاری مربوط به سازندهای دیگر نیز وارد مدل گردد.
- منطقه مورد مطالعه برای این تحقیق، برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ اهواز بود، می‌توان مدل‌های بررسی شده در این تحقیق را در مناطق نفت خیز دیگر نیز مورد آزمون قرار داد.
- واقعیت این است که تکنولوژی GIS در صنعت نفت بسیار کمتر از بخش معدن کار شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند یک پیام و امید برای پیوند بیشتر آنها باشد و در آینده شاهد

ضمن دخیل نمودن داده‌های متنوع و حجیم، هزینه و زمان زیادی را می‌طلبد. در این تحقیق با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل شبکه عصبی فازی موسوم به ANFIS، اقدام به تهیه مدلی شد که می‌تواند در مراحل اکتشاف نفت بسیار مفید واقع شود. فاکتورهای موثر در اکتشاف نفت با استفاده از نظرات کارشناسان و مطالعات کتابخانه‌ای شناسایی شدند. اطلاعات خام ورودی با استفاده از توابع موجود در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، مورد پردازش قرار گرفتند و ۱۷ نقشه‌ی فاکتور نفت، شامل ۱۲ نقشه‌ی بدست آمده از مقادیر متوسط و بیشینه پارامترهای ژئوشیمی، نقشه‌ی گسل‌ها، ناهم‌واری، انحناء و کلوژر ایجاد شده از منحنی‌های تراز ساختاری سازند آسماری، آنومالی ثقل بوگه به همراه نقشه‌ی میادین نفتی منطقه تهیه شدند. به منظور مدل‌سازی میادین نفتی از مدل ترکیبی سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی (ANFIS) استفاده گردید. بدین منظور پس از آموزش شبکه و اصلاح توابع عضویت فازی، در نهایت نقشه‌ی میادین نفتی بدست آمد. نتایج اعتبارسنجی مدل با شاخص‌های مختلف نشان داد که مدل مذکور می‌تواند با دقت بالایی در پیش بینی میادین نفتی مورد استفاده قرار گیرد. نتایج تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی نشان داد که فاکتورهای کلوژر، گسل و آنومالی ثقل بوگه بیشترین و فاکتورهای ژئوشیمی و انحناء کمترین اثرگذاری را روند مدل‌سازی دارند. در نتیجه مدل سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی (ANFIS) به کار رفته در این تحقیق می‌تواند برای پیش‌بینی مناطقی که شرایط منطقه وجود منابع نفتی را تایید می‌کنند و نیز برای کارهای اکتشافی بیشتر با استفاده از مناطق پیش‌بینی شده به‌عنوان راهنمای اکتشاف مورد استفاده قرار گیرد. از آنجا این روش‌ها به‌طور محتمل نمی‌توانند مناطق نفتی را تشخیص دهند لذا در مرحله اول، مناطق مستعد نفتی

سیاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند تا از شرکت ملی اکتشاف نفت ایران به منظور فراهم آوردن امکانات و داده های مورد نیاز و همچنین حمایت مالی از پژوهش قدردانی و تشکر نمایند.

کاربردهای گسترده GIS در بخش های مختلف صنعت نفت باشیم تا با کاهش هزینه های اکتشاف و بهره وری بیشتر در بخش های بالادستی و پایین دستی نفت و همچنین بالندگی روزافزون تکنولوژی GIS در کشورمان باشیم.

مراجع

- [1] N. J. Hyne, "Geology for petroleum exploration, drilling and production," 1984.
- [2] R Bott, & DM. Carson. Canada's Evolving Offshore Oil and Gas Industry: Canadian Centre for Energy Innovation, 2007.
- [3] E. J. M. Carranza, F. Van Ruitenbeek, C. Hecker, M. van der Meijde, and F. D. van der Meer, "Knowledge-guided data-driven evidential belief modeling of mineral prospectivity in Cabo de Gata, SE Spain," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 10, pp. 374-387, 2008.
- [4] J. Malczewski, GIS and multicriteria decision analysis: John Wiley & Sons, 1999.
- [5] K. A. Barrell, "GIS: The exploration and exploitation tool," Geographic information systems in petroleum exploration and development, vol. 4, pp. 237-248, 2000.
- [6] G. F. Bonham-Carter, "Geographic Information Systems for geoscientists-modeling with GIS," Computer methods in the geoscientists, vol. 13, p. 398, 1994.
- [7] M. Nikravesh, L. A. Zadeh, and F. Aminzadeh, Soft computing and intelligent data analysis in oil exploration vol. 51: Elsevier, 2003.
- [8] J. H. Park, I. Y. Park, Y. C. Kwun, and X. Tan, "Extension of the TOPSIS method for decision making problems under interval-valued intuitionistic fuzzy environment," Applied Mathematical Modelling, vol. 35, pp. 2544-2556, 2011.
- [9] A. Porwal, E. Carranza, and M. Hale, "Artificial neural networks for mineral-potential mapping: a case study from Aravalli Province, Western India," Natural resources research, vol. 12, pp. 155-171, 2003.
- [10] S. Jain and M. Khare, "Adaptive neuro-fuzzy modeling for prediction of ambient CO concentration at urban intersections and roadways," Air Quality, Atmosphere & Health, vol. 3, pp. 203-212, 2010.
- [11] S. Zargani, R. Vaughan, and A. Missallati, "Spatial integration of geological datasets for predictive hydrocarbon studies in Murzuq basin, SW Libya," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International, 2003, pp. 991-993.
- [12] L. Bingham, R. Zurita-Milla, and A. Escalona, "Geographic information system-based fuzzy-logic analysis for petroleum exploration with a case study of northern South America," AAPG bulletin, vol. 96, pp. 2121-2142, 2012.
- [13] A. Aydemir, "Hydrocarbon potential of the Tuzgolu (Salt Lake) Basin, Central Anatolia, Turkey: a comparison of geophysical investigation results with the geochemical data," Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 61, pp. 33-47, 2008.
- [14] Wang, B., Wang, X., & Chen, Z. (2013). A hybrid framework for reservoir characterization using fuzzy ranking and an artificial neural network. Computers & Geosciences, 57, 1-10.
- [15] M. Rousta, "Study the oil potential of the structural zone of Qom - Ardestān formation

- in GIS", Master's Thesis, Amirkabir University of Technology, 2008.
- [16] M. A. Amiri, M. Karimi, and A. A. Sarab, "Hydrocarbon resources potential mapping using the evidential belief functions and GIS, Ahvaz/Khuzestan Province, southwest Iran," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 8, pp. 3929-3941, 2014.
- [17] Asadi, H. H., Porwal, A., Fatehi, M., Kianpouryan, S., & Lu, Y. J. "Exploration feature selection applied to hybrid data integration modeling: Targeting copper-gold potential in central Iran". *Ore Geology Reviews*, 71, 819-838, 2015
- [18] Porwal, A., & Carranza, E. J. M. (2015). Introduction to the Special Issue: GIS-based mineral potential modelling and geological data analyses for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 71, 477-483.
- [19] Brown, W. M., Gedeon, T. D., & Groves, D. I, "Use of noise to augment training data: a neural network method of mineral-potential mapping in regions of limited known deposit examples". *Natural Resources Research*, 12(2), 141-152, 2003.
- [20] Singer, D. A., & Kouda, R, Application of a feedforward neural network in the search for Kuroko deposits in the Hokuroku district, Japan. *Mathematical Geology*, 28(8), 1017-1023, 1996.
- [21] Hosseinali, F., & Alesheikh, A. A, "Weighting spatial information in GIS for copper mining exploration". *American Journal of Applied Sciences*, 5(9), 1187-1198, 2008.
- [22] Bui, D. T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B, "Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS". *Computers & Geosciences*, 45, 199-211, 2012.
- [23] Pradhan, B., Sezer, E. A., & Gokceoglu, C, "Erratum to: Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley, Malaysia". *Expert Systems with Applications*, 40(6), 2360, 2013.
- [24] S. Sherkati and J. Letouzey, "Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran," *Marine and petroleum geology*, vol. 21, pp. 535-554, 2004.
- [25] A. Nairn and A. Alsharhan, *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East*: Elsevier, 1997.
- [26] J.-S. R. Jang, "Fuzzy Modeling Using Generalized Neural Networks and Kalman Filter Algorithm," in *AAAI*, 1991, pp. 762-767.
- [27] J.-S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 23, pp. 665-685, 1993.
- [28] J.-S. R. Jang, "Input selection for ANFIS learning," in *Proceedings of the fifth IEEE international conference on fuzzy systems*, 1996, pp. 1493-1499.
- [29] J. C. Bezdek, R. Ehrlich, and W. Full, "FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm," *Computers & Geosciences*, vol. 10, pp. 191-203, 1984.
- [30] Nouri, R., Farokhnia, A., Morid, S., and Riahi Modvar, H. 2009. Effect of input variables preprocessing in artificial neural network on monthly flow prediction by PCA and wavelet transformation. *Water and Wastewater*. 20: 1. 13-22.
- [31] L.-X. Wang, *A course in fuzzy systems*: Prentice-Hall press, USA, 1999.
- [32] Hunt, John M., R. Paul Philp, and Keith A. Kvenvolden. "Early developments in petroleum geochemistry." *Organic Geochemistry* 33.9 (2002): 1025-1052.
- [33] Waples, Douglas W, "Geochemistry in petroleum exploration" Springer Science & Business Media, 2013.
- [34] R. McQuillin, M. Bacon, and W. Barclay, "An introduction to seismic interpretation-Reflection seismics in petroleum exploration," 1984.

- [35] S. J. Riley, "Index That Quantifies Topographic Heterogeneity," ed, 1999.
- [36] C. H. Grohmann, M. J. Smith, and C. Riccomini, "Multiscale analysis of topographic surface roughness in the Midland Valley, Scotland," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 49, pp. 1200-1213, 2011.
- [37] F. D. Mango, "The origin of light hydrocarbons in petroleum: ring preference in the closure of carbocyclic rings," *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 58, pp. 895-901, 1994.
- [38] Y. Pan, "Interpretation and Seismic Coordination oi the Bouguer Gravity Anomalies Obtained in Southwestern Taiwan," 1968.
- [39] J. R. Jensen and K. Lulla, "Introductory digital image processing: a remote sensing perspective," 1987.



Spatial modeling of oil exploration areas using adaptive inference systems neuro - fuzzy (ANFIS) in GIS

Nooredin Misagh ^{*1}, Najme Neisany Samany², Ataollah Abollahi Kakroodi³, Seyed Kazem Alavipanah⁴, Abbas Bahrودي⁵

1- Master of remote Sensing and GIS in in Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran

2- Assistant professor in Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran

3- Assistant professor in Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran

4- Professor in Department of Remote Sensing and GIS, College of Geography, University of Tehran

5- Assistant professor in Department of Mining engineering, College of Mining engineering, University of Tehran

Abstract

The exploration of hydrocarbon resources as a process is very complex and costly. In this process multiple factors of geology, geochemistry and geophysics are considered and combined together. Designing the best route to take seismic data and determine the best location for drilling exploration wells is extremely important. Since improper or careless determine the selection of location is time consuming and expensive during the operation. The aim of this study was to identify possible areas for oil and gas in the map of 1: 250,000 Ahvaz with 20 oil fields using adaptive inference systems neuro - fuzzy (ANFIS) and geographic information systems (GIS). For this purpose, 17 maps of factors including: the lowest and highest value (total organic carbon (TOC), potential for the production of hydrocarbons (PP), peak Tmax, the production index (PI), oxygen index (OI), hydrogen index (HI)) and the proximity to areas of high bouguer gravity anomaly, anticline axis and faults, map the topography and curvature of the yield curve Asmari subsurface were created by GIS functions. For combined factor map, the adaptive inference systems neuro - fuzzy (ANFIS) that is data-driven methods were used. The results of test data showed that the model with a $R = 0.839$, $RMSE=0.0339$ and the $Kappa=0.859$ was able to accurately predict the oil fields, but fields such as Shaver and Sepehr have not been identified and Also some areas were mistakenly classified oil fields.

Key words: Ahvaz, Modeling, ANFIS, GIS, Oil fields