

الله اعلم
٢



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف نفت

تخمین تخلخل سنگ مخزن از آنالیز تصاویر مقاطع نازک و مقایسه نتایج بدست آمده با
سایر روشهای پتروفیزیکی

نگارنده: جواد قیاسی فریز

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیایی

دکتر علی کدخدایی

استاد مشاور: مهندس جواد هنرمند

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته اکتشاف نفت

دی ۱۳۸۹

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که در سایه سار وجودشان بالیدم

... اوست خدایی که شما را از زمین بیافرید

و برای آباد ساختن آن برگماشت...

قرآن کریم، سوره هود، آیه ۶۱

تشکر و سپاسگزاری

خداوند متعال را سپاس که مرا در تمامی مراحل زندگی یار و یاور بوده و الطاف بیکران خویش را از من دریغ ننموده است. اینک که به توفیق حق، پایان نامه را به پایان رسانده ام وظیفه خود می دانم که از پدر و مادر مهربان و صبورم تشکر و قدردانی کنم.

از آقای دکتر منصور ضیایی و آقای دکتر علی کدخدایی، که زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و با رهنمودهایشان مرا تا پایان مسیر کمک کردند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از آقای مهندس جواد هنرمند، رئیس گروه زمین شناسی پژوهشگاه صنعت نفت که مشاورت این پایان نامه را بر عهده داشتند، جهت مساعدت و همکاری های لازم تشکر و قدردانی می کنم.

از آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک و آقای دکتر حسین خسروی استادیار دانشکده مهندسی برق و الکترونیک که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

پایان نامه حاضر با کمک و همکاری علمی و مادی شرکت نفت و گاز پارس انجام شده و بر خود لازم می دانم از همکاری صمیمانه مهندسین و مشاورین این شرکت، بویژه سرکار خانم مهندس خرم و آقای مهندس پرتقالی بخاطر همکاری های لازم در تصویب پروژه، مشاوره و جمع آوری داده های لازم، تشکر و سپاسگزاری نمایم.

از کلیه عزیزان از جمله دکتر صادقیانی، مهندس مهدی صدیقی و مهندس مهدی ضیایی بخاطر همکاری ها و مساعدات لازم تشکر و قدردانی می کنم.

چکیده

ویژگی‌های مخزن نقش بسیار مهمی در ارزیابی موفقیت اقتصادی، مدیریت و توسعه مخزن ایفا می‌کنند. تخلخل و تراوایی از مهمترین خصوصیات سنگ مخزن هستند که برای مدلسازی پتروفیزیکی مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صنعت نفت این پارامترها در آزمایشگاه و با استفاده از روش‌های تزریق هلیوم و هوای خشک اندازه‌گیری می‌شوند. استفاده از روشهای آزمایشگاهی معمولاً زمانبر و پرهزینه بوده و در همه شرایط ممکن نمی‌باشد و همیشه نمی‌تواند پاسخگوی تمام نیازهای مهندسين و کارشناسان باشند. در سالهای اخیر با پیشرفت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کامپیوترها، استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی و آنالیز تصویر در صنعت نفت گسترش یافته است. با هدف کاهش هزینه‌ها و زمان در مطالعات مخزنی، مطالعه حاضر را به دو بخش تقسیم کرده‌ایم: در قسمت اول تلاش شده تا با تکیه بر مطالعه پتروگرافی و هوش مصنوعی رهیافتی کاربردی برای تخمین تخلخل و تراوایی از روی تصاویر مقاطع نازک ارائه شود. برای این منظور، دوازده مشخصه پتروگرافی از هر مقطع استخراج شده و با استفاده از سه تکنیک شبکه عصبی، منطق فازی و روش نروفازی مقدار تخلخل و تراوایی تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد تکنیکهای هوشمند در تخمین تخلخل و تراوایی موفق عمل کرده‌اند و تخلخل را به ترتیب با خطای ۰.۰۲۵۶، ۰.۰۲۱۴، ۰.۰۲۲۶ درصد و تراوایی را به ترتیب با خطای ۰.۰۱۳۹، ۰.۰۰۶۱، ۰.۰۰۸۵ میلی داریسی پیش‌بینی کرده‌اند. در ادامه، برای افزایش دقت در تخمین تخلخل و تراوایی از دو نوع ماشین‌کمیت‌های استفاده شد که ماشین‌کمیت‌های مبتنی بر الگوریتم ژنتیک دقیق‌ترین پیش‌بینی را از این دو ویژگی پتروفیزیکی داشته و به ترتیب تخلخل و تراوایی را با دقت ۰.۰۱۶۵ درصد و ۰.۰۰۵۶ میلی داریسی پیش‌بینی کرده است که مقایسه تخلخل ماشین‌کمیت‌های با تخلخل مغزه در چاه مورد مطالعه، ضریب همبستگی ۷۶ درصد و مقایسه تراوایی ماشین‌کمیت‌های با تراوایی مغزه، ضریب همبستگی ۹۴.۲ درصد را نشان می‌دهد. در قسمت دوم این پایان‌نامه، با تکیه بر روشهای آنالیز تصویر و تشخیص الگو تلاش شده است تا الگوریتمی خودکار برای تفکیک انواع مختلف فضاهای خالی در تصاویر مقطع نازک ارائه شود. در الگوریتم ارائه

شده برای طبقه بندی فضاهای خالی از توابع تفکیک کننده خطی، درجه دوم و ماهالانوبیس استفاده شده است. خطای الگوریتم به دو روش بررسی شده است که در هر دو روش مشخص شد، الگوریتم قادر به تفکیک انواع فضاهای خالی با دقت قابل قبول و مناسبی می باشد. تابع تفکیک کننده خطی بهترین جدایش را برای فضاهای درون دانه ای و بیوملدیک به ترتیب با خطای ۹ و ۱ درصد، تابع تفکیک کننده درجه دوم بهترین جدایش را از فضاهای قالبی کامل و قالبی ناقص به ترتیب با خطای ۶ و ۹ درصد و تابع تفکیک کننده ماهالانوبیس بهترین جدایش را از فضاهای بین دانه ای با خطای ۱۰ درصد، داشته است. در روش دوم بررسی دقت الگوریتم مشخص شد، بهترین طبقه بندی به ترتیب برای تخلخل بیوملدیک، قالبی کامل، درون دانه ای، بین دانه ای و قالبی ناقص با دقت ۱۰۰، ۹۲، ۸۲، ۷۵ و ۶۸ درصد انجام شده است.

کلمات کلیدی: مخزن هیدروکربور، سیستمهای هوشمند، ماشین کمیته، آنالیز تصویر، تشخیص الگو

فهرست مطالب

صفحه

فصل اول: کلیات	۲
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- اهداف مطالعه	۳
۳-۱- روش مطالعه	۴
۴-۱- ناحیه مورد مطالعه	۵
۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی	۶
۲-۴-۱- تاریخچه حفاری میدان	۷
۳-۴-۱- ساختار میدان پارس جنوبی	۸
۱-۳-۴-۱- سازند کنگان	۸
۲-۳-۴-۱- سازند دالان	۱۱
۵-۱- مطالعات و کارهای قبلی	۱۳
۶-۱- ساختار پایان نامه	۱۳
فصل دوم: ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی و مخزنی در سازندهای کنگان و دالان	۱۸
۱-۲- مقدمه	۱۹
۲-۲- تخلخل	۲۰
۳-۲- طبقه‌بندی تخلخل در سنگهای کربناته	۲۰
۴-۲- انواع تخلخل در سازندهای کنگان و دالان	۲۲
۱-۴-۲- تخلخل بین دانه‌ای	۲۲
۲-۴-۲- تخلخل بین بلوری	۲۲
۳-۴-۲- تخلخل درون دانه‌ای	۲۳
۴-۴-۲- تخلخل قالبی	۲۳
۵-۴-۲- تخلخل حفره‌ای	۲۴

۲۵.....	۲-۴-۶- ریز تخلخلها
۲۵.....	۲-۵- اندازه گیری تخلخل
۲۷.....	۲-۵-۱- لاگ نوترون
۲۸.....	۲-۵-۲- لاگ چگالی (دانسیته)
۲۸.....	۲-۵-۳- لاگ صوتی
۲۸.....	۲-۶- تراوایی
۳۱.....	۲-۷- روند تغییرات تخلخل و تراوایی در سازندهای کنگان و دالان
۳۷.....	فصل سوم: سیستم های هوش مصنوعی
۳۸.....	۳-۱- مقدمه
۳۸.....	۳-۲- شبکه عصبی
۳۹.....	۳-۲-۱- ساختار شبکه عصبی مصنوعی
۳۹.....	۳-۲-۱-۱- نرون
۴۱.....	۳-۲-۱-۲- لایه
۴۲.....	۳-۲-۲- آموزش شبکه عصبی
۴۳.....	۳-۲-۳- مزایا و معایب شبکه عصبی
۴۴.....	۳-۲-۴- نگاهی به جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب
۴۴.....	۳-۳- سیستم فازی
۴۴.....	۳-۳-۱- مجموعه کلاسیک و مجموعه فازی
۴۹.....	۳-۳-۲- سیستم استنتاج فازی
۵۱.....	۳-۳-۳- نگاهی به جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب
۵۲.....	۳-۴- سیستم های نروفازی
۵۲.....	۳-۴-۱- محدودیتهای سیستم تطبیقی نروفازی
۵۴.....	۳-۵- الگوریتم ژنتیک

۵۵.....	۳-۵-۱- مراحل کار الگوریتم ژنتیک.....
۵۶.....	۳-۵-۲- نگاهی به جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب
۵۷.....	۳-۶- ماشین کمیته مبتنی بر سیستم های هوشمند
۵۹.....	۳-۷-۷- پردازش تصویر
۵۹.....	۳-۷-۱- تصویر دیجیتال
۶۰.....	۳-۷-۲- مطالعه سیستم منافذ با استفاده از تحلیل تصاویر
۶۰.....	۳-۷-۲-۱- تهیه مقاطع نازک با /پوکسی آبی رنگ
۶۱.....	۳-۷-۲-۲- تهیه تصاویر از مقاطع نازک
۶۲.....	۳-۷-۲-۳- قطعه بندی تصویر
۶۲.....	۳-۷-۲-۴- استخراج ویژگی های هندسی لازم برای تشخیص الگو
۶۳.....	۳-۷-۲-۵- استفاده از روشهای رده بندی برای تفکیک الگوها
۶۶.....	فصل چهارم: پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی.....
۶۷.....	۴-۱- مقدمه
۶۸.....	۴-۲- آماده سازی داده ها.....
۶۸.....	۴-۲-۱- داده ها لازم برای تخمین تخلخل و تراوایی
۷۱.....	۴-۲-۲- انتخاب داده های آموزشی مناسب
۷۸.....	۴-۲-۵- آماده کردن داده ها
۷۹.....	۴-۳- تخمین تخلخل با استفاده از سیستم های هوشمند.....
۷۹.....	۴-۳-۱- تخمین تخلخل با استفاده از شبکه عصبی
۸۱.....	۴-۳-۲- تخمین تخلخل با استفاده از منطق فازی
۸۴.....	۴-۳-۳- تخمین تخلخل با استفاده از مدل نروفازی
۸۶.....	۴-۳-۴- ماشین کمیته
۸۶.....	۴-۳-۴-۱- ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری
۸۷.....	۴-۳-۴-۲- ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

۴-۴ - پیش بینی تراوایی	۹۰
۴-۴-۱ - پیش بینی تراوایی با استفاده از شبکه عصبی	۹۰
۴-۴-۲ - تخمین تراوایی با استفاده از منطق فازی	۹۱
۴-۴-۳ - تخمین تراوایی با استفاده از سیستم نرو فازی	۹۲
۴-۴-۴ - ماشین کمیته	۹۳
۴-۴-۴-۱ - ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری	۹۳
۴-۴-۴-۲ - ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک	۹۵
۴-۵ - الگوریتم تفکیک کننده فضاهای خالی	۹۶
۴-۵-۱ - داده ها لازم برای الگوریتم تفکیک کننده فضاهای خالی	۹۶
۴-۵-۲ - انتخاب داده های آموزشی	۹۹
۴-۵-۳ - جداکردن فضاهای خالی از سایر بخش های تصویر	۱۰۳
۴-۵-۴ - استخراج ویژگی های هندسی مربوط به فضاهای خالی	۱۰۵
۴-۵-۵ - تفکیک فضاهای خالی با استفاده از آنالیز تفکیک کننده تحت نظارت	۱۰۶
۴-۵-۶ - محاسبه خطا الگوریتم بر اساس مساحت محاسبه شده	۱۰۸
۴-۵-۷ - محاسبه دقت الگوریتم بر اساس پارامترهای هندسی	۱۱۲
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات	۱۱۴
منابع	۱۱۹
ضمیمه	۱۲۱

فهرست شکل‌ها

صفحه

شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی و گنبد شمالی واقع در خلیج فارس	۶
شکل ۱-۲: انواع مختلف تخلخل	۲۶
شکل ۱-۲: تغییرات تخلخل در واحد K_1	۳۳
شکل ۲-۲: تغییرات تراوایی در واحد K_1	۳۳
شکل ۳-۲: تغییرات تخلخل در واحد K_2	۳۴
شکل ۴-۲: تغییرات تراوایی در واحد K_2	۳۴
شکل ۵-۲: تغییرات تخلخل در واحد K_3	۳۵
شکل ۶-۲: تغییرات تراوایی در واحد K_3	۳۵
شکل ۷-۲: تغییرات تخلخل در واحد K_4	۳۶
شکل ۸-۲: تغییرات تراوایی در واحد K_4	۳۶
شکل ۱-۳: ساختار یک نرون با چندین ورودی	۴۰
شکل ۲-۳: شکل تابع LOG-SIGMOID	۴۰
شکل ۳-۳: شکل تابع TAN-SIGMOID	۴۱
شکل ۴-۳: شکل تابع PURELIN	۴۱
شکل ۵-۳: ساختار لایه‌ها در یک شبکه عصبی	۴۲
شکل ۶-۳: پنجره جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب	۴۵
شکل ۷-۳: محیط مشخص کردن پارامترهای شبکه عصبی	۴۶
شکل ۸-۳: تعریف عضویت در مجموعه کلاسیک و فازی	۴۷
شکل ۹-۳: قسمتهای اصلی تابع عضویت	۴۷
شکل ۱۰-۳: چهار نوع از توابع عضویت: دوزنقه ای (الف)، مثلثی (ب)، گوسی (ج)، زنگوله ای (د)	۴۹

- شکل ۳-۱۱: مراحل اصلی در پیش بینی مقدار تخلخل با استفاده از مدل فازی..... ۵۱
- شکل ۳-۱۲: شکل شماتیک از چهار ابزار موجود در جعبه ابزار منطق فازی ۵۳
- شکل ۳-۱۳: عملکرد سیستم تطبیقی نروفازی برای تنظیم پارامترهای توابع عضویت ۵۳
- شکل ۳-۱۴: محیط گرافیکی الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب ۵۷
- شکل ۳-۱۵: فلوچارتی از عملکرد ماشین کمیته ۵۸
- شکل ۳-۱۴: روند تهیه عکس از هر مقطع ۶۱
- شکل ۳-۱۷: شکل سمت راست، قطعه بندی شده تصویر سمت چپ است ۶۲
- شکل ۳-۱۸: بافت سلولی سالم بافت (الف) و بافت سلولی سرطانی (ب) ۶۵
- شکل ۳-۱۹: مقدار میانگین و انحراف معیار شدت رنگ برای دو نوع بافت سالم و سرطانی..... ۶۵
- شکل ۴-۱: تفاوت شکل هندسی فضاهای خالی ایزوله و فضاهای بهم پیوسته ۷۱
- شکل ۴-۲: نمودار رابطه بین تخلخل مغزه و مشخصه های پتروگرافی..... ۷۴
- شکل ۴-۳: نمودار رابطه بین تراوایی مغزه و مشخصه های پتروگرافی..... ۷۶
- شکل ۴-۴: شکل شماتیکی از شبکه عصبی بکار رفته برای تخمین تخلخل ۸۰
- شکل ۴-۵: همبستگی تخلخل پیش بینی شده با شبکه عصبی و تخلخل بدست آمده از آنالیز مغزه ... ۸۱
- شکل ۴-۶: توابع عضویت برای تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی ۸۲
- شکل ۴-۷: ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با منطق فازی و تخلخل مغزه ۸۴
- شکل ۴-۸: توابع عضویت برای تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی ۸۶
- شکل ۴-۹: ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با نروفازی و تخلخل مغزه ۸۷
- شکل ۴-۱۰: ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با میانگین گیری و تخلخل مغزه..... ۸۸
- شکل ۴-۱۱: همبستگی تخلخل ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و تخلخل مغزه ۸۹
- شکل ۴-۱۲: تخلخل ماشین کمیته و تخلخل واقعی بر حسب عمق در چاه مورد مطالعه ۹۰
- شکل ۴-۱۳: همبستگی تراوایی پیش بینی شده و تراوایی بدست آمده از آنالیز مغزه ۹۱

- شکل ۴-۱۴: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با منطق فازی و تراوایی مغزه ۹۲
- شکل ۴-۱۵: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با نروفازی و تراوایی مغزه ۹۴
- شکل ۴-۱۶: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با میانگین گیری و تراوایی مغزه ۹۴
- شکل ۴-۱۷: همبستگی تراوایی ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و تراوایی مغزه ۹۶
- شکل ۴-۱۸: تراوایی ماشین کمیته و تراوایی حاصل از مغزه بر حسب عمق در چاه ۱۲ ۹۷
- شکل ۴-۱۹: مفهوم انحراف از مرکز برای پیکسل های متصل بهم ۹۹
- شکل ۴-۲۰: تغییرات پارامترهای هندسی در مقابل انواع فضاهای خالی ۱۰۱
- شکل ۴-۲۱: پراکندگی پارامتر نسبت تصویر، فراخی و گردشگی برای پنج نوع فضای خالی ۱۰۳
- شکل ۴-۲۲: جدا کردن فضاهای خالی از سایر بخش های سنگ ۱۰۵
- شکل ۴-۲۳: تصویر قطعه بندی شده و تصویر باینری حاصل ۱۰۶
- شکل ۴-۲۴: تصاویر انتخاب شده برای تست الگوریتم تفکیک کننده ۱۰۶
- شکل ۴-۲۵: مقایسه دقت سه الگوریتم در شناخت فضای خالی منفرد ۱۱۴
- شکل الف-۱: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی بین دانه‌ای ۱۲۲
- شکل الف-۲: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی درون دانه‌ای ۱۲۳
- شکل الف-۳: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی قالبی کامل ۱۲۴
- شکل الف-۴: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی قالبی ناقص ۱۲۵
- شکل الف-۵: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی بیوملدیک ۱۲۶

فهرست جداول

صفحه

جدول ۱-۲: بازه تغییرات تخلخل و تراوایی در دو سازند کنگان و دالان.....	۳۱
جدول ۱-۴: بازه تغییرات مقدار ماتریکس و اندازه دانه ها در مقاطع مطالعه شده.....	۷۱
جدول ۲-۴: دقت شبکه های عصبی برای پیش بینی تخلخل.....	۷۸
جدول ۳-۴: دقت شبکه های عصبی برای پیش بینی تراوایی.....	۷۸
جدول ۴-۴: مقدار خطا برای سیستم های فازی با شعاع خوشه بندی متناظر آن.....	۸۲
جدول ۵-۴: مقدار خطا برای سیستم های نروفازی با شعاع خوشه بندی متناظر آن.....	۸۴
جدول ۶-۴: دقت شبکه های عصبی برای پیش بینی انواع فضاهای خالی.....	۱۰۲
جدول ۷-۴: مقدار درصد واقعی هریک از انواع تخلخل در تصاویر انتخاب.....	۱۱۰
جدول ۸-۴: مقدار درصد هر نوع فضای خالی بر اساس سیستم های تفکیک کننده.....	۱۱۱
جدول ۹-۴: مقدار خطای الگوریتم بر حسب نوع تابع تفکیک کننده.....	۱۱۲
جدول ۱-۵: مقایسه سیستم های هوشمند بر اساس دقت پیش بینی تخلخل.....	۱۱۸
جدول ۲-۵: مقایسه سیستم های هوشمند بر اساس دقت پیش بینی تراوایی.....	۱۱۸
جدول الف-۱: میانگین گردشگری، نسبت تصویر و فراخی در کلاسه های پنجگانه فضاهای خالی.....	۱۲۱

فصل اول:

کلیات

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه

محاسبه خصوصیات مخزنی و پیش بینی وضعیت تولید در بخشهای مختلف مخزن و چاه، وظیفه مهم مهندس نفت می باشد. با شناخت هر چه بهتر فاکتورهای موثر در تولید، می توان ارزیابی دقیق تری برای توسعه میدان انجام داد. تخلخل^۱ و تراوایی^۲ از مهمترین فاکتورهای سنگ مخزن هستند. برای مطالعه سنگ مخازن کربناته به دلیل هتروژنتی بالایی که دارند، از روشهای مختلفی استفاده میشود. در سالهای اخیر با پیشرفت سخت افزاری و نرم افزاری کامپیوترها، استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی در علوم مختلف گسترش یافته است و مطالعات گسترده ای در زمینه آنالیز تصاویر تهیه شده از مقاطع نازک و تاثیر پارامترهای بافتی و هندسی منافذ بر خواص فیزیکی سنگ انجام شده است. آنالیز تصاویر مقاطع نازک را می توان از دو دیدگاه مورد بررسی قرار دارد. در دیدگاه اول تلاش میشود تا با تکیه بر روشهای پردازش تصویر و تشخیص الگو بخش های مختلف تصویر را بررسی و از هم تفکیک کرد. به عنوان مثال در یک تصویر مقطع صیقلی که در برگیرنده ترکیبی از دو نوع فلز طلا و پیریت است، می توان الگوریتمی برای تفکیک خودکار این دو فلز ارائه داد. در دیدگاه دوم می توان از آنالیز تصویر و ویژگی های پتروگرافی به عنوان ابزاری برای پیش بینی پارامترهای پتروفیزیکی مانند خواص ژئومکانیکی، تخلخل، تراوایی و سرعت امواج در سنگ استفاده کرد.

در سال های اخیر استفاده از سیستم های هوش مصنوعی برای ارزیابی و شناخت خواص پتروفیزیکی مخزن، ارائه مدل های کارآمد در مطالعات نفتی و مسائل مبهم و پیچیده بسیار گسترش یافته است که انتشار پایان نامه ها و مقالات مختلف گواه این مطلب است. با توجه به کارآمدی سیستم های هوش

¹ Porosity

² Permeability

مصنوعی در مطالعات مختلف نفتی، همواره تلاش شده تا با تکیه بر روشهای بهینه ساز دقت این سیستمها افزایش یابد.

۱-۲- اهداف مطالعه

اهداف مطالعه حاضر را می‌توان در دو بخش مجزا بیان کرد. در بخش اول با استفاده از آنالیز تصویر، مطالعه پتروگرافی و سیستمهای هوش مصنوعی، مدلی برای پیش بینی دو پارامتر مهم تخلخل و تراوایی ارائه شده است و در بخش دوم تلاش شده تا بر پایه روشهای تشخیص الگو، الگوریتمی خودکار و دقیق برای رده بندی و تفکیک پنج نوع مختلف از فضاهای خالی (شامل بین دانه‌ای، درون دانه‌ای، قالبی کامل، قالبی ناقص و بیوملدیک) ارائه شود. اهداف این مطالعه به صورت خلاصه در زیر آمده است:

۱- استفاده از آنالیز تصویر و تخمین تخلخل از مقاطع نازک و مقایسه با تخلخل حاصل از آنالیز مغزه

۲- استفاده از پارامترهای پتروگرافی و آنالیز تصویر برای تخمین تخلخل با استفاده از شبکه عصبی^۳،

سیستمهای فازی^۴ و سیستمهای نرو- فازی^۵

۳- استفاده از پارامترهای پتروگرافی و آنالیز تصویر برای تخمین تراوایی با استفاده از شبکه عصبی،

سیستمهای فازی و سیستمهای نرو- فازی

۴- کاهش خطا در پیش بینی تخلخل و تراوایی با استفاده از ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم

ژنتیک^۶

۵- مقایسه تخلخل و تراوایی پیش بینی شده با مقادیر واقعی آنها (حاصل از آنالیز مغزه) در یکی از

چاههای میدان گازی پارس جنوبی

³ Neural network

⁴ Fuzzy logic

⁵ Neuro-fuzzy

⁶ Genetic algorithm

۶- ارائه الگوریتمی کمی برای رده بندی و تفکیک فضاهای خالی سنگ مخزن با استفاده از آنالیز

تصاویر مقاطع نازک

۷- مقایسه نتایج الگوریتم ارائه شده و نتایج واقعی

۳-۱- روش مطالعه

اساس پروژه حاضر، استفاده از پردازش تصویر و سیستم های هوش مصنوعی برای تخمین پارامترهای تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم طبقه بندی فضاهای خالی است. آنالیز تصویر عبارت است از مجموعه ای از فرآیندهایی که با هدف شناخت پارامترهایی مخصوص و بارزسازی اطلاعات مورد نیاز، بر روی یک تصویر صورت می گیرد (Martinez, 2007). استفاده از این روش با پیشرفت کامپیوترهای با سرعت پردازش بالا و با توجه به هزینه پایین، در علوم مختلف گسترش یافته است و در همین راستا نرم افزارهای تخصصی متعددی برای کاربردهای مهندسی و پزشکی ارائه شده است. سیستمهای هوش مصنوعی، سیستمهایی هستند که بر پایه یکسری آموزش های اولیه قابلیت قضاوت و پیش بینی را پیدا می کنند. بدین معنی که یک سیستم هوشمند تعدادی داده را به عنوان ورودی و تعدادی را به عنوان خروجی می گیرد و با ایجاد یک رابطه خطی یا غیر خطی بین ورودی (ها) و خروجی (ها) توانایی پیش بینی را کسب می کند. اصطلاحاً به این بخش از کار آموزش سیستم گفته میشود. در مرحله بعد می توان از سیستم آموزش دیده برای داده های با ورودی معلوم و خروجی نامعلوم استفاده کرد. به طور کلی آنچه از آن تحت عنوان هوش مصنوعی یا محاسبه نرم یاد میشود، شامل محاسبه با استفاده از یک یا مجموعه ای از تکنیکهای زیر است. (کدخدایی، ۱۳۸۳)

۱- منطق فازی (FL)

۲- نرو - فازی (NF)

۳- شبکه های عصبی مصنوعی (ANN)

۴- استدلال مبنی بر احتمال (PB)

۵- الگوریتم ژنتیک (GA)

۶- سیستم های بی نظم (CS)

۷- Belief Networks (BN)

۸- تئوری یادگیری (LT)

استفاده از این سیستم ها در حل مسائل مبهم و پیچیده بسیار مفید بوده است و در بسیاری از موارد نتایج بهتری از روش های آماری مانند آنالیز رگرسیون و ... ارائه داده اند. در این مطالعه تلاش کرده ایم تا با بهره گیری از سه تکنیک شبکه عصبی، منطق فازی و سیستم نرو فازی مقدار تداخل و تراوایی را پیش بینی کنیم و سپس با کمک یک ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک نتایج حاصل از سه روش را با هم ترکیب کرده و خطا را به حداقل رسانیم. قابلیت ویژه ماشین کمیته ای در ترکیب مزایای هریک از سه روش و ارائه بهترین پیش بینی از تداخل و تراوایی می باشد. همچنین در بخش دوم مطالعه بر اساس تکنیکهای آنالیز تصویر، تشخیص الگو و رده بندی، الگوریتمی برای تشخیص پنج نوع تداخل غالب در تصاویر مقاطع نازک ارائه شده است. برای رسیدن به این هدف از روشهای رده بندی تحت نظارت^۷ استفاده شده است.

۴-۱- ناحیه مورد مطالعه

با توجه به اینکه مطالعه حاضر بر روی میدان پارس جنوبی (واقع در خلیج فارس) انجام شده است، در این قسمت مختصری از موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی خلیج فارس بیان میشود.

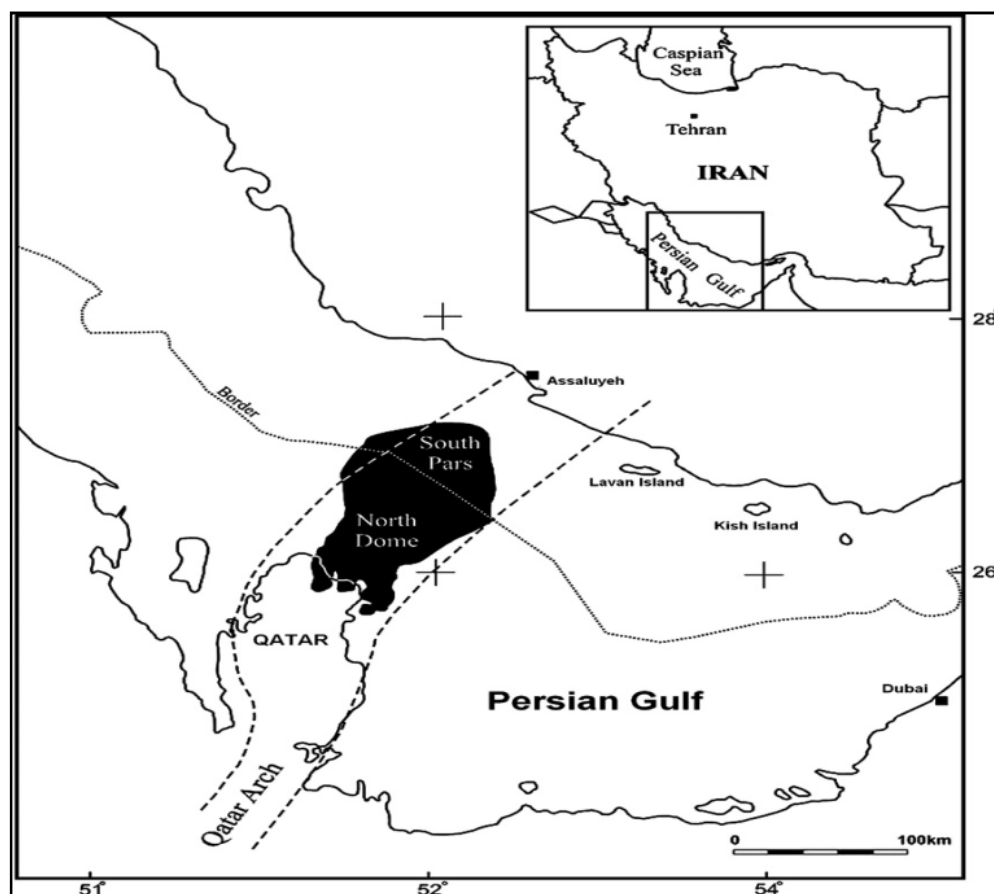
خلیج فارس در حاشیه شرقی منطقه عربی، بین عرضهای جغرافیایی ۲۳ تا ۳۰ درجه شمالی و طولهای جغرافیایی ۳۸ تا ۷۰ درجه شرقی واقع شده است. خلیج فارس ۱۰۰۰ کیلومتر طول و ۲۰۰ الی ۳۰۰ کیلومتر عرض دارد. عمق متوسط آن ۳۵ متر و حداکثر عمق آن ۱۰۰ متر است. این خلیج در حوضه ای

⁷ Supervised

تکتونیکی مربوط به اواخر پلیوسن تا پلیستوسن بوده که مورفولوژی آن بشدت تحت تاثیر فرآیندهای تکتونیکی قرار گرفته است. در ژئوسنکلینال خلیج فارس تا دوران دوم فعالیت تکتونیکی عمده ای رخ نداده است. از زمان پرمین، حرکت نمکهای پرکامبرین بصورت ساختمانهای دیاپیری و گنبدهای رشدی باعث ایجاد ساختمانهای زمین شناسی شده است. (آذین، ۱۳۸۸)

۱-۴-۱- موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی

میدان پارس جنوبی در موقعیت ۵۲ تا ۵۲.۵ درجه شرقی و ۲۶.۵ تا ۲۷ درجه شمالی قرار دارد. این میدان در سال ۱۹۹۰ میلادی کشف شد و در ۱۰۵ کیلومتری جنوب غربی بندر عسلویه در آبهای خلیج فارس واقع است، که ادامه میادین گازی گنبد شمالی امیرنشین قطر می باشد (شکل ۱-۱). مساحت کل این میدان ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع است که ۳۷۰۰ کیلومتر مربع از آن متعلق به ایران می باشد. سازندهای دالان و کنگان به سن پرموتریاس، مخازن اصلی این میدان را تشکیل می دهند که غالباً حاوی گاز و محصولات میعانی می باشد. این دو سازند به لحاظ لیتولوژی بیشتر از آهک، انیدریت و دولومیت می باشند. میدان پارس جنوبی و گنبد شمالی در کنار هم و با بیش از ۱۲۰۰ تریلیون فوت مکعب گاز درجا بزرگترین میدان گازی دنیا را تشکیل می دهند (Aali et al, 2006).



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی میدان پارس جنوبی و گنبد شمالی واقع در خلیج فارس (Aali et al, 2006)

۱-۴-۲- تاریخچه حفاری میدان

در سال ۱۳۶۷ عملیات لرزه نگاری دریایی در منطقه ای از آبهای خلیج فارس در مقابل آبهای قطر که بنام بلوک پنج نامیده شد، اطلاعات مهمی در مورد گسترش ناحیه شمالی ساختمان گنبد شمالی در کشور قطر بداخل آبهای ایران عرضه نمود. در آبهای ایران این ساختمان زمین شناسی به نام پارس جنوبی نامگذاری گردید. این مرحله برداشتهای لرزه نگاری منحصر به آبهای میانی و به موازات خط مرزی در خلیج فارس اختصاص یافت. عملیات فوق به منظور تامین اهداف اکتشافی در جهت کشف میادین مشترک جدید و مشخص نمودن حدود و وسعت میادین و یا ساختمانهای زمین شناسی مشترک شناخته شده بود. نتیجه این برداشتهای اولیه، کشف پدیده های مثبت زمین شناسی متعدد در مناطق مختلف

بوده که از آن جمله، ساختمان زمین شناسی پارس جنوبی است که ادامه یال شمالی میدان عظیم گازی شمال امیرنشین قطر می باشد. مرحله دوم لرزه نگاری که در سالهای ۱۳۶۸ تا ۱۳۶۹ در مناطق مختلف دیگر از جمله بخش شمال شرقی ساختمان پارس جنوبی انجام پذیرفت، ابعاد گسترده تر از وسعت میدان مزبور را در اختیار گذاشت و حد انتهایی سطح آب و گاز کسب شده از گزارشات منتشره در مجلات نفتی را تا اندازه قابل اطمینانی مشخص نمود. بر اساس اطلاعات حاصله از برداشتهای لرزه نگاری و حفاری اولین چاه اکتشافی در منطقه قله ی ساختمان، نزدیک به خط میانی آبهای خلیج فارس در اسفند ماه ۱۳۶۹ شروع گردید. عملیات حفاری این چاه در عمق ۳۵۲۲ متری در رسوبات فراقان در تاریخ ۱۳۷۰/۱۰/۱۱ به پایان رسید و نتیجه بررسیهای حفاری و آزمایشات بهره دهی وجود مواد هیدروکربوری در طبقات جهرم (نفت آسفالتی- قیر)، داریان، گدوان و فهلپان (نفت)، سورمه بالایی (نفت سنگین) و مقادیر عظیمی از هیدروکربورهای گازی در سازندهای کنگان و دالان را مشخص نمود (نجم آبادی، ۱۳۷۲).

۱-۴-۳- ساختار میدان پارس جنوبی

ساختمان پارس جنوبی و تداوم اصلی جنوبی آن که تحت عنوان گنبد شمالی قطر نامیده میشود، بر روی یک برجستگی قاعده ای ناحیه ای موسوم به قوس قطر^۸ قرار دارد، که از جنوب شبه جزیره قطر تا جنوب ناحیه فارس در ایران، امتداد داشته و خلیج فارس را به دو حوضه رسوبی تبخیری تقسیم می نماید. سازندهای کنگان و دالان با سن پرمین بالایی و تریاس زیرین (لطف پور و همکاران، ۱۳۷۹) مخزن اصلی ذخایر گازی خلیج فارس را تشکیل می دهند. در ادامه به توضیح این دو سازند پرداخته می شود.

۱-۴-۳-۱ سازند کنگان

کنگان نام دهکده ای در نزدیک میدان عظیم گازی کنگان در حاشیه خلیج فارس است که در ۱۷ کیلومتری جنوب بندر بوشهر قرار دارد. برش نمونه این سازند در چاه شماره یک کوه سیاه واقع در

^۸ Qatar arch

طاقدیزی به همین نام که در جنوب شرقی بوشهر و در شرق تاقدیس و گنبد نمکی خورموج قرار دارد، انتخاب شده است که دارای ضخامت ۱۷۸ متر در برش مقطع است و در چاه سطح الارضی کوه سورمه ضخامت این سازند به ۱۷۰ متر میرسد. سازند کنگان متعلق به تریاس زیرین است که مرز پایینی آن با سازند دالان ناپیوستگی دارد. مرز بالایی این سازند با بخش شیلی آغار از سازند دشتک پیوسته و هم شیب است. ضخامت این سازند در چاههای حفاری شده، ۱۵۰ تا ۱۵۵ متر می‌باشد. از لحاظ مخزنی این سازند به دو واحد K_1 و K_2 تقسیم میشود. ضخامت واحد K_1 تقریباً ۱۱۰ متر و ضخامت واحد مخزنی K_2 تقریباً ۴۰ تا ۴۵ متر است. هر کدام از این واحدها خود بر اساس لیتولوژی به چند زیر واحد تقسیم می‌شوند. واحد مخزنی K_1 بر اساس لیتولوژی به ۳ بخش تقسیم میشود که شامل واحد دولومیتی در بالا، واحد آهکی در وسط و واحد دولومیتی-انیدریتی در پایین است.

واحد K_1 که مصادف با بخش بالایی سازند کنگان است، شامل توالی دولومیت و آهک و لایه های انیدریتی میباشد. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی این واحد به سه زیر واحد مخزنی مجزا شامل K_{1a} و K_{1b} و K_{1c} تقسیم میشود. زیر واحد عمدتاً K_{1a} دولومیتی، و K_{1b} که اغلب آهکی و واحد K_{1c} شامل توالی دولومیت و آهک است. برخی لایه‌های انیدریتی ضخیم در مرز پایینی K_1 و در بخش بالایی این واحد توالی لایه‌های انیدریت و شیل دیده میشود (شیل آغار).

زیر واحد K_{1a} عمدتاً دولومیتی است. لایه‌های آهکی دانه پشتیبان در بخش بالایی این زیر واحد قرار دارد. اما اکثر رخساره های این زیر واحد گل پشتیبان هستند. وجود لایه‌ها و پلاگهای انیدریتی در بخش دولومیتی باعث کیفیت پایین تا متوسط مخزنی در این زیر واحد شده است.

زیر واحد K_{1b} به لحاظ سنگ شناسی اغلب آهکی و دولومیت آهکی است. البته برخی لایه‌های دولومیتی و دولومیت آهکی با رخساره گل پشتیبان وجود دارد. این زیر واحد به عنوان رخساره های گل پشتیبان با

کیفیت پایین مخزنی به خصوص در بخش بالایی به علت وجود پلاگهای انیدریتی و سیمانهای کلاستیک شناخته شده است. رخساره های دانه پشתיبان آهکی در بخشهای میانی این بازه با کیفیت متوسط تا بالای مخزنی وجود دارد. ولی در کل این زیر واحد دارای کیفیت پایین تا متوسط مخزنی است.

زیر واحد K_{1c} به لحاظ سنگ شناسی اغلب دولومیت با میان لایه های انیدریتی است. لایه های انیدریتی ضخیم به عنوان مرز پایینی این بخش که در واقع مرز بالایی K_2 است، شناخته می شوند. این بازه شامل رخساره های دانه پشתיبان با تعداد کمی رخساره های گل پشתיبان است. این زیر واحد به علت سیمانی شدن و پلاگهای انیدریتی با کیفیت پایین تا متوسط مخزنی شناخته شده است. برخی لایه های دولومیتی متخلخل دانه پشתיبان با کیفیت بالای مخزنی در بخش میانی و بالایی دیده میشود.

واحد K_2 به لحاظ سنگ شناسی غالباً دولومیت و لایه های انیدریتی (بخشهای بالایی) و آهک (بخشهای پایینی) است. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی این واحد، به دو زیر واحد مخزنی مجزا شامل K_{2a} و K_{2b} تقسیم میشود. زیر واحد K_{2a} عمدتاً دولومیتی با میان لایه های انیدریتی و K_{2b} اغلب آهکی با توالی دولومیت است.

زیر واحد K_{2a} بر اساس تفاوت خصوصیات مخزنی شامل دو بخش دانه پشתיبان و گل پشתיبان است. بخش بالایی رخساره گل پشתיبان با کیفیت پایین مخزنی و بخش پایینی رخساره دانه پشתיبان با کیفیت بالای مخزنی است. تخلخل غالب در این رخساره تخلخلهای بین بلوری و قالبی و بین دانه ای است. مقدار سیمانهای ثانویه انیدریتی ناچیز است که خود باعث حفظ تخلخل در این رخساره شده است.

زیر واحد K_{2b} به لحاظ سنگ شناسی غالباً آهک متخلخل با رخساره دانه پشתיبان است. البته تعدادی میان لایه های آهک دولومیتی، دولومیت آهکی به خصوص در بالای این زیر واحد وجود دارد. این بازه به خاطر وجود تخلخل قابل مشاهده دارای کیفیت مخزنی بالایی است و هیچ اثری از وجود ندولها و پلاگهای

انیدریتی در این زیر واحد دیده نمیشود. البته در برخی قسمت‌ها سیمان کلاستیک دیده میشود که روی کیفیت مخزنی اثر گذاشته است.

۱-۴-۳-۲- سازند دالان

سازند دالان با لیتولوژی آهک و دولومیت، یکی از بزرگترین مخازن گاز در حوضه خلیج فارس می‌باشد. نام این سازند از طاق‌دیزی به همین نام واقع در فاصله تقریبی ۱۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شیراز، انتخاب شده است و چاه شماره یک اکتشافی دالان در همین طاق‌دیس حفاری شده است. این سازند قبلاً به نام خوف خوانده میشد، که از محلی در شبه جزیره عربستان گرفته شده است. برش نمونه این سازند تحت الارضی است و در چاه اکتشافی شماره یک کوه سیاه بین اعماق ۲۸۶۹ تا ۳۶۱۷ متر قرار دارد و ضخامت آن به ۷۴۸ متر می‌رسد. قابل دسترس‌ترین برش سطحی این سازند در دامنه شرقی کوه سورمه قرار دارد که ضخامت این سازند در آنجا به ۶۳۸ متر می‌رسد. کوه سورمه در استان فارس و در ۱۱۰ کیلومتری جنوب شیراز قرار دارد. در چاه مورد مطالعه سازند دالان شامل واحدهای K_3 و K_4 است که از عمق ۲۹۱۳.۶ تا ۳۲۷۴.۷ متر قرار دارد.

واحد K_3 با ضخامت تقریبی ۱۲۵ متری به سن پرمین بالایی است. واحدهای K_4 با ضخامت تقریبی ۱۵۹ متری نیز به سن پرمین بالایی است. هر کدام از این واحدها خود بر اساس لیتولوژی به چند زیر واحد تقسیم میشوند. واحد مخزن K_3 بر اساس لیتولوژی به ۳ بخش دولومیتی تقسیم میشود.

واحد K_3 که مطابق با بخش بالایی سازند دالان است، اغلب شامل رخساره های دولومیتی گل پش‌تیبان است. البته تعدادی رخساره های آهکی، آهک دولومیتی و دولومیت آهکی به خصوص در بالای این واحد وجود دارد. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی واحد به سه زیر واحد مخزنی مجزا شامل

K_{3a} و K_{3b} و K_{3c} تقسیم میشود. از لحاظ خصوصیات مخزنی در قیاس با سایر واحدها به عنوان یک واحد غیرمخزنی شناخته میشود.

زیر واحد K_{3a} به لحاظ سنگ شناسی غالباً دولومیت است. البته تعدادی رخساره‌های آهکی، آهک دولومیتی، دولومیت آهکی به خصوص در بالای این واحد وجود دارد. این بازه شامل تناوبی از رخساره های گل پش‌تیبان و رخساره دانه پش‌تیبان است و تنها تعداد کمی لایه‌های متخلخل وجود دارد. در کل این بازه خصوصیات مخزنی پایین تا متوسط را داراست.

زیر واحد K_{3b} به لحاظ سنگ شناسی غالباً دولومیت با میان لایه‌هایی از انیدریت و ندولهای انیدریتی است. این زیر واحد به عنوان لایه‌های دولومیتی گل پش‌تیبان با پلاگهای انیدریتی ثانویه شناخته میشود. در نتیجه این زیر واحد به خاطر وجود تخلخلهای پر شده با سیمان انیدریتی جز واحدهای مخزنی طبقه بندی نمیشود.

زیر واحد K_{3c} از لایه‌های انیدریتی ضخیم در بالا و پایین تشکیل شده است. سنگ شناسی غالب این زیر واحد دولومیت با رخساره های غیرمتخلخل گل پش‌تیبان است. البته یک بازه کوچک چهار متری دانه پش‌تیبان در بخش پایینی این زیر واحد با خصوصیت مخزنی خوب مشاهده میشود.

واحد K_4 به عنوان توده مخزنی عمده در خلیج فارس شناخته شده است که بعد از توده های انیدریتی نار تهنشست شده است. در این واحد زیر واحدهای مخزنی با کیفیت بالا وجود دارد. سنگ شناسی غالب این واحد دولومیت، رخساره های آهکی در بخش میانی، آهک دولومیتی و دولوهیت آهکی است. بر اساس تفاوت خصوصیات سنگ شناسی و مخزنی این واحد، به سه زیر واحد مخزنی مجزا شامل K_{4a} و K_{4b} و K_{4c} تقسیم میشود. ضخامت K_{4a} اغلب دولومیتی با کیفیت مخزنی بالا، و K_{4b} اغلب آهکی و K_{4c} اغلب دولومیتی است.

زیر واحد K_{4a} به لحاظ سنگ شناسی غالباً دولومیت با تناوبی از رخساره های آهکی، آهک دولومیتی، دولومیت آهکی است. براساس خصوصیات مخزنی این زیر واحد کیفیت مخزنی مناسبی را نشان می دهد. به خاطر دولومیتی شدن ثانویه و انحلال دیاژنتیکی مقدار تخلخل در این زیر واحد افزایش یافته است.

زیر واحد K_{4b} ارائه کننده مهمترین بخش مخزنی میدان است. سنگ شناسی غالب این زیر واحد، آهک با تخلخل قالبی و به مقدار کمی آهک دولومیتی و دولومیت آهکی است. البته لایه های گل پشتیبان نیز در این زیر واحد مشاهده میشود که مقدار آن در مقایسه با بخش دانه پشتیبان ناچیز است. تخلخل قالبی و بین دانه ای تخلخل های غالب موجود به خصوص در بخش آهکی این بازه هستند.

زیر واحد K_{4c} به لحاظ سنگ شناسی غالباً دولومیت با لایه هایی از انیدریت است. البته لایه های دانه پشتیبان نیز در این زیر واحد مشاهده میشود و در کل تنوعی از کیفیت بد تا خوب مخزنی را به خاطر پدیده پلاگهای انیدریتی به خصوص در بخش زیرین دارا است.

۱-۵- مطالعات و کارهای قبلی

مطالعات گسترده و وسیعی در زمینه آنالیز تصویر و تفکیک بخشهای مختلف سنگ از هم انجام شده است. اهرلیچ^۹ از جمله پیشگامان در زمینه آنالیز تصویر و ارائه الگوریتمی برای شناخت فضاهای خالی می باشد که تلاش های گسترده ای برای رده بندی انواع مختلف تخلخل و تاثیر تخلخل حاصل از مقطع نازک بر فشار موینگی انجام داده است. او و همکارانش در سال ۱۹۹۱ الگوریتمی برای تشخیص فضاهای خالی سنگ ارائه دادند. این الگوریتم بر پایه سیکلهای رشد^{۱۰} و سایش^{۱۱} فضاهای خالی موجود در تصویر را مورد رشد و سایش قرار می داد. از جمله معایب آن می توان به وقتگیر بودن آن و عدم توانایی در

^۹ Ehrlich

^{۱۰} Dilate

^{۱۱} Erosin

مطالعه فضاهای خالی در یک تصویر اشاره کرد. همچنین این الگوریتم فضاهای خالی را در یک تصویر که حاوی چندین نوع فضای خالی باشد از هم تفکیک نمی‌کند. یکی دیگر از افرادی که مطالعات ارزشمندی در زمینه آنالیز تصاویر مقاطع نازک انجام داده انسلماتی^{۱۲} می‌باشد. او و همکارانش در سال ۱۹۹۸ از اولین افرادی بودند که تصاویر مقاطع نازک از یک مخزن ماسه سنگی را به لحاظ آماری مورد بررسی قرار دادند. Van den Berg و همکارانش در سال ۲۰۰۲، با آنالیز تصاویر مقاطع نازک الگوریتمی برای تشخیص دانه های تشکیل دهنده از سایر بخشهای تصویر ارائه کردند.

Marmo و همکارانش در سال ۲۰۰۵ با تکیه بر تکنیکهای پردازش تصویر و شبکه عصبی الگوریتمی بر تشخیص انواع مختلف بافت در سنگهای کربناته ارائه کردند. در این الگوریتم ابتدا تعدادی از ویژگیهای بافتی از هر تصویر استخراج میشود و سپس به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده میشود. این شبکه عصبی توانایی تفکیک چهار نوع بافت، شامل مادستون، وکستون، پکستون و گرینستون را فراهم می‌آورد. Smith and Beerman در سال ۲۰۰۷ مطالعه ای در زمینه تفکیک کریستالهای پلاژیوکلاست از سایر بخشهای سنگ در تصویر مقطع نازک انجام دادند.

Baykan and Yilmaz در سال ۲۰۱۰ با ترکیب تکنیکهای آنالیز تصویر و شبکه عصبی مدلی برای شناخت خودکار پنج نوع کانی در تصاویر مقاطع نازک ارائه دادند. در الگوریتم ارائه شده از ویژگیهای رنگی پیکسلها به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده شده است و با دقت ۹۰ درصد کانیهای کوارتز، مسکویت، بیوتیت، کلریت و اپک از هم تفکیک شده‌اند.

¹² Anselmetti

اسماعیل زاده و همکاران در سال ۲۰۱۰ با استفاده از آنالیز تصاویر TM مدلی برای تفکیک و شناخت دقیق زونهای نمکی در طاقدیس دهنو ارائه داند و مقایسه نتایج بدست آمده با روشهای ژئوفیزیکی نشان داد که پاسخهای حاصل از آنالیز تصویر قابل قبول بوده است.

در این مطالعه نیز با تکیه بر روش های آنالیز تصویر، تشخیص الگو و روشهای رده بندی، الگوریتمی خودکار برای تشخیص و رده بندی فضاهای خالی سنگ ارائه شده است.

علاوه بر مطالب گفته شده در تعداد زیادی از مطالعات از آنالیز تصویر به عنوان ابزاری برای پیش بینی خواص فیزیکی سنگ استفاده میشود. در این دسته مطالعات داده های پتروگرافی حاصل از آنالیز تصویر با تکنیکهایی مثل آنالیز رگرسیونی یا هوش مصنوعی (نظیر شبکه های عصبی و منطق فازی) ترکیب میشود.

شمس نیا (۱۳۸۵) تلاش کرد تا تاثیر هندسه منافذ بر کیفیت مخزنی را در سازندهای کنگان ودالان مورد بررسی قرار دهد. وی با تکیه بر آنالیز تصاویر و آنالیز رگرسیونی رابطه ای بین تخلخل مقطع نازک و تخلخل مغزه ایجاد کرد، که ضریب همبستگی بین این دو مقدار پایین تر از حد انتظار بوده است.

Anselmettie و همکارانش در سال ۱۹۹۸ با آموزش شبکه عصبی با چهار پارامتر پتروگرافی (تخلخل ماکرو، تخلخل میکرو، میانگین ضریب شکل هندسی و میانگین اندازه فضاهای خالی) تاثیر آنها را بر تراوایی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که میانگین اندازه فضاهای خالی کمترین تاثیر را بر تراوایی دارد.

Ali and Chawathe در سال ۱۹۹۹ با استخراج نوزده ویژگی پتروگرافی و شبکه عصبی مدلی برای پیش-بینی تراوایی در سنگ مخزن ارائه کردند و توانستند تراوایی را با دقت ۷۰ درصد پیش بینی کنند. این مطالعه قابلیت داده‌های پتروگرافی در پیش بینی تراوایی را نشان دادند.

ظهردبند (۱۳۸۱)، طالبی (۱۳۸۲) و ویسی (۱۳۸۶) با بکارگیری شبکه های عصبی و داده‌های چاه‌پیمایی مدلی برای پیش بینی تخلخل و تراوایی به ترتیب در میدین سیری (خلیج فارس)، پارسی و اهواز ارائه داده‌اند.

کدخدایی (۱۳۸۴) از تکنیک منطق فازی و خوشه سازی فازی برای تعیین تخلخل و تراوایی و رخساره های سنگی در بخش زیرین سازند کنگان استفاده کرد و به نتایج خوبی رسید. وی نشان داد که تکنیک منطق فازی در مقایسه با شبکه های عصبی از قابلیت بالاتری برای پیش بینی فاکتورهای مخزنی بر خوردار است و با اعتماد بیشتری می‌توان در مورد نتایج منطق فازی اظهار نظر کرد.

کدخدایی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ با تکیه بر مفهوم ماشین کمیت‌های مدلی برای پیش بینی مقدار کربن آلی در سنگ مخزن از داده‌های پتروفیزیکی ارائه دادند. مدل ارائه شده بالاترین دقت در پیش بینی مقدار کربن آلی را در میان سایر تکنیک‌های هوش مصنوعی دارد. این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از ماشین کمیت می‌توان ابزار سودمندی در افزایش دقت در مطالعات هوش مصنوعی باشد.

لبنی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ با کمک ماشین کمیت حاصل از روش های هوشمند، مدلی برای پیش بینی پارامترهای لاگ NMR از داده های چاه نگاری معمولی ارائه کردند. از نتایج این مطالعه مشخص است که ماشین کمیت دقیقترین پاسخ برای پارامترهای لاگ NMR را ارائه می‌دهد.

در مطالعه حاضر با تکیه بر قابلیت‌های هوش مصنوعی و داده های پتروگرافی بدست آمده از مقاطع نازک سه مدل جداگانه مبتنی بر شبکه عصبی، منطق فازی و نرو-فازی ایجاد شده و در پایان نتایج حاصل از

سه روش با تکیه بر مفهوم ماشین کمیته و الگوریتم ژنتیک با هم ترکیب شده و مدلی با کمترین خطا و بالاترین دقت ایجاد شده است.

۱-۶- ساختار پایان نامه

در ادامه مطالعه حاضر مطالب زیر بررسی شده است:

در فصل دوم تحت عنوان ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی سازندهای کنگان ودالان، مروری اجمالی بر نوع تخلخل و تراوایی در بخشهای مختلف این دو سازند داشته‌ایم و روند تغییرات آنها را در عمق‌های مختلف بررسی کرده‌ایم. خواننده با مطالعه این فصل شناخت دقیقی از این دو ویژگی مخزنی بدست می‌آورد.

فصل سوم با عنوان سیستم‌های هوشمند با هدف معرفی اجمالی از تکنیکهای هوشمند بکار رفته در این پایان نامه آمده است. در این بخش مبانی شبکه‌های عصبی، منطق فازی، سیستم نروفازی، الگوریتم ژنتیک، آنالیز تصویر و تشخیص الگو بیان شده است.

در فصل چهارم شرح کارها و نتایجی که با استفاده از تکنیک‌های هوشمند و ترکیب آنها با استفاده از میانگین‌گیری و الگوریتم ژنتیک برای تخمین تخلخل و تراوایی در سازند کنگان و دالان صورت گرفته، آمده است. همچنین مراحل مختلف ایجاد الگوریتم تفکیک کننده فضاهای خالی در تصاویر مختلف ذکر شده‌اند.

در فصل پنجم، جمع بندی کلی از نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر صورت گرفته است و بالاخره در فصل پایانی که تحت عنوان ضمیمه به پایان نامه افزوده شده، تصاویری از انواع پنجگانه فضاهای خالی که در الگوریتم تفکیک کننده از یکدیگر متمایز می‌شوند، آمده است.

فصل دوم:

ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی و مخزنی در سازندهای کنگان و دالان

فصل دوم: ارزیابی پارامترهای پتروفیزیکی و مخزنی در سازندهای کنگان و دالان

۲-۱- مقدمه

تخلخل و تراوایی از مهمترین ویژگی‌های سنگ مخزن به شمار می آیند. مقدار تخلخل مشخص کننده درصد فضاهای خالی موجود در سنگ است و تراوایی، توانایی عبور یک سیال از محیط متخلخل را نشان می دهد. برای اینکه یک سازند تراوا باشد، لازم است تا سازند متخلخل بوده و این فضاهای متخلخل به هم پیوسته باشند. معمولاً در مخازن ماسه سنگی به دلیل هموژن بودن، با افزایش تخلخل، مقدار تراوایی نیز افزایش می یابد ولی در مخازن کربناته که در اینجا نیز مورد بحث است، به دلیل هتروژن بودن، این امر همیشه صحت ندارد. تخلخل معمولاً با تزریق هلیم بر روی نمونه های تهیه شده از مغزه و یا از لاگهای چاه پیمایی و تراوایی با استفاده از تزریق هوا و یا روش تست چاه بدست می آید. روش های آنالیز مغزه معمولاً گران و زمانبر هستند و به آزمایشگاه و دستگاه های ویژه ای نیاز دارند. برای تعیین تراوایی از لاگ NMR نیز می توان استفاده کرد که این روش نیز پرهزینه است. با استفاده از یک سری فرمولهای تجربی نیز می توان تراوایی را از روی داده های چاه پیمایی بدست آورد ولی مطالعات متعددی نشان می دهد که این روش برای همه سازندها به خوبی جواب نمیدهد. در سالهای اخیر استفاده از سیستمهای هوش مصنوعی برای به حداقل رساندن زمان و هزینه، در مطالعات صنعت نفت گسترش یافته است و مهندسين به دنبال تکنیکهایی ارزان و در عین حال دقیق برای تعیین خواص مخزن بوده اند. در این فصل به معرفی مختصری از انواع تخلخل و تراوایی خواهیم پرداخت و روند تغییرات و مقدار این دو پارامتر را در سازندهای کنگان و دالان در چاه شماره ۱۲ میدان گازی پارس جنوبی بررسی خواهیم کرد. در فصلهای بعد به تخمین و رده بندی پارامترهای فوق الذکر با استفاده از سیستمهای هوشمند پرداخته شده است.

۲-۲- تخلخل

بنا به تعریف، تخلخل برابر است با نسبت حجم فضای خالی به حجم کل سنگ و حجم فضای خالی خود برابر است با تفاضل حجم کانی ها از حجم کل سنگ. معمولاً تخلخل به صورت درصدی بدون بعد نشان داده میشود. در یک مخزن هیدروکربور این فضاهای خالی محل تجمع یکی از سیالات آب، نفت یا گاز است. تخلخل را با حرف Φ نشان می‌دهند و برای محاسبه آن از یکی از فرمولهای زیر می‌توان استفاده کرد.

$$\Phi = \left(\frac{V_p}{V_b} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

$$\Phi = \left[\frac{V_b - V_g}{V_b} \right] \times 100 \quad (2.2)$$

$$\Phi = \left[\frac{V_p}{V_g + V_b} \right] \times 100 \quad (2.3)$$

که در آن V_p حجم منافذ، V_g حجم دانه ها و V_b حجم کل سنگ است. تخلخل در مخازن کربناته ایران اعم از آسماری، بنگستان، خامی و دهرم در محدوده ۵ تا ۳۰ درصد می‌باشد و به ندرت تخلخل کمتر از ۵ و بیشتر از ۳۵ دیده میشود. (مطیعی، ۱۳۸۷)

۲-۳- طبقه‌بندی تخلخل در سنگهای کربناته

به منظور کسب اطلاعات جامع زمین شناسی و مهندسی نفت لازم است که فضای متخلخل براساس فابریک سنگ و خواص پتروفیزیکی آن تعریف و طبقه‌بندی شود. در این راستا اولین تلاش بوسیله آرچی^{۱۳} (۱۹۵۲) صورت گرفت. تلاش نامبرده در توضیح ارتباط ساختار سنگ و خواص پتروفیزیکی سنگهای کربناته بوده است. طبقه‌بندی آرچی شامل دو بخش است: تخلخل قابل مشاهده و تخلخل درون ماتریکس. نوع دیگری از طبقه

¹³ Archi

بندی توسط لوسیا^{۱۴} (۱۹۸۳) ارائه شد که در آن بطور کلی تخلخل در سنگهای آهکی به دو دسته بزرگ تقسیم می‌شد: دسته اول تخلخل بین ذره ای شامل تخلخل بین دانه‌ای و تخلخل بین بلوری و دسته دیگر تخلخل حفره‌ای است که شامل انواع تخلخل به جز دسته اول است. تخلخل حفره‌ای خود به دو دسته کوچکتر متصل و غیر متصل تقسیم می‌شود. تخلخل حفره‌ای غیر متصل بوسیله شبکه ای از تخلخل بین ذره ای بهم متصل می‌شود ولی تخلخل حفره‌ای متصل بدون واسطه بهم متصل می‌شود و سیستم تخلخل را بوجود می‌آورد. یکی دیگر از طبقه‌بندی‌هایی که برای سنگهای کربناته ارائه شده و بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد، طبقه‌بندی چوکته و پرای^{۱۵} (۱۹۷۰) می‌باشد. بر اساس این طبقه‌بندی تخلخل در ابتدا به لحاظ زمانی به دو نوع اولیه و ثانویه و از سویی دیگر به صورت انتخابی فابریک و غیر انتخابی فابریک طبقه‌بندی می‌شود. تخلخل اولیه به تخلخلی گفته می‌شود که در مراحل پایانی رسوبگذاری شکل گرفته و در میان ذرات و قطعات در زمان رسوبگذاری وجود داشته است. تخلخل ثانویه به تخلخلی گفته می‌شود که پیدایش آن به بعد از رسوبگذاری مربوط می‌شود. تخلخل انتخابی فابریک به فضای تخلخلی گفته می‌شود که موقعیت و مرزهای آن در رسوبات و یا سنگها منعکس کننده بافت رسوبی و یا عناصر دیاژنزی موثر است و شامل تخلخلهای بین دانه‌ای، درون دانه‌ای، بین بلوری، قالبی، فنسترال، چتری و رشدی می‌باشد. تخلخل غیر انتخابی فابریک به فضای تخلخلی گفته می‌شود که فاقد هرگونه ارتباط تخلخل با بافت رسوبی و یا عناصر دیاژنزی یک رسوب یا سنگ است و شامل تخلخلهای شکستگی، حفره‌ای و کانالی می‌باشد. آخرین نوع طبقه‌بندی ارائه شده برای تخلخل در سنگهای کربناته توسط لونوی^{۱۶} (۲۰۰۶) ارائه شده است. این طبقه‌بندی جدید بر اساس نوع تخلخل و بر پایه سامانه طبقه‌بندی چوکت و پرای شکل گرفته است، اما از سامانه طبقه‌بندی لوسیا نیز مواردی به آن ملحق گردیده است. طبقه‌بندی بر پایه سه اصل بنا شده است: نوع تخلخل، اندازه تخلخل و توزیع تخلخل. در این سامانه شش نوع تخلخل اصلی تعریف شده است: بین دانه‌ای، بین بلوری، حفره‌ای، درون دانه‌ای، قالبی و ریز تخلخل.

¹⁴ Lucia¹⁵ Choquette and Pray¹⁶ Lonoy

۲-۴- انواع تخلخل در سازندهای کنگان و دالان

۲-۴-۱- تخلخل بین دانه‌ای^{۱۷}

تخلخل بین دانه‌ای در سازند کنگان و دالان به صورت اولیه در گرینستونهای اوولیتی و دولوگرینستون ها مشاهده میشود. بیشترین فراوانی را در بخش انتهایی K_{1c} و K_{2c} داراست و با فراوانی کمتر در واحد K_4 دیده میشود (شمس نیا، ۱۳۸۵). این نوع تخلخل در صورتی که حفرات به هم مربوط باشند، نقش موثری در تولید هیدروکربن خواهد داشت. تعداد زیادی از آنها طی فرایندهای دیاژنزی توسط سیمان های انیدریتی، دولومیتی و کلسیتی درشت بلور پر شده اند و کیفیت مخزن را پایین آورده اند (کدخدایی، ۱۳۸۳). البته گاهی اوقات با پوشیده شدن سطح دانه توسط رسهای اولیه و یا مهاجرت اولیه هیدروکربور و در نتیجه جلوگیری از سیمانی شدن بدون تغییر باقی مانده و حفظ میشود. شکل فضاهای خالی در این نوع تخلخل متغیر است و بستگی به اندازه قطعات، جورشدگی و آرایش آنها دارد. در حالتی که اندازه و شکل دانه ها یکسان باشد، تقریباً هموزن است. با افزایش این نوع تخلخل، تراوایی نیز افزایش می‌یابد که نشان از رابطه فضاهای خالی با یکدیگر توسط گلوگاههای تخلخل و ریزتخلخل های ارتباط دهنده است. در شکل ۱-۲ (الف) نمونه ای از تخلخل بین دانه‌ای نشان داده شده است.

۲-۴-۲- تخلخل بین بلوری^{۱۸}

تخلخل بین بلوری عمدتاً در لایه‌های دولوستون بلورین مشاهده میشود. این نوع تخلخل طی پدیده دولومیتی شدن در مراحل میانی دیاژنز تشکیل میشود. اندازه بلورهای تشکیل دهنده دولومیت بین ۲۰ تا ۱۹۰ میکرون متغیر است و گاهی تا ۲۰۰ میکرون هم می‌رسد. محدوده تراوایی در دولومیتها توسط اندازه بلورهای دولومیت، همچنین اندازه دانه ها و جورشدگی ذرات اولیه مشخص و تعریف میشود. تخلخل زمانی که دولومیتی شدن

¹⁷ Interparticle porosity

¹⁸ Inter-crystalline porosity

بیشتر از ۵۰ درصد است و بلورهای رومبوندی دولومیت طی فرایند فشردگی به صورت چهارچوب عملکردده باشند، باقی خواهد ماند. اما اگر دولومیتی شدن کمتر از ۵۰ درصد باشد، اقتصادی نیست (تقوی، ۱۳۷۸). این تخلخل کمترین مقدار تخلخل غالب در چاه شماره ۱۲ را شامل میشود و در هر بخش از مخزن که دولومیتی شدن اتفاق افتاده است میتوان آن را مشاهده کرد. در زیر واحد بالایی بخش زیرین سازند کنگان که منطبق بر K_{2a} می باشد. بیشتر تخلخل های بین بلوری دیده میشود. (کدخدایی، ۱۳۸۳) این نوع تخلخل نیز همچون تخلخل بین دانه ای دارای رابطه مستقیم با تخلخل موثر و تراوایی است. بنابراین اندازه بلورهای دولومیت، اندازه دانه ها و جورشدگی، تعیین کننده محدوده تراوایی و تخلخل بین ذره ای تعیین کننده مقدار تراوایی است (Lucia, 1995). در شکل ۱-۲ (ب) نمونه ای از تخلخل بین بلوری نشان داده شده است.

۲-۴-۳- تخلخل درون دانه ای^{۱۹}

این نوع تخلخل برخلاف تخلخل بین دانه ای که در فضای بین دانه ها تشکیل میشود در فضای درون دانه های اسکلتی تشکیل میشود. میزان آن به فراوانی قطعات فسیلی، اندازه و نوع موجود بستگی دارد. میزان این نوع تخلخل در نمونه ها مربوط به فاصله K_{2a} دارای بیشترین فراوانی است و معمولاً ایزوله است، لذا رابطه خوبی با تخلخل موثر و تراوایی ندارد. در شکل ۱-۲ (ج) نمونه ای از تخلخل بین دانه ای نشان داده شده است.

۲-۴-۴- تخلخل قالبی^{۲۰}

در نمونه های مورد مطالعه بیشتر تخلخل های قالبی در گرینستون های اوولیتی و دولومیتی دیده میشود. این نوع تخلخل ناشی از انحلال انتخابی دانه های اسکلتی و غیراسکلتی کربناته مانند صدفها و اووئیدها می باشد، که خود دانه حل میشود و قالب آن برجای می ماند. اندازه این حفرات به اندازه دانه حل شده و شدت انحلال بستگی دارد. در دانه های غیر اسکلتی مانند ائیدها هسته معمولاً از آراگونیتها و کلسیت منیزیم بوده و در نتیجه

¹⁹ Interparticle porosity

²⁰ Moldic porosity

تدفین و افزایش فشار و حرارت پایداری آنها نسبت به دیواره کمتر شده و در این صورت حل میشوند. (تقوی، ۱۳۷۸). در سازند کنگان این تخلخل به وفور یافت میشود. طی مراحل دیاژنز این نوع تخلخل ممکن است توسط سیمان پر شود و گاهی نیز به صورت پر نشده باقی می ماند و نیز ممکن است با توجه به ماهیت دوگانه دیاژنز گسترش یابد و تخلخلهای از نوع حفره‌ای را ایجاد کند و منجر به افزایش کیفیت مخزن شود. این نوع تخلخل فراوان ترین نوع تخلخل در چاه شماره ۱۲ است و تقریباً در تمام بخش های مخرن دیده میشود ولی بیشترین فراوانی را در K_{4a} و K_{4b} داراست. این نوع تخلخل به علت ایزوله بودن معمولاً رابطه‌ای با تخلخل موثر و تراوایی ندارد، مگر اینکه فضاهای آن به هم مرتبط شود که در برخی از نمونه ها در اثر تراکم مکانیکی در مرز بین تخلخل های قالبی شکست ایجاد شده است. تخلخل قالبی بر حسب شکل دانه های انحلال یافته به صورت های متفاوت دیده میشود. معمولاً به صورت دایره هایی که درون آن کاملاً تحت تاثیر انحلال قرار گرفته (قالبی کامل، شکل ۲-۱(د)) یا انحلال ناقص داشته (قالبی ناقص^{۲۱}) یا به صورت بیضی کشیده (بیوملدیک^{۲۲}، شکل ۲-۱(ه)) دیده میشوند.

۲-۴-۵- تخلخل حفره‌ای^{۲۳}

این نوع تخلخل در نتیجه عملکرد فرآیندهای دیاژنزی انحلال و بزرگ شدن تخلخل های قالبی و بین دانه‌ای بدون توجه به فابریک به صورت حفرات بی نظم گسترش می‌یابد. بیشترین فراوانی آن در دولوستونهای بلورین و سنگهای آهکی دولومیتی شده، می‌باشد. ولی در گرینستونها، دولوگرینستون ها، دولومادستون ها و دولووکستون ها نیز مشاهده میشود (کدخدایی، ۱۳۸۳). این تخلخل در صورت عدم ارتباط گلوگاه‌های تخلخل رابطه چندانی با تخلخل موثر و تراوایی ندارند.

²¹ Incomplete moldic porosity

²² Bio moldic porosity

²³ Vuggy porosity

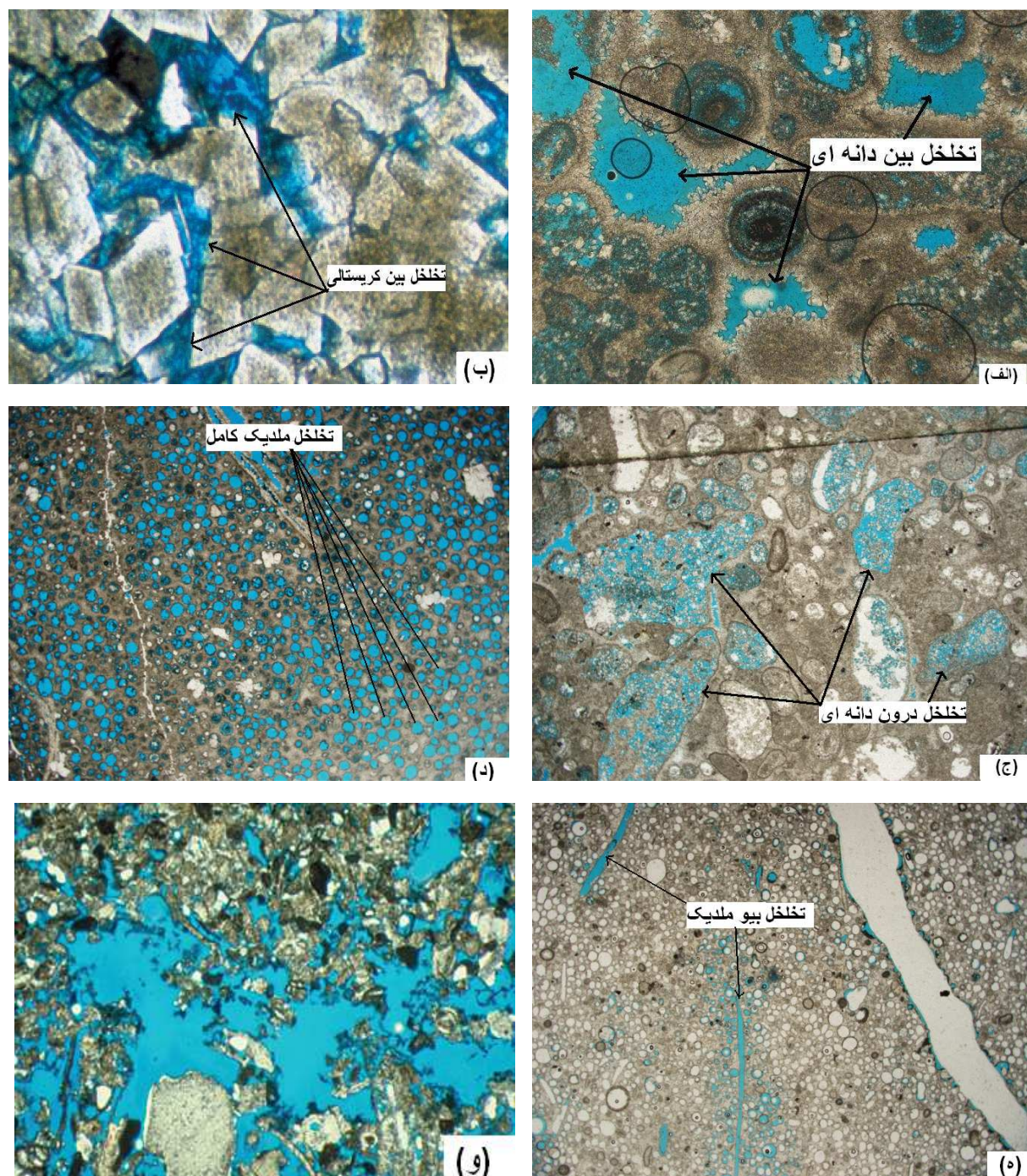
۲-۴-۶- ریز تخلخلها^{۲۴}

در سازند کنگان و دالان ریز تخلخلها در اکثر اعماق وجود دارد. در این پروژه فضاهایی که مساحت کمتر از ۵۰۰ میکرومتر مربع داشتند، را جز این گروه در نظر گرفتیم. البته مطالعه دقیق ریز تخلخلها با بزرگنماییهای استفاده شده ممکن نمیباشد و برای بررسی دقیقتر در میکروسکوپ نوری معمولاً از بزرگنماییهای بالا و یا از میکروسکوپ الکترونی استفاده میشود. نقش موثر ریز تخلخلها در ارتباط انواع مختلف تخلخل با هم و در نتیجه افزایش تخلخل موثر و تراوایی می باشد.

۲-۵- اندازه گیری تخلخل

محاسبه تخلخل در برآورد ذخیره آبخوان یا مخزن نفتی اهمیت بسزایی دارد. برای اندازه گیری تخلخل از روشهای چشمی و آزمایشگاهی و یا نمودارهای چاه نگاری استفاده میشود. در روشهای آزمایشگاهی، آگاهی از حجم کل، حجم فضای خالی و حجم قسمت جامد ضروری است. حجم کل سنگ به روش مستقیم و یا با جابجایی حجمی یک سیال غیر ترکننده نظیر جیوه اندازه گیری میشود. حجم فضای خالی نیز با روش هایی همچون حجم مجموع سیالات، انبساط گازهای یا قانون بویل اندازه گیری میشود. دقت روش های آزمایشگاهی خود بستگی به روش بکار رفته، دارد. یکی از کم دقت ترین این روش ها به دست آوردن حاصل جمع سیال استخراج شده از سنگ است و دقیق ترین روشها، روشی است که بر اساس انبساط گازها و بکارگیری قانون بویل می باشد. از دیگر روش های دقیق، تزریق جیوه در فشار زیاد به نمونه است که می توان حجم تخلخل و نیز انتشار تخلخل را در آن اندازه گیری نمود. خطایی که در نتایج روش های آزمایشگاهی ناشی میشود، میتواند در نتیجه آماده سازی نامناسب نمونه یا انتخاب نمونه نامناسب برای تهیه مغزه باشد. اندازه گیری تخلخل باید در فشار مخزن انجام شود، زیرا سنگهای کربناته تراکم پذیر هستند و با افزایش تنش موثر، تخلخل در آنها کاهش می یابد. روشهای چشمی با مطالعه مقاطع نازک در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی کم مقدار تخلخل را

²⁴ Microporosity



شکل ۱-۲: انواع مختلف تخلخل، تخلخل بین دانه‌ای (الف)، تخلخل کریستالی (ب)، تخلخل درون دانه‌ای (ج)، تخلخل قالبی کامل (د)، تخلخل بیوملدیک (ه)، تخلخل حفره‌ای (و)

اندازه می‌گیرند. تخلخل قابل رویت را می‌توان با روش شمارش نقاط از مقاطع نازک سنگ تخمین زد و یا برش های نازک سنگ در زیر میکروسکوپ را با نرم افزار ویژه تجزیه و تحلیل تصاویر بررسی و حجم فضای تخلخل را محاسبه نمود. معمولاً مقدار تخلخل اندازه‌گیری شده از روش های آزمایشگاهی بیشتر از مقدار تخلخل اندازه‌گیری شده در زیر میکروسکوپ و با آنالیز تصویر می‌باشد چرا که معمولاً خلل و فرج بسیار ریزی در سنگ وجود دارد که با روشهای چشمی قابل رویت نمی‌باشند. معمولاً در روشهای چشمی برای مطالعه ریز تخلخل ها از میکروسکوپ های الکترونی استفاده میشود (مطیعی، ۱۳۸۷). یکی از روشهای رایج دیگری که برای اندازه‌گیری تخلخل استفاده میشود، نمودارهای چاه نگاری می‌باشد. نمودارهای تخلخل شامل لاگهای نوترون، دانسیته و صوتی هستند. با استفاده از نمودارهای نوترون و دانسیته تخلخل کل و با نمودار صوتی تخلخل اولیه اندازه‌گیری میشود. مختصری از این لاگ ها در ادامه آمده است.

۲-۵-۱- لاگ نوترون

نوترون ها در هسته ی تمام عناصر به غیر از هیدروژن وجود دارند. ترکیب آنها شبیه هیدروژن است، اما الکترون ندارند. وقتی نوترونها از مواد رادیواکتیو منتشر می شوند دارای سرعت بالایی هستند، که در اثر برخورد با اتم های دیگر از سرعتشان کاسته میشود. اتم های دارای جرم مشابه نوترون، باعث کاهش سرعت سریع، در نوترون می شوند. بنابراین محتوی هیدروژن سازند را می‌توان با استفاده از لاگ نوترون مشخص کرد. محتوی هیدروژن سنگها با ماهیت سیال موجود در منافذ و فضاهای خالی و میزان رس رابطه دارد. آب، نفت و گاز موجود در سنگ مخزن حاوی هیدروژن بوده و در نتیجه بر روی منحنی نوترون تاثیر می گذارند. مادامی که منافذ با یکی از این سیالات پر شده باشد، وجود هیدروژن بیشتر نشانه ای برای تخلخل بیشتر است و بر عکس سیال کمتر، هیدروژن کمتر و نشانه تخلخل کمتر می‌باشد. (رضایی، ۱۳۸۱)

۲-۵-۲- لاگ چگالی (دانسیته)

نوع ویژه ای از لاگهای رادیواکتیویته هستند که چگالی سازند را ثبت می کنند. تخلخل با چگالی ارتباط عکس دارد، یعنی هرچه تخلخل بیشتر باشد چگالی کمتر خواهد بود. انحرافات نمودار چگالی در یک توده ماسه سنگی یا سنگ آهک میزان تغییرات تخلخل را نشان می دهد.

۲-۵-۳- لاگ صوتی

این نمودار عمق را در مقابل زمان اندازه گیری می کند و آن، مدت زمانی است که یک ضربه صوتی طول معینی از سنگ (یک فوت) را طی می کند، که به آن زمان عبور گفته میشود و واحد آن میکرو ثانیه در فوت است. بطور کلی سرعت عبور امواج فشارشی در سنگ به ترکیب سازند، مایعات موجود در آن و مقدار تخلخل بستگی دارد. از آنجا که نوع سازند توسط نمودارهای دیگر تعیین میشود و با توجه به اینکه زمان عبور موج با نوع سازند و ترکیب سیال موجود در آن تغییر می کند، می توان تخلخل را با استفاده از این نمودار به خوبی تعیین کرد. نمودار صوتی، تخلخل زمینه را اندازه گیری می کند و نمی تواند اکثر تخلخل های ثانویه را آشکار کند و این در حالی است که در نمودار نوترون و چگالی تخلخل کل سنگ (مجموع تخلخل اولیه و ثانویه) اندازه گیری میشود. تفاضل مقدار قرائت شده از لاگ صوتی و لاگ نوترون یا لاگ چگالی مقدار تخلخل ثانویه را نشان می دهد. (رضایی، ۱۳۸۱)

۲-۶- تراوایی

تراوایی یکی از مهمترین خواص سنگ مخزن بوده و اهمیت آن در این است، که تولید نفت از مخازن، تابع مستقیم تراوایی است. واحد سنجش تراوایی داری است و حدود آن نیز از ۰.۰۱ میلی داری تا چند داری تغییر می کند. به طور معمول حداقل تراوایی لازم برای تولید نفت ۰.۰۱ میلی داری در نظر گرفته میشود ولی

در مخازن با توان تولید بالا تراوایی در حد داری می‌باشد. در مخازن کربناته ایران به استثنا چاه‌هایی که به شکستگی‌های بزرگ برخورد نموده‌اند، تراوایی پایین است. تراوایی را از معادله قانون داری تعریف می‌کنند:

$$Q = \frac{K.A.(P_1-P_2)}{\mu.L} \quad (2.4)$$

که در این رابطه K تراوایی، Q دبی جریان، μ غلظت سیال و $(P_1-P_2)/L$ میزان افت فشار جریان بر حسب طول و A سطح مقطع نمونه است. طبق تعریف، یک داری تراوایی سنگی است که اجازه جریان یک سانتی مترمکعب از سیال با ویسکوزیته یک سانتی پواز را در یک ثانیه از سطح مقطع یک سانتی مترمربع تحت فشار یک اتمسفر به سانتیمترمربع می‌دهد. با توجه به اینکه داری واحد بزرگی است، لذا از میلی داری استفاده می‌شود. کمینه تراوایی برای اینکه از لحاظ اقتصادی مفید باشد تابع عواملی همچون نوع هیدروکربن، ویسکوزیته هیدروکربن، فشار سازند، اشباع آب، قیمت هیدروکربن، ضخامت زونهای تولیدی خالص به کل ضخامت و عمق چاه می‌باشد (Schlubmerger, 1989).

برای اندازه‌گیری یا تخمین تراوایی از فرمولهای تجربی، روشهای آزمایشگاهی، لاگ NMR یا سیستمهای هوش مصنوعی استفاده می‌شود. تراوایی به عنوان یک پارامتر مهم در اکثر مدلسازی‌های پتروفیزیکی سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. رابطه کوزنی-کارمن از جمله فرمولهای تجربی مشهوری است که برای تخمین تراوایی استفاده می‌شود، البته فرمولهای تجربی دقت کافی نداشته و در همه سازندها قابل استفاده نمی‌باشند. برای اندازه‌گیری تراوایی در در آزمایشگاه استوانه‌های کوچک سنگ را ابتدا در یک آستری کاملاً غیرتراوا طوری جفت و جذب می‌نمایند که راه نفوذ سیال تزریقی به بدنه نمونه وجود نداشته باشد. سپس سیالی با غلظت مشخص از یک سر نمونه که طول و قطر آن مشخص است در درون نمونه جریان می‌دهیم. حال با در دست داشتن مقدار دبی خروجی و افت فشار بین سر و ته نمونه مقدار تراوایی قابل اندازه‌گیری است. معمولاً دقیقترین مقدار تراوایی با استفاده از همین روش بدست می‌آید. البته روشهای آزمایشگاهی هزینه بر و زمانبر هستند و به دستگاه‌های ویژه‌ای نیاز دارند (مطیعی، ۱۳۸۷). لاگ NMR جز معدود لاگهایی است که در سالهای اخیر به صنعت نفت

معرفی شده است و توانایی اندازه‌گیری تراوایی را دارد. اساس آن بر تشدید مغناطیس هسته و اندازه‌گیری هندسه فضاهای خالی و ماهیت سیال پرکننده آن است. این نمودار جز لاگهای گران بوده و در چاه های گازی نیز دارای نویز بالا می‌باشد. استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی برای تخمین تراوایی در سالهای اخیر بسیار مورد توجه بوده است. انتشار مقالات و پایان نامه‌های متعددی در زمینه استفاده از لاگهای چاه پیمایی و بهره بردن از قابلیت سیستمهای هوشمند، گواه این موضوع است. دقت نتایج بدست آمده از سیستمهای هوش مصنوعی در اغلب موارد بالا بوده و امکان پیش‌بینی و تعیین روند تغییرات در پارامترهای مخزنی را فراهم می‌آورد. علاوه بر روش های ذکر شده برای اندازه‌گیری تراوایی، روشهای دیگری نیز برای تخمین تراوایی وجود دارند که در اینجا فقط به ذکر نام آنها بسنده می‌کنیم.

- اندازه‌گیری تراوایی با استفاده از فراوانی کانی‌های بدست آمده از روشهای ژئوشیمیایی

- اندازه‌گیری تراوایی با استفاده از ابزارهای تستگر^{۲۵} سازند

- اندازه‌گیری تراوایی با استفاده از آنالیز فشار P_d (Draw Down Pressure)

- اندازه‌گیری تراوایی با استفاده از آنالیز فشار P_b (Build Up Pressure)

از نظر زمین شناسی تراوایی یک مخزن را همانند تخلخل میتوان به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم کرد: تراوایی اولیه که در زمان ته نشینی رسوبات در سنگ ایجاد میشود و تابع اندازه، شکل و سایر خصوصیات ذرات سازنده رسوب می‌باشد و تراوایی ثانویه که در اثر عوامل دیاژنزی بعد از رسوبگذاری مانند شکستگی، انحلال، سیمانی شدن و فشردگی ایجاد میشود. از نظر اقتصادی تراوایی سنگها به دسته های زیر تقسیم میشود:

- $K < 1$: تراوایی کم

- $1 < K < 10$: تراوایی ضعیف تا متوسط

- $10 < K < 50$: تراوایی متوسط

- $50 < K < 250$: تراوایی خوب

²⁵ Tester

- $K > 250$: تراوایی بسیار خوب

تقسیم بندی فوق نسبی بوده و می توان با توجه به عوامل اقتصادی تغییر کند. به عنوان مثال تا ۲۰ سال پیش به سنگی با تراوایی کمتر از ۵۰ میلی داری به چشم سنگ با بهره کم اقتصادی و تراوایی پایین نگاه می شد ولی امروزه این نظر در مورد سنگ با تراوایی کمتر از یک میلی داری وجود دارد (مطیعی، ۱۳۸۷)

۷-۲- روند تغییرات تخلخل و تراوایی در سازندهای کنگان و دالان

در جدول ۱-۲ اطلاعات کلی درباره بازه تغییرات تخلخل و تراوایی در هریک از زیر واحدهای دو سازند کنگان و دالان آمده است. تنها با تکیه بر اطلاعات این جدول نمی توان اظهار نظر دقیقی در مورد ارزش مخزنی هریک از زیرواحدها داشت. برای این منظور مطالعه دقیق در لیتولوژی، نوع تخلخل و تغییرات دیاژنزی لازم است. بیشترین مقدار تراوایی در سازند کنگان در زیر واحد K_{1c} دیده می شود که مطالعات سنگ شناسی نشان می دهد این تراوایی بالا در اثر لایه های دولومیتی متخلخل می باشد.

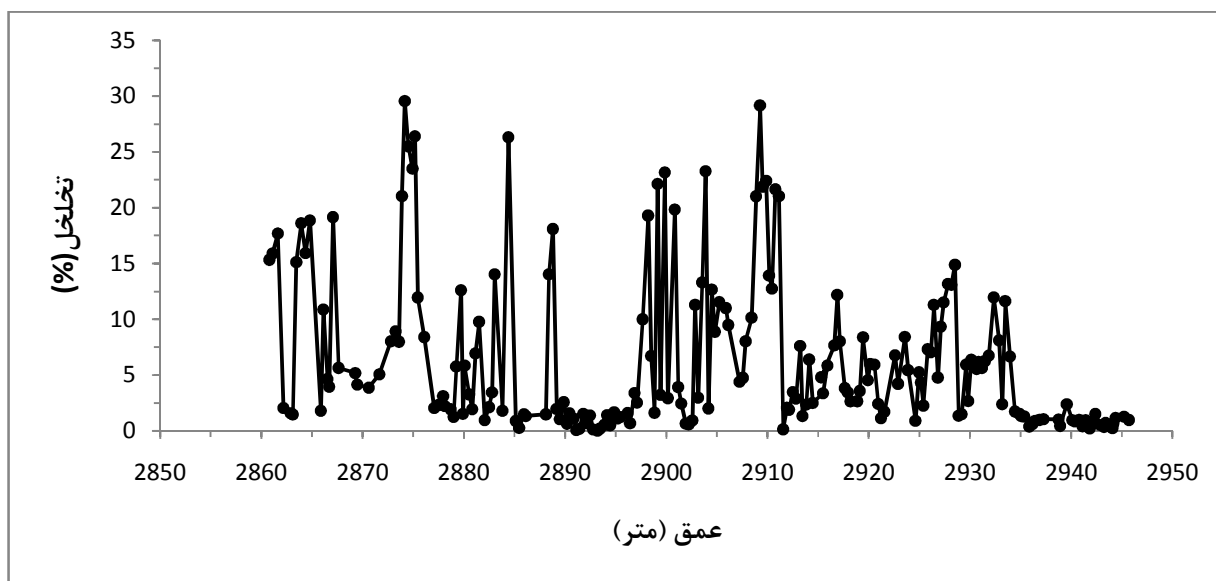
جدول ۱-۲: بازه تغییرات تخلخل و تراوایی در دو سازند کنگان و دالان

سازند	واحد	زیر واحد	عمق (متر)	Max ϕ	Max K	Min ϕ	Min K	Mean ϕ	Mean K
کنگان	K_1	K_{1a}	۲۸۶۰-۲۸۷۳.۵	۱۹.۵	۹.۱۸	۱.۴۵	۰.۱۰۳	۹.۱	۲.۶۸
		K_{1b}	۲۸۷۳.۵-۲۹۰۲.۶	۲۹.۵۴	۲۶.۶۱	۰.۱	۰.۰۳۴	۶.۲۵	۱.۸۹
		K_{1c}	۲۹۰۲.۶-۲۹۴۵.۵	۲۹.۱۶	۳۹۹.۹۹	۰.۱۳۱	۰.۰۰۵	۵.۸۵	۱۱.۰۱
دالان	K_2	K_{2a}	۲۹۴۵.۵-۲۹۵۷.۶	۲۸.۱۵	۱۸۱.۴۹	۰.۷۹۹	۰.۰۷۹	۱۱.۸۷	۳۵.۳۶
		K_{2b}	۲۹۵۷.۶-۲۹۹۳.۶	۲۸.۰۳	۱۰۴.۸۲	۰.۵۴۱	۰.۰۳۷	۹.۸۵	۴.۷۶
	K_3	K_{3a}	۲۹۹۳.۶-۳۰۱۹.۵	۲۴.۱۸	۲۷۷.۴۱	۰.۴۴	۰.۰۳۳	۹.۸۴	۱۶.۰۵
		K_{3b}	۳۰۱۹.۵-۳۰۹۰	۶.۴۵	۱۰۵	۰.۰۲۶	۰.۰۰۱	۱.۹۷	۲.۲۲
	K_4	K_{3c}	۳۰۹۰-۳۱۱۶	۱۶.۲۶	۱۶۵	۰.۴۱۳	۰.۰۳۴	۴.۹۶	۴.۸۱
		K_{4a}	۳۱۱۶-۳۱۳۵	۲۶.۶۵	۱۱۵	۰.۹۳	۰.۰۴۵	۱۴.۵۲	۱۶.۰۵
		K_{4b}	۳۱۳۵-۳۲۰۵.۵	۳۶.۶۳	۷۲۳.۲	۰.۴۷۱	۰.۰۴۲	۲۱.۲۶	۱۵.۱۳
		K_{4c}	۳۲۰۵.۵-۳۲۷۴.۷	۲۴.۴۳	۳۴۶	۰.۱۰۸	۰.۰۲۳	۵.۳۳	۱۶.۹۴

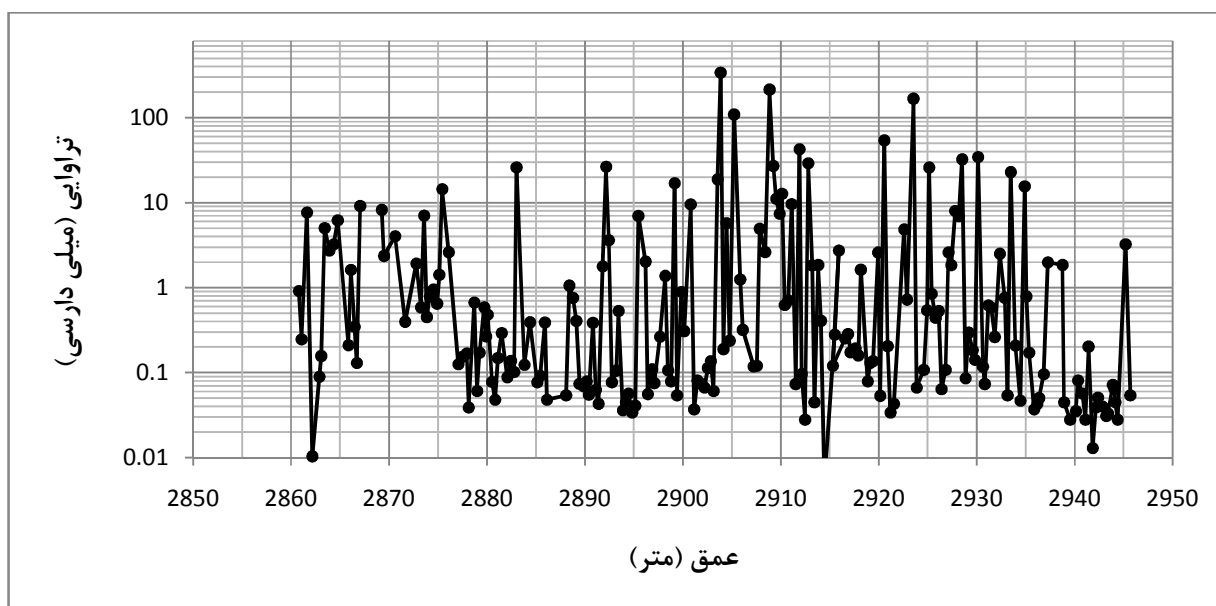
بیشترین مقدار تراوایی در سازند دالان نیز مربوط به زیر واحد K_{4b} با مقدار برابر ۷۲۳.۲ میلی داری می باشد.

این تراوایی بالا در نتیجه لیتولوژی آهکی و آهک دولومیتی با تخلخل بین دانه ای می باشد. لازم به ذکر است که

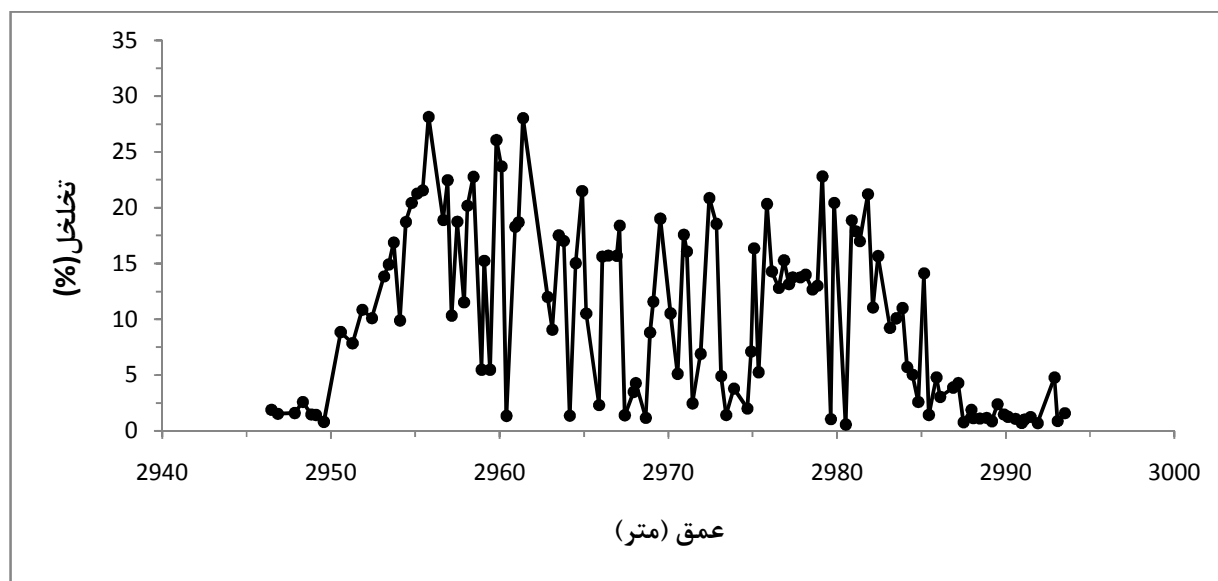
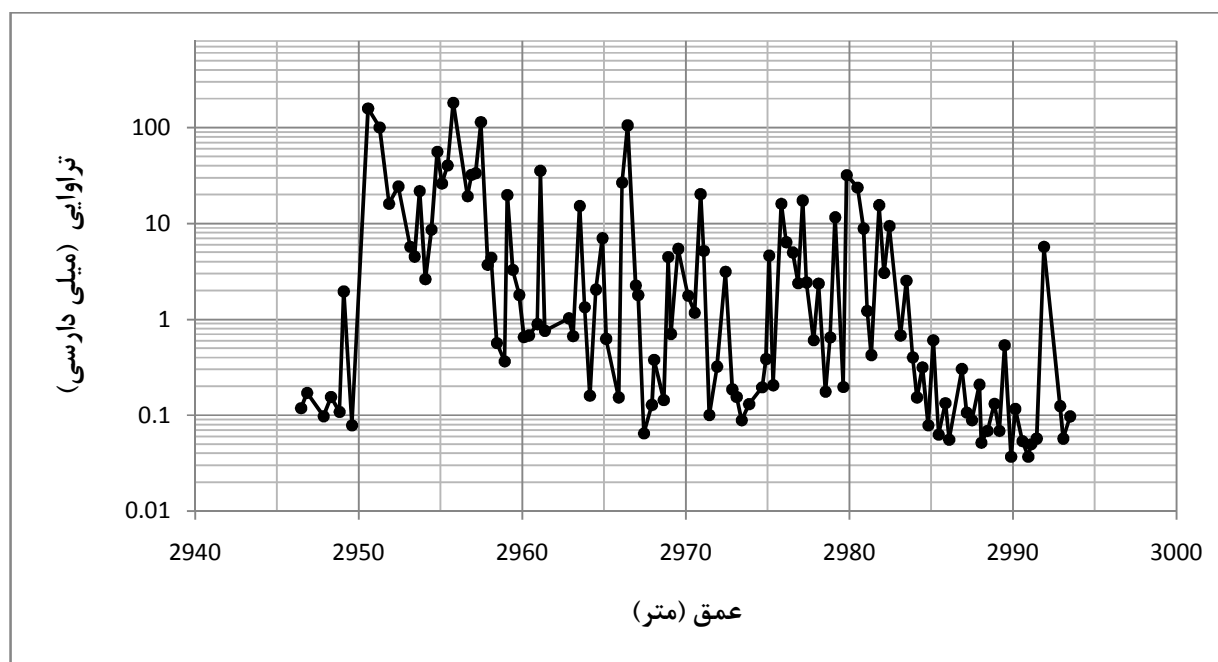
این زیرواحد مهمترین بخش مخزنی میدان می‌باشد. برای شناخت بهتر هریک از زیر واحدها نمودار تغییرات تخلخل و تراوایی برای عمق های مختلف، در ادامه آمده است. با توجه به مقدار تغییرات تخلخل و تراوایی میتوان اظهارنظر بهتری در مورد ارزش مخزنی بخشهای مختلف در دو سازند ارائه داد. عمقهای با مقدار بالای تخلخل و تراوایی دارای بهترین ارزش مخزنی هستند.

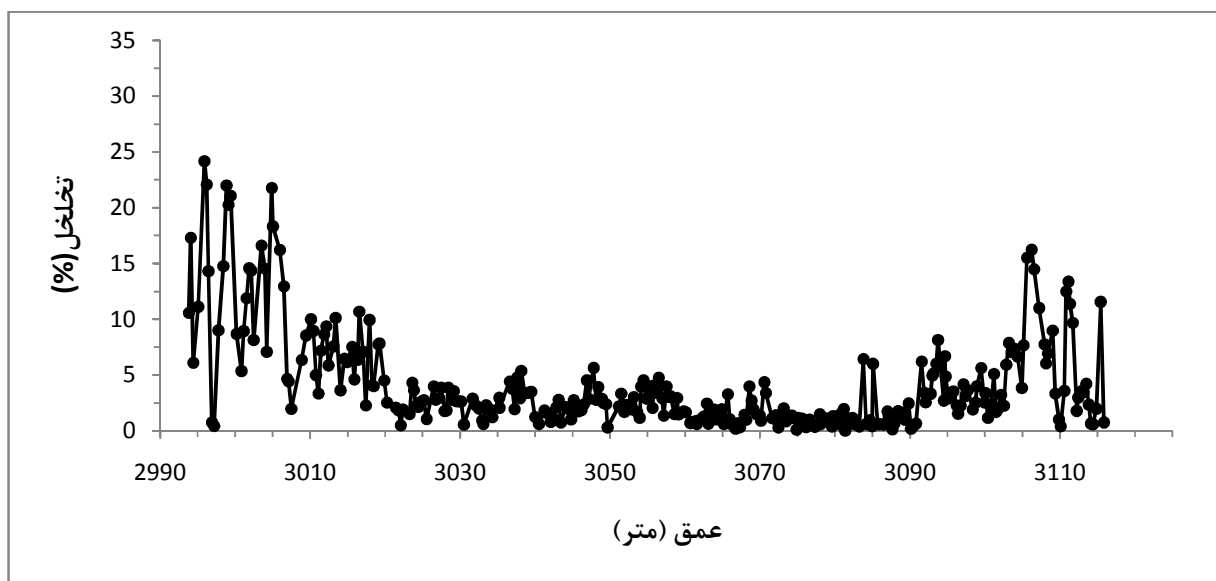
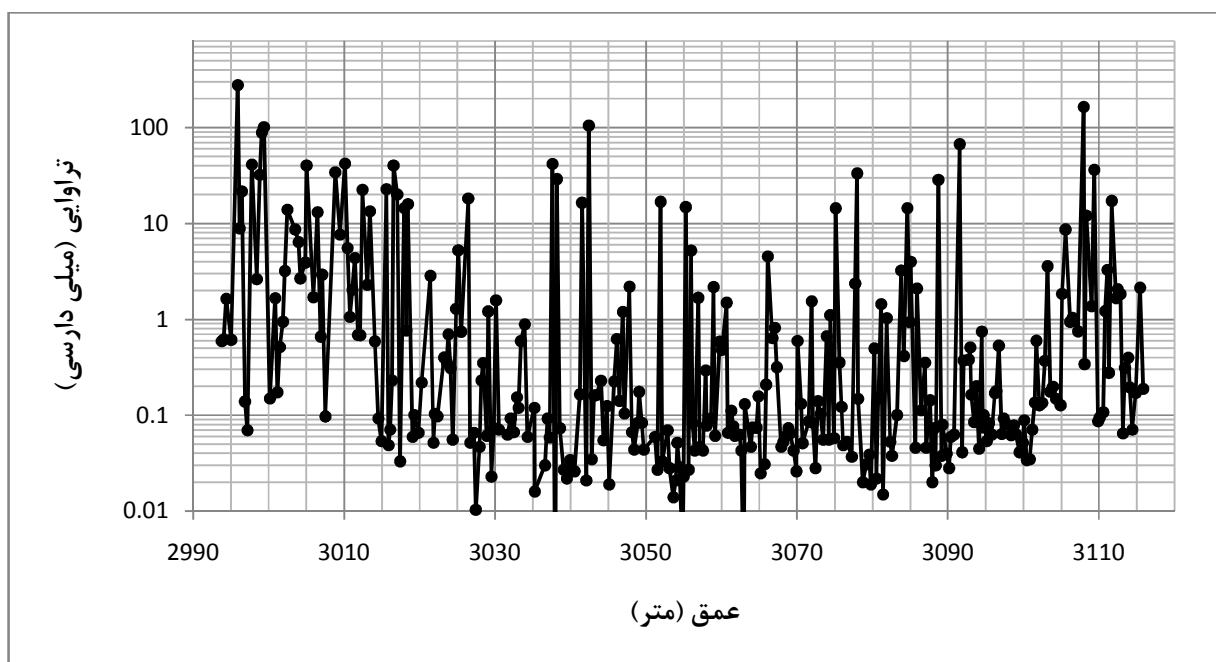


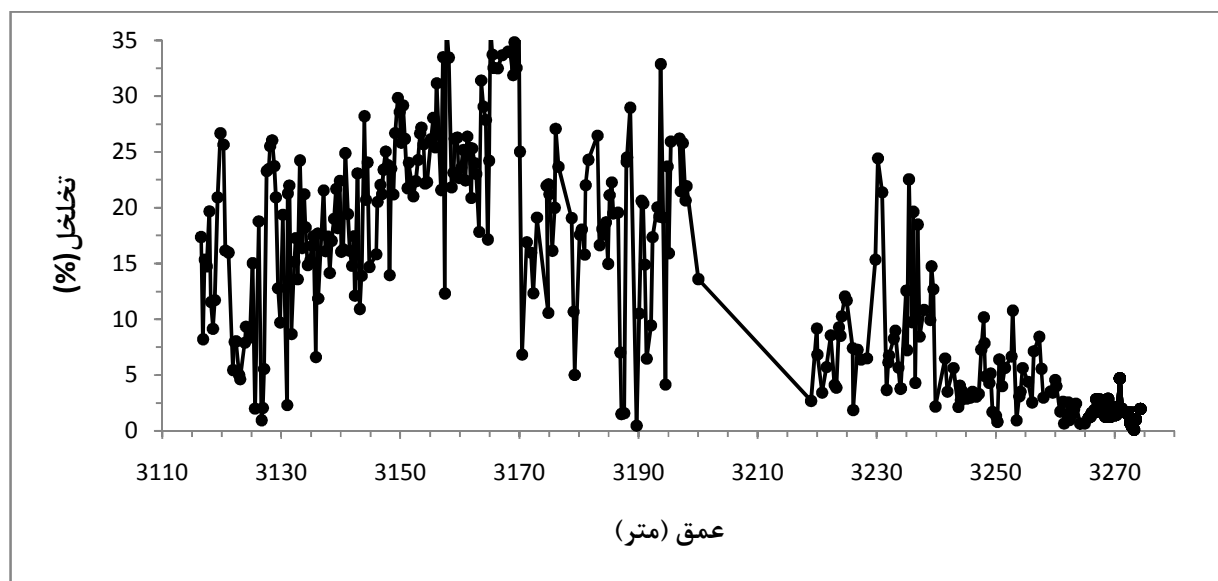
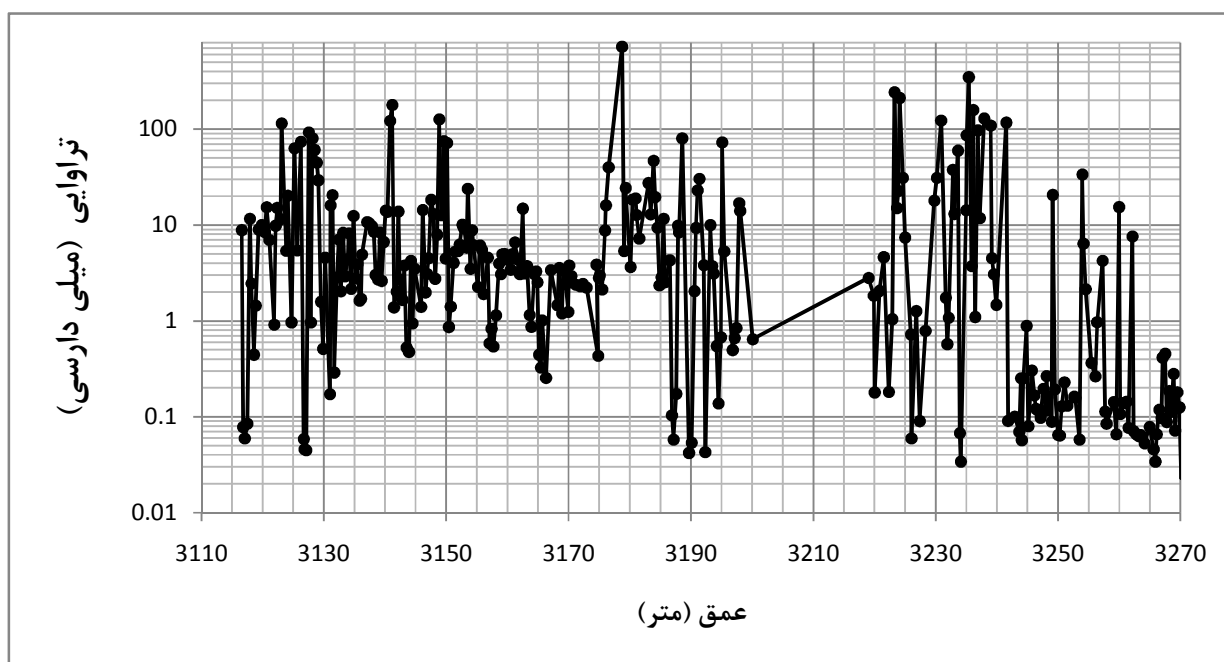
شکل ۲-۲: تغییرات تخلخل در واحد K_1



شکل ۲-۳: تغییرات تراوایی در واحد K_1

شکل ۲-۴: تغییرات تخلخل در واحد K_2 شکل ۲-۵: تغییرات تراوایی در واحد K_2

شکل ۲-۶: تغییرات تخلخل در واحد K_3 شکل ۲-۷: تغییرات تراوایی در واحد K_3

شکل ۲-۸: تغییرات تخلخل در واحد K₄شکل ۲-۹: تغییرات تراوایی در واحد K₄

فصل سوم:

سیستم های هوش مصنوعی

فصل سوم: سیستم های هوش مصنوعی

۳-۱- مقدمه

با دشوار شدن مسائل و مشکلات در صنعت نفت، تلاش شد تا با بکارگیری تکنیکها و روش های مختلف مسائل جدید را از دیدگاهی نو بررسی کنند. برای رسیدن به جواب در مسائل جدید از ترکیب روش های قدیمی و تکنیکهای مختلف هوش مصنوعی و جمع آوری داده، استفاده میشود. با ارائه جواب های قابل اعتماد توسط تکنیکهای هوش مصنوعی زمینه برای جایگزینی این تکنیکها بجای روش های قدیمی فراهم می آید. روش های قدیمی در مطالعات نفتی معمولاً زمانبر و پرهزینه هستند که در دنیای امروز صنعت نفت که با حجم وسیعی از مسائل دشوار سروکار داریم، نمی توانند پاسخگوی تمام نیازهای مهندسين و کارشناسان باشند. لذا با تکیه بر تکنیکهای هوش مصنوعی و روش های جدید مدیریت داده، می توان الگوهای مناسبی برای حل مسائل جدید ارائه داد. در این میان تکنیکهایی مانند شبکه های عصبی، منطق فازی، سیستم های نروفازی و الگوریتم ژنتیک در حل مسائل متعددی استفاده شده اند و توانسته اند کارآمدی خود را به مهندسين و کارشناسان ثابت کنند. در این مطالعه نیز تلاش شده است تا با بکارگیری تکنیکهای هوش مصنوعی و آنالیز تصویر، مدلی برای پیش بینی مقدار تخلخل و تراوایی در یک مخزن کربناته ارائه شود.

آنالیز تصویر و ماشین بینایی می تواند ابزاری مفید در جهت بالا بردن دقت و کوتاه کردن زمان مطالعات در علوم زمین باشد. در این مطالعه با تکیه بر روش های آنالیز تصویر و تشخیص الگو، الگوریتمی خودکار برای تفکیک فضاهای خالی سنگ ارائه شده است. در ادامه توضیح مختصری در مورد اساس تکنیکهای بکار رفته آمده است.

۳-۲- شبکه عصبی

شبکه های عصبی مصنوعی ابزار هوشمندی هستند که از سیستم عصبی انسان الهام گرفته شده اند. امروزه دامنه کاربرد شبکه های عصبی در زمینه های مختلف و از جمله صنعت نفت و گاز گسترش یافته است. مطالعات

مخزنی در زمینه های پیش بینی و بازسازی لاگهای چاه پیمایی، ویژگی های مخزنی و خواص سنگ و پیش بینی برداشت هیدروکربور انجام شده است. عملکرد شبکه عصبی را بنا به دلایل زیر می توان مشابه با عملکرد مغز انسان دانست (منهاج، ۱۳۸۱):

۱- شبکه های عصبی در طی فرآیندی به نام آموزش از محیط اطراف برای شناخت و تعیین ماهیت استفاده می کنند.

۲- از اتصال بین نرون ها برای ذخیره سازی و شناخت استفاده میشود. شبکه های عصبی مصنوعی با وزن-دهی به نرون ها این شناخت را ذخیره می کنند.

۳-۲-۱- ساختار شبکه عصبی مصنوعی

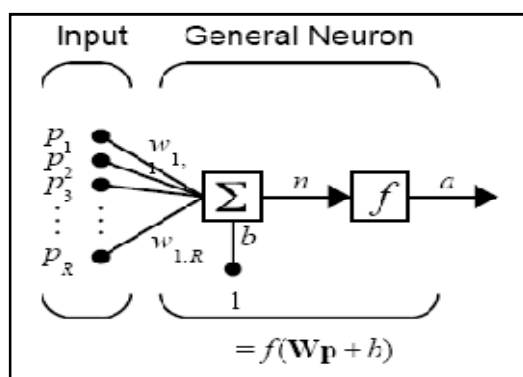
به منظور درک نحوه کار شبکه عصبی باید اجزا آنرا بشناسیم. در ادامه به طور خلاصه بخش های مختلف شبکه توضیح داده میشود.

۳-۲-۱-۱- نرون^{۲۶}

نرون ها عنصر اساسی و در واقع پردازشگر اصلی شبکه هستند. یک نرون با یک ورودی بردار در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. اگر مولفه های بردار ورودی را با $P_1, P_2, \dots, P_R$ نشان دهیم، هریک از این مولفه ها در وزن متناظر $W_1, W_2, \dots, W_R$ ضرب می شوند و سپس وارد تابع f می شوند. این تابع به نام تابع تصمیم گیری در شبکه عصبی معروف است. خروجی این تابع یک عدد اسکالر به نام a می باشد. هر نرون می تواند پارامتر دیگری به نام بایاس هم داشته باشد. مقدار بایاس با مجموع حاصلضرب ورودی ها جمع میشود و خروجی نهایی را ایجاد می کند (Matlab, 2007).

$$n = w_{11}P_1 + w_{12}P_2 + \dots + w_{1R}P_R + b \quad (3.1)$$

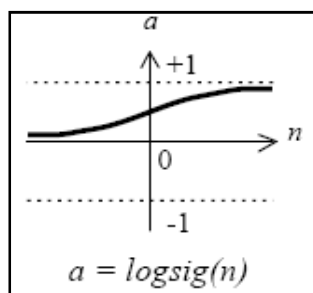
²⁶ Neuron



شکل ۳-۱: ساختار یک نرون با چندین ورودی (Matlab, 2007)

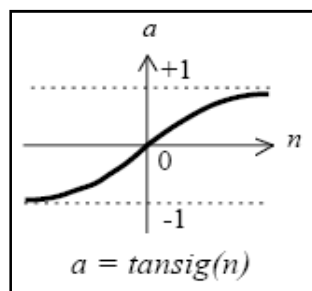
یک نرون می‌تواند از توابع تصمیم‌گیری متنوعی برای تولید خروجی استفاده کند. در اینجا سه مورد از مهمترین انواع توابع تصمیم‌گیری توضیح داده شده‌اند.

الف) تابع Log-Sigmoid: شبکه‌های چند لایه معمولاً از این تابع، به عنوان تابع تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند. خروجی این تابع مقادیر بین ۰ تا ۱ و ورودی آن بین منفی بینهایت تا مثبت بینهایت تغییر می‌کند. شکل ۳-۲ یک تابع Log-Sigmoid را نشان می‌دهد.



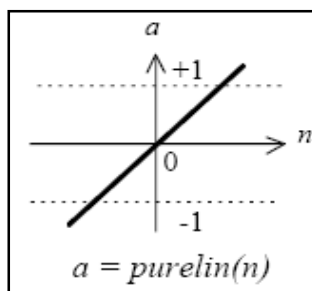
شکل ۳-۲: شکل تابع Log-Sigmoid (Matlab, 2007)

ب) تابع Tan-Sigmoid: خروجی در این تابع مقادیر بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند. برای ورودی با مقدار منفی بینهایت، مقدار خروجی -۱ خواهد بود. شکل ۳-۳ یک تابع Tan-Sigmoid را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۳: شکل تابع Tan-Sigmoid (Matlab, 2007)

ج) تابع Purelin: یکی دیگر از توابع مهم که به عنوان تابع تصمیم‌گیری استفاده میشود، تابع خطی است، که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: شکل تابع Purelin (Matlab, 2007)

همانطور که از شکل های توابع بالا مشخص است در صورتی که آخرین لایه یک شبکه دارای نرون های سیگموئیدی باشد خروجی آن در بازه صفر تا یک (برای Log-Sigmoid) و یا -۱ تا ۱ (برای Tan-Sigmoid) و در صورتیکه دارای نرون خطی باشد، خروجی آن در هر بازه ای می‌تواند تغییر کند

۳-۲-۱-۲-۳ لایه^{۲۷}

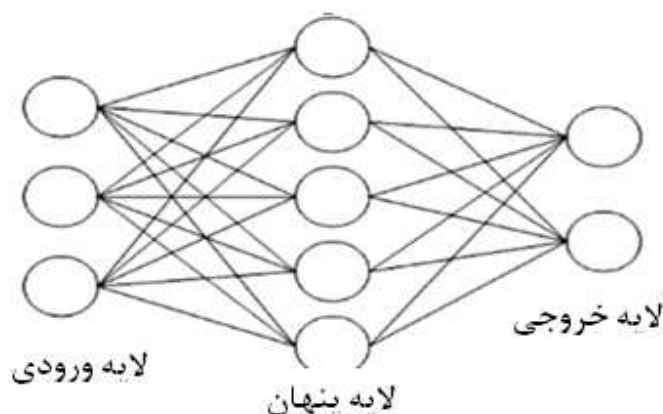
یک شبکه عصبی از سه نوع لایه تشکیل میشود. هر لایه متشکل از تعدادی نرون می‌باشد (Mohaghegh, 2000).

²⁷ Layer

الف) لایه ورودی^{۲۸}: لایه دریافت کننده اطلاعات می باشد. تعداد نرون ها در لایه ورودی برابر با تعداد ورودی های شبکه می باشد. هر نرون در لایه ورودی با همه نرون های لایه میانی ارتباط دارد، به طوریکه پردازش اطلاعات همزمان و به صورت موازی انجام میشود.

ب) لایه میانی (لایه پنهان^{۲۹}): این لایه اطلاعات تهیه شده از محیط را تجزیه و تحلیل می کند. تعداد نرون ها در این لایه بر حسب پیچیدگی رابطه بین ورودی ها متفاوت می باشد. لایه پنهان می تواند متشکل از چندین لایه مجزا باشد که هر یک می تواند چندین نرون داشته باشد.

ج) لایه خروجی^{۳۰}: این لایه نتایج تجزیه و تحلیل را از لایه پنهان دریافت می کند و به تفسیر معنی داری تبدیل می کند. در شکل زیر سه لایه شبکه عصبی نشان داده شده است.



شکل ۳-۵: ساختار لایه ها در یک شبکه عصبی

۳-۲-۲- آموزش شبکه عصبی

یک شبکه را می توان برای تخمین توابع رگرسیون غیرخطی، شناسایی الگو و یا طبقه بندی استفاده کرد. در حین آموزش وزنها و بایاس های شبکه بر اساس ورودی ها و خروجی ها آموزش داده می شوند تا تابع خطا در

²⁸ Input layer

²⁹ Hidden layer

³⁰ Output layer

شبکه کمینه شود. معمولاً تابع خطا میانگین مربعات اختلاف بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب است. در محیط نرم افزار متلب الگوریتم های متعددی برای آموزش وجود دارد، که هریک مشخصه خاص خود را دارند و برای کاربردهای متعددی قابل استفاده می باشند. فهم اینکه سرعت کدام الگوریتم آموزشی برای یک مسئله خاص بیشتر است، کار آسانی نیست. این موضوع به پارامترهای بسیاری مانند پیچیدگی مسئله، تعداد داده های ورودی، تعداد وزن ها و بایاس ها در شبکه و حداکثر خطای قابل قبول بستگی دارد. در حالت کلی شبکه هایی که حاوی چند صد وزن هستند، روش Levenberg-Marquadt سریعتر از بقیه همگرا میشود. روش Quasi-Newton بعد از این روش سریعترین الگوریتم می باشد (Matlab, 2007). در محیط نرم افزار متلب برای ایجاد شبکه عصبی پس انتشار از دستور newff استفاده میشود. این شبکه ورودی و خروجی مطلوب را دریافت می کند و مدلی با حداقل خطا ایجاد می نماید. خطا بر حسب تعداد لایه های پنهان، تعداد نرون ها در لایه پنهان و تابع تصمیم گیری و ... می تواند متفاوت باشد. انتخاب صحیح مجموعه آموزش، ارائه داده ها به گونه ای که قدرت تشخیص شبکه را ماکزیمم کند، تفسیر نتایج شبکه و درک جزئیات درونی شبکه مانند هندسه آن و پارامترهای کنترل کننده یادگیری از نکات حائز اهمیت برای استفاده مطلوب از شبکه هستند. در مورد هندسه شبکه انتخاب صحیح اندازه لایه پنهان بسیار مهم است. هرچه تعداد نرون های لایه پنهان بیشتر شود، قابلیت شبکه برای تشخیص الگو بیشتر میشود. البته زیاد شدن تعداد نرون ها در لایه پنهان ممکن است، موجب بیش برآزش^{۳۱} شبکه نیز شود. به عبارت دیگر شبکه مثالهای آموزشی را خوب یاد می گیرد ولی قدرت تعمیم آن کاهش می یابد.

۳-۲-۳- مزایا و معایب شبکه عصبی

از مزایای شبکه های عصبی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- پردازش موازی بر روی داده ها

۲- کاربرد در حل طیف وسیعی از مسائل

³¹ Over fitting

۳- ارائه جوابهای مناسب در مسائل پیچیده

۴- در دسترس بودن بسته‌های نرم افزاری متعدد در این زمینه

معایب شبکه عصبی عبارتند از:

۱- عدم ارائه توضیح در مورد پاسخ‌ها و نحوه محاسبه آنها

۲- امکان ارائه یک جواب زودرس و نامناسب

۳-۲-۴- نگاهی به جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب

جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب محیط گرافیکی را برای ایجاد شبکه عصبی فراهم آورده است. برای باز کردن محیط گرافیکی بایستی، دستور `nnTool` را در خط فرمان اجرا کرد. پنجره جعبه ابزار شبکه عصبی در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. برای ایجاد شبکه بر روی دکمه `new` کلیک می کنیم که پنجره جدید مطابق شکل ۳-۷ باز میشود. در قسمت `network type` می توان نوع شبکه، در قسمت `training function` نوع آموزش، در قسمت `performance function` نوع تابع محاسبه خطا، در قسمت `number of layers` تعداد لایه‌های شبکه و بالاخره در قسمت `properties for` شماره لایه، تعداد نرون های آن لایه و تابع تصمیم‌گیری را می توان تعیین کرد.

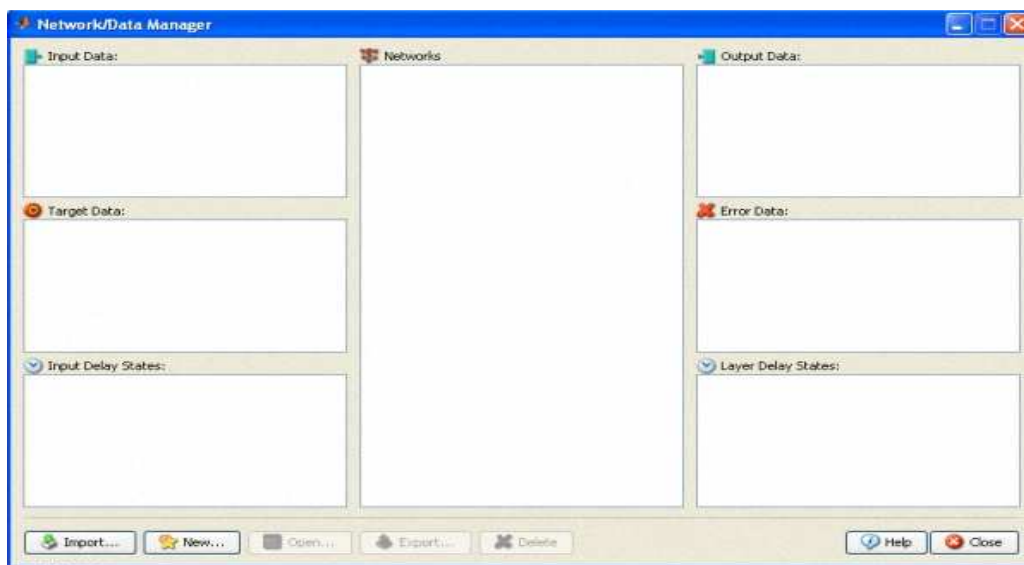
۳-۳- سیستم فازی

۳-۳-۱- مجموعه کلاسیک و مجموعه فازی

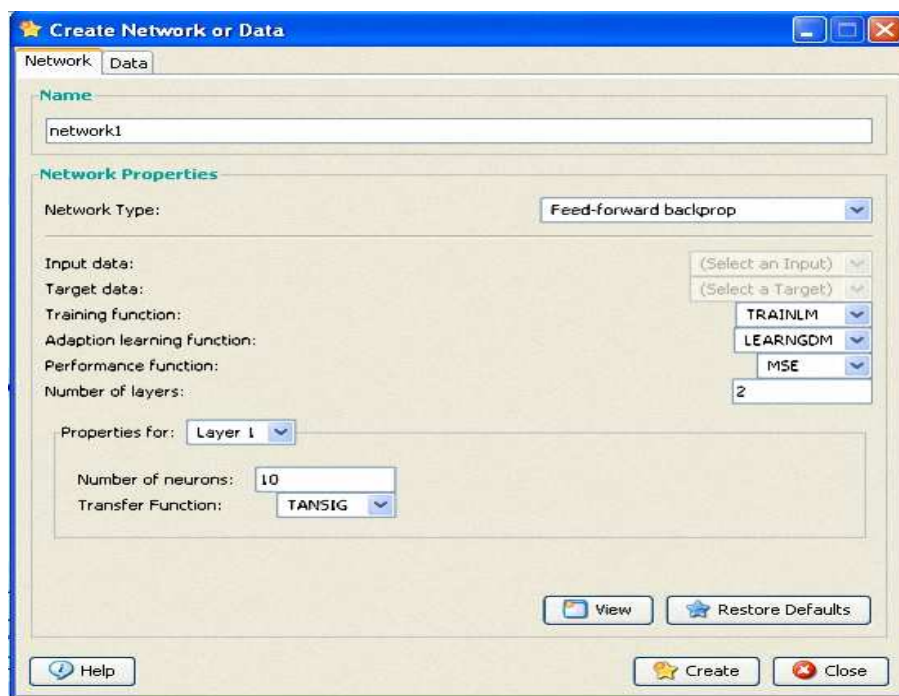
اصول منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط دکتر لطفی زاده برای از بین بردن محدودیتهای مجموعه های کلاسیک ارائه شد. مجموعه های کلاسیک از منطق غیر منعطف^{۳۲} تبعیت می کنند. در این مجموعه ها یک مقدار یا به مجموعه تعلق دارد یا ندارد و حالت سومی فرض نمیشود. این نوع مجموعه‌ها در کار با مسائل علمی و

³² Crisp

کاربردهای صنعتی ناتوان هستند و قابلیت پایینی دارند. در منطق اصول فازی مفهوم عضویت دارای تعریفی متفاوت است. به عبارتی می توان گفت عضویت تعریفی بخشی^{۳۳} دارد. برای بهتر مشخص شدن تعریف دو نوع مجموعه های کلاسیک و فازی به دو تعریف ریاضی صفحه بعد دقت کنید.



شکل ۳-۶: پنجره جعبه ابزار شبکه عصبی در نرم افزار متلب



شکل ۳-۷: محیط مشخص کردن پارامترهای شبکه عصبی

یک مجموعه کلاسیک در دیدگاه ریاضی به این شکل تعریف میشود.

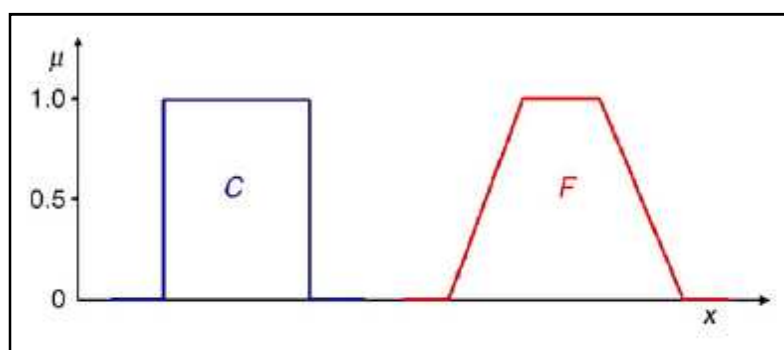
$$\mu_c(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

دکتر لطفی زاده در تعریف تئوری فازی این مجموعه را به صورت زیر گسترش داده است

$$\mu_F(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (3.3)$$

بنا به تعریف فازی، X عضوی از بازه $[0, 1]$ است و می تواند هر مقدار بین این دو عدد را داشته باشد (Yagar

and Zadeh, 1992). شکل ۳-۸ تعریف عضویت در مجموعه کلاسیک و فازی را نشان می دهد.



شکل ۳-۸: تعریف عضویت در مجموعه کلاسیک و فازی (Rezaee et al., 2007)

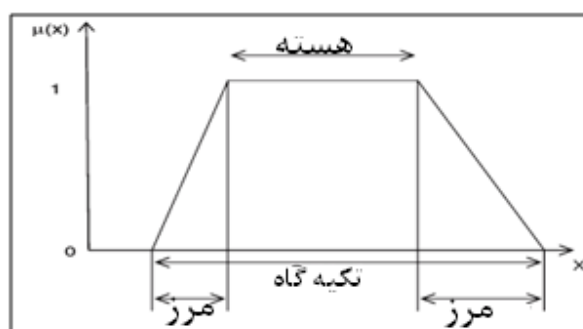
در یک مجموعه فازی تابع عضویت، مشخص کننده میزان عضویت یک عضو در مجموعه می باشد. هر تابع عضویت از سه بخش اصلی بوجود می آید (Siavanandam et al., 2007)

۱- هسته^{۳۴}

۲- تکیه گاه^{۳۵}

۳- مرز^{۳۶}

در شکل زیر این سه بخش نشان داده میشود. هسته مجموعه فازی A در فضای مرجع X یک مجموعه صریح یا قطعی است که شامل همه اجزایی است، که درجه عضویت برابر یک دارد.



شکل ۳-۹: قسمتهای اصلی تابع عضویت

³⁴ core

³⁵ support

³⁶ Boundry

تکیه گاه مجموعه فازی A از مجموعه مرجع X یک مجموعه صریح است که شامل همه اجزای X با درجه عضویت غیر صفر در A می باشد. متمم یک مجموعه فازی در X بوسیله تابع زیر تعریف میشود:

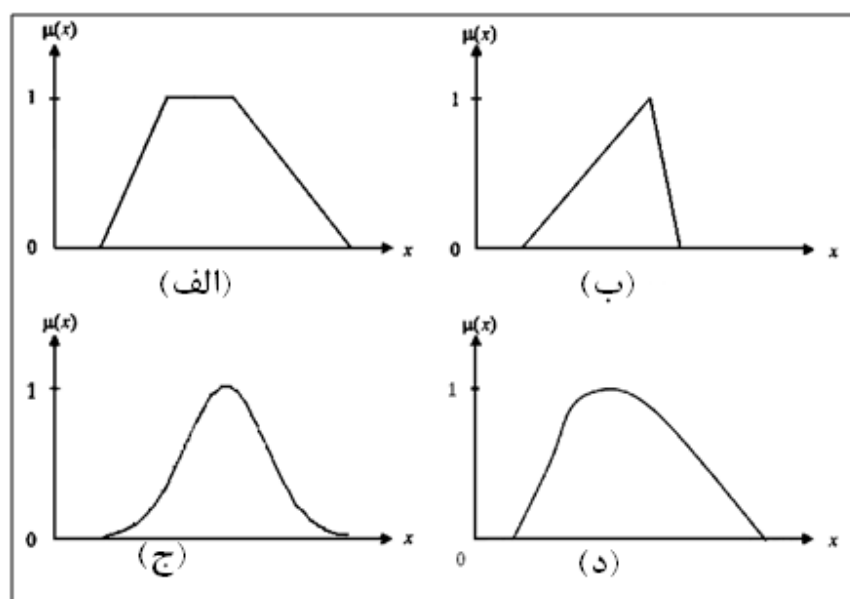
$$\text{Supp: } \bar{p}(x) = p(x) \quad (3.4)$$

که در آن

$$\text{Supp } A = \{x \in X | \mu_A(x) > 0\} \quad (3.5)$$

و بالاخره مرز یک مجموعه فازی A از مجموعه مرجع X یک مجموعه صریح است که شامل همه اجزای X با درجه عضویت بین صفر و یک است. $(0 < \mu_A(x) < 1)$

جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب شامل یازده نوع تابع عضویت است. توابع عضویت به لحاظ شکل با هم متفاوت هستند. انتخاب تابع عضویت بنا به نوع مسئله ای که بایستی حل شود، تغییر می کند. ساده ترین توابع عضویت از خطهای راست تشکیل می شوند. تابع عضویت مثلثی ساده ترین نوع تابع عضویت خطی است، که معمولاً از توزیع گوسی پیروی می کند. برای داده هایی که در علوم زمین با آن سروکار داریم، توزیع گوسی بهترین هم پوشانی را با داده ها دارد. در شکل ۳-۱۰ چهار نوع از معمولی ترین توابع عضویت نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۰: چهار نوع از معمولی ترین توابع عضویت: دوزنقه ای (الف)، مثلثی (ب)، گوسی (ج)، زنگوله ای (د) (Ying, 2000)

در پردازش داده ها با استفاده از سیستم فازی با دو مبحث مواجه هستیم:

۱- مدلسازی فازی

۲- خوشه سازی فازی

از مدلسازی فازی جهت محاسبه پارامترهای عددی مانند تخلخل، تراوایی، اشباع آب سازندی و ... استفاده میشود. در حالیکه خوشه سازی فازی ابزاری برای کلاسه بندی و رده بندی داده ها در گروه های مختلف میباشد. خوشه سازی به دو روش تفریقی و C-mean برای رده بندی لیتولوژی، گروه سنگی و ... کاربرد دارد.

۳-۳-۲- سیستم استنتاج فازی

سیستم استنتاج فازی، فرآیند فرموله کردن رابطه بین ورودیها و خروجی را انجام می دهد. طی این پروسه از توابع عضویت، اپراتورهای فازی و قواعد اگر- آنگاه استفاده میشود. در جعبه ابزار منطق فازی نرم افزار متلب دو

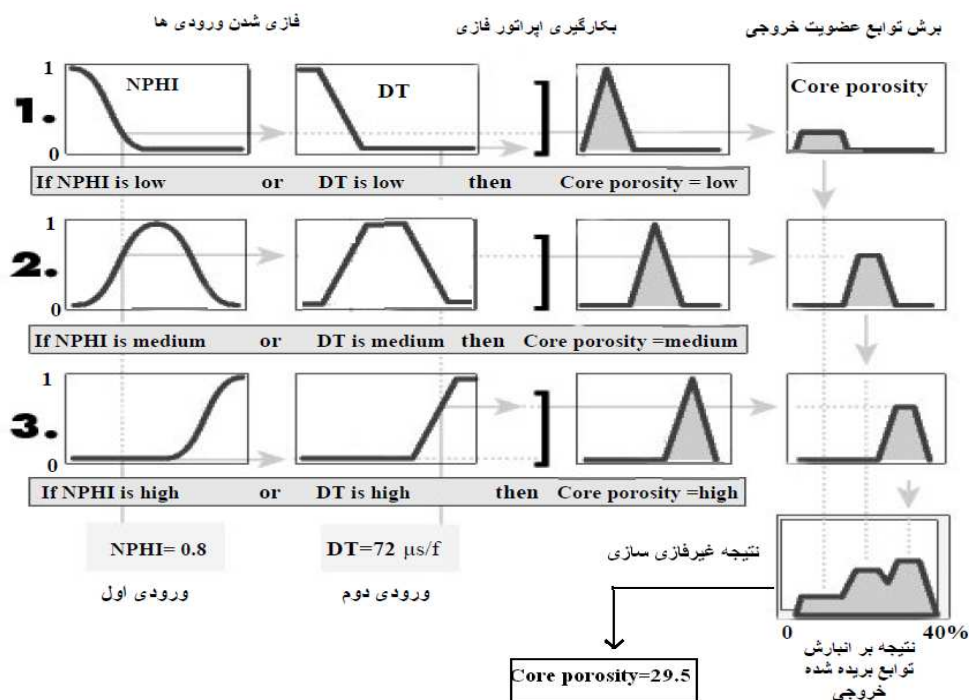
انتخاب برای سیستم استنتاج فازی لحاظ شده است که عبارتند از روش استنتاج ممدانی^{۳۷} و روش استنتاج تاکاگی-سوگنو^{۳۸}. مکانیزم پردازش در یک سیستم فازی اعم از ممدانی یا سوگنو شامل پنج مرحله می باشد: فازی سازی داده های ورودی، استفاده از اپراتور فازی، برش توابع عضویت خروجی، و برهم انباشت خروجی ها و غیرفازی سازی. در مرحله اول هر ورودی به یک عدد فازی تبدیل میشود و مقدار درجه عضویت هر ورودی با توجه به توابع عضویت تعیین میشود. در مرحله بعد اگر مقدمه شرط شامل چند بخش باشد از یک اپراتور فازی برای بدست آوردن یک عدد که نشان دهنده نتیجه مقدمه شرط است، استفاده میشود. در مرحله سوم با استفاده از عدد فازی مرحله قبل، تابع خروجی بریده میشود. در مرحله چهارم خروجی هر کدام از شرطها که یک مجموعه فازی است با هم جمع می شوند تا یک مجموعه فازی واحد بدست آید. در نهایت خروجی غیر فازی میشود (ورودی مرحله آخر یک مجموعه فازی و خروجی آن عدد می باشد). در شکل ۳-۱۱ مثالی از مراحل مختلف یک سیستم فازی نشان داده شده است. ورودیهای این سیستم لاگهای چاه پیمایی بوده و خروجی مقدار تخلخل می باشد.

در مطالعه حاضر از سیستم تاکاگی-سوگنو برای پیش بینی پارامترهای مخزنی استفاده شده است. از جمله مهمترین مزایای این سیستم می توان به موارد زیر، اشاره کرد:

- ۱- از نظر محاسباتی کارآمد است.
- ۲- با تکنیکهای خطی به خوبی کار می کند.
- ۳- با آنالیز ریاضی به خوبی سازگار است.

³⁷ Mamdani and Assilian

³⁸ Takagi and Sugeno



شکل ۳-۱۱: مراحل اصلی در پیش بینی مقدار تخلخل با استفاده از مدل فازی (Kadkhodaie et al., 2006)

۳-۳-۳- نگاهای به جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب

جعبه ابزار منطق فازی در نرم افزار متلب محیط گرافیکی برای ایجاد سیستم فازی فراهم می‌آورد. در این جعبه ابزار قابلیت انتقال سیستم فازی طراحی شده، به محیط سیمولینک وجود دارد. محیط گرافیکی GUI شامل پنج ابزار اولیه برای ساخت و ویرایش سیستم استنتاج فازی می‌باشد، که عبارتند از:

۱- ویرایشگر FIS^{۳۹}

۲- ویرایشگر تابع عضویت

۳- ویرایشگر قواعد

۴- مشاهده گر قواعد

۵- مشاهده گر رویه

³⁹ Fuzzy Inference System

برای باز کرد محیط گرافیکی دستور fuzzy را در خط فرمان بایستی اجرا کرد. در ویرایشگر FIS تنظیماتی از قبیل تعداد ورودی ها و خروجی ها و نام آنها مشخص میشود. بر روی تعداد متغیرها محدودیتی وجود ندارد و تنها عامل محدود کننده، حافظه کامپیوتر مورد استفاده است که عملیات پردازش را کند و حجم محاسبات را زیاد می نماید. بخش های مختلف یک سیستم فازی در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. قابل ذکر است که ویرایشگر گرافیکی ANFIS^{۴۰} نیز در این جعبه ابزار وجود دارد که برای ساخت و آنالیز سیستم نروفازی تطبیقی سوگنو استفاده می شود. برای مشاهده محیط گرافیکی نروفازی دستور anfisedit را در خط فرمان اجرا می کنیم.

۳-۴- سیستم های نروفازی

یکی از بزرگترین معایب سیستم های استنتاج فازی، دشواری و عدم دقت در انتخاب توابع عضویت و ایجاد قوانین فازی است، به ویژه در مواردی که دانش خبره و مهارت لازم در آن وجود ندارد. سیستم های نروفازی یکی از توانمندترین ابزارها برای تعیین قوانین فازی و تنظیم خودکار پارامترهای توابع می باشد (Matlab, 2007). بر خلاف سیستم های فازی که می توانند چندین خروجی داشته باشند، سیستم های نروفازی تنها با یک خروجی اجرا می شوند. در شکل ۳-۱۳ یک سیستم تطبیقی نروفازی نشان داده شده است که برای آموزش سیستم فازی از الگوریتم پس انتشار خطا استفاده می کند. در واقع شبکه های عصبی راه حل مناسبی برای تنظیم پارامترهای سیستم فازی بر اساس داده های مسئله فراهم می آورد.

۳-۴-۱- محدودیتهای سیستم تطبیقی نروفازی

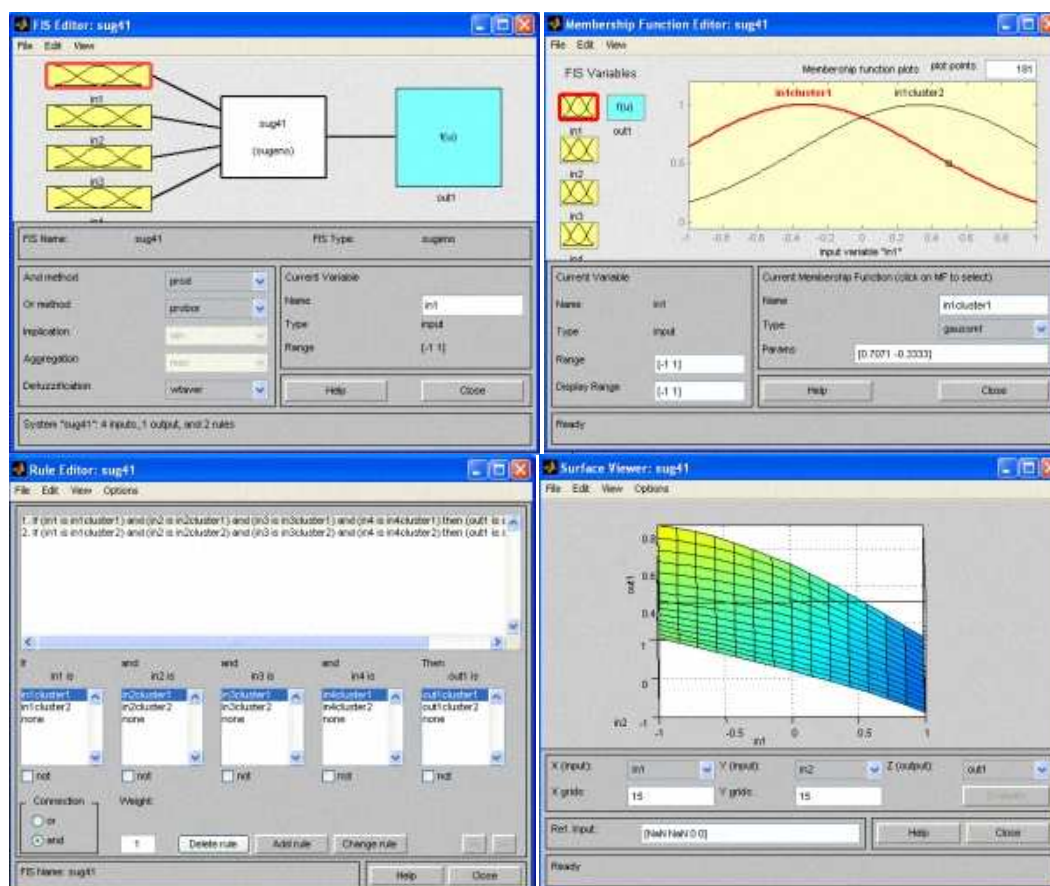
این سیستم ها دارای پیچیدگی بیشتری در مقایسه با سیستم های فازی هستند، که باعث محدودیتهای زیر میشود:

- ۱- فقط سیستم های فازی سوگنو را تحت پوشش قرار می دهد.

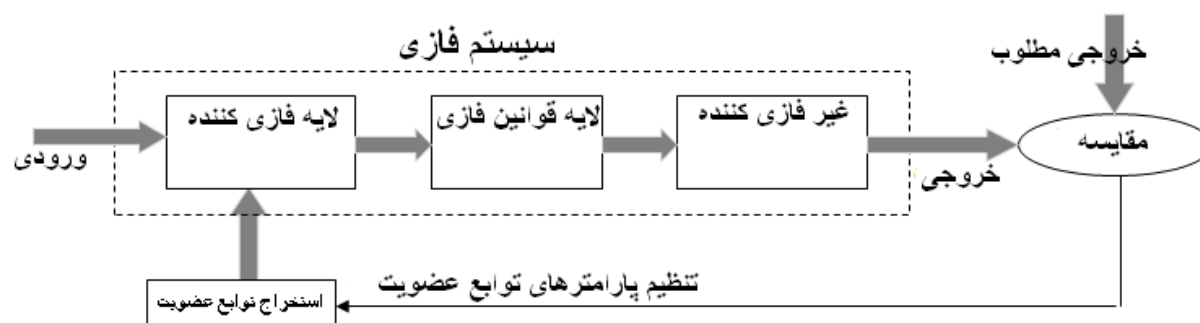
⁴⁰ Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

۲- تنها یک خروجی دارند و همه توابع عضویت خروجی باید از نوع خطی یا ثابت باشند.

۳- قوانین فازی مختلف نمی توانند دارای توابع عضویت یکسانی برای خروجی باشند.



شکل ۳-۱۲: شکل شماتیک از چهار ابزار موجود در جعبه ابزار منطق فازی



شکل ۳-۱۳- عملکرد سیستم تطبیقی نروفازی برای تنظیم پارامترهای توابع عضویت

۳-۵- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک روشی است، برای بهینه سازی مسائل محدود و نامحدود که با الهام از علوم زیستی و بر اساس فلسفه انتخاب بهترین ها در طبیعت بنا شده است (Holland, 1975). امروزه برای انتخاب بهترین تصمیم ها و راه حل ها در علوم مهندسی از الگوریتم ژنتیک و یا الگوریتم های مشابه با آن (کلونی مورچه، الگوریتم استعمار) استفاده میشود. در علوم مهندسی برای حل کردن مسئله، لازم است تا مسئله را به صورت تابع وابسته به پارامترهای مناسبی تعریف کنیم و سپس با بهره بردن از اصول الگوریتم ژنتیک مقدار بهینه تابع را مشخص می کنیم. در ادامه بعضی از اصطلاحات الگوریتم ژنتیک توضیح داده میشود (Matlab, 2007).

الف) تابع برازندگی^{۴۱}: تابع برازندگی بیانگر رابطه ای است، که بایستی مقدار بهینه آن محاسبه شود. این تابع با عنوان تابع هدف نیز شناخته میشود. معمولاً مقدار کمینه این تابع به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته میشود.

ب) افراد^{۴۲}: هر فرد نقطه ای است که می توان تابع هدف را بر آن اعمال کرد. مقدار تابع هدف برای هر فرد، نمره آن فرد محسوب میشود. به عنوان مثال اگر تابع هدف به صورت زیر تعریف شده باشد:

$$F(x_1, x_2) = (2x_1 + 1)^2 + (x_2 + 4)^2 \quad (3.6)$$

بردار (۱،۱) که طول آن برابر با تعداد متغیرهای مسئله است، یک فرد محسوب میشود و نمره این فرد هم ۳۴ می باشد. یک فرد گاهی با نام ژنوم و ورودی های بردار هر فرد، با نام ژن شناخته می شوند.

ج) جمعیت ها و نسلها^{۴۳}: به گروهی از افراد جمعیت گفته میشود. در مسائل مهندسی که هدف حل کردن یک تابع است، برای معرفی کردن جمعیت از ماتریس استفاده میشود. به عنوان مثال اگر تعداد جمعیت برابر ۱۰۰ باشد و تعداد متغیرهای تابع هدف ۲ باشد، جمعیت با یک ماتریس ۱۰۰ ردیف و ۲ ستون نشان داده میشود.

⁴¹ Fitness function

⁴² Individuals

⁴³ Populations and generations

ممکن است در یک جمعیت، یک فرد ثابت بیشتر از یکبار وجود داشته باشد. در هر مرحله، الگوریتم ژنتیک تعدادی محاسبات بر روی جمعیت کنونی انجام می‌دهد تا جمعیت جدیدی را بوجود آورد. هر جمعیت متوالی را یک نسل گویند.

د) والدین و فرزندان^{۴۴}: برای تولید نسل بعدی، الگوریتم ژنتیک افراد مشخصی از نسل کنونی را انتخاب می‌کند که به این افراد والدین گفته میشود. از والدین برای تولید نسل بعدی استفاده میشود. نسل تولید شده را فرزندان می‌گویند. معمولاً الگوریتم ژنتیک والدینی را برای تولید نسل بعدی انتخاب می‌کند که مقدار تابع هدف در آنها کمتر باشد.

ه) تنوع^{۴۵}: به میانگین فاصله بین افراد هر جمعیت پخشی گفته میشود. اگر میانگین فاصله بزرگ باشد جمعیت دارای پخشی زیادی خواهد بود. در الگوریتم ژنتیک مقدار این فاصله حائز اهمیت است زیرا به الگوریتم اجازه می‌دهد که محدوده بزرگتری از فضا را جستجو کند.

۳-۵-۱- مراحل کار الگوریتم ژنتیک

مراحل کار الگوریتم ژنتیک به ۴ بخش اصلی تقسیم میشود (Tamhane et al., 2000):

- الف) الگوریتم با تولید یک جمعیت اولیه تصادفی شروع به کار می‌کند.
- ب) با محاسبه مقدار تابع هدف، به هر عضو جمعیت کنونی نمره می‌دهد و مقدار بدست آمده را نرمالیزه میکند تا در مقایسه مقادیر از مقیاس مشخصی استفاده کند.
- ج) والدین را بر اساس مقدار تابع هدف انتخاب می‌کند. در این مرحله تعدادی از افراد جمعیت فعلی به عنوان نخبه انتخاب می‌شوند و مستقیماً به مرحله بعد می‌روند.

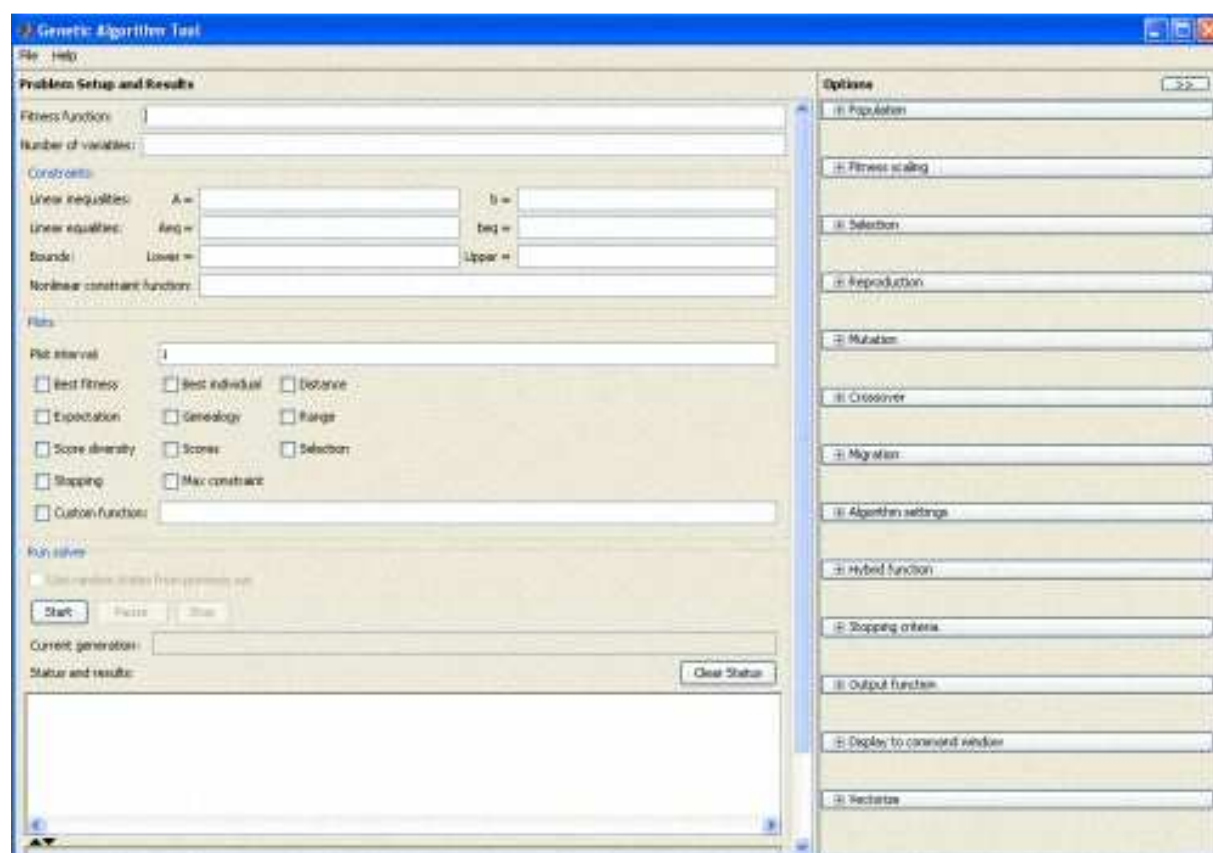
⁴⁴ Parents and children

⁴⁵ Diversity

د) از والدین انتخاب شده، فرزندان را تولید می‌کند. فرزندان یا به صورت جهش (انجام تغییرات تصادفی روی یک والد) یا به صورت تقاطع (ترکیب دو بردار ورودی از یک جفت والد) تولید می‌شوند. به این صورت نسل بعدی تولید میشود و مقدار تابع هدف برای این نسل نیز محاسبه میشود. هنگامیکه یکی از معیارهای توقف (که در پیش فرض الگوریتم ژنتیک مشخص میشود) به وقوع بپیوندد، الگوریتم متوقف میشود و مقدار نهایی تابع هدف را مشخص می‌کند.

۳-۵-۲- نگاهی به جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب

در نرم افزار متلب امکان استفاده از محیط گرافیکی برای الگوریتم ژنتیک نیز فراهم شده است. برای باز کردن این محیط گرافیکی بایستی عبارت gatool را در خط فرمان اجرا کرد. با اجرای این دستور پنجره الگوریتم ژنتیک مانند شکل ۳-۱۴ باز خواهد شد. در بخش تابع هدف بایستی این تابع را به برنامه معرفی کنیم. این تابع به صورت @fitnessfun معرفی میشود. این تابع در یک m.file تعریف میشود. علامت @ ارتباط با تابع تعریف شده در m.flie را ایجاد می‌کند. در قسمت دیگر تعداد متغیر ها یا همان طول بردار ورودی برای تابع هدف مشخص میشود. می‌توان برای اجرا الگوریتم ژنتیک از پیش فرض های جعبه ابزار استفاده کرد. برای تغییر این پیش فرضها می‌توان از قسمت option استفاده کرد.



شکل ۳-۱۴: محیط گرافیکی الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب

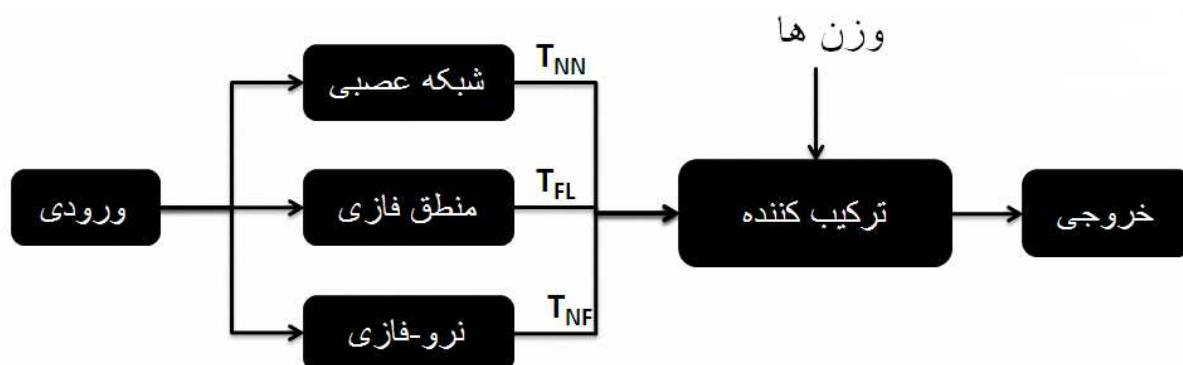
۳-۶- ماشین کميته مبتنی بر سیستم های هوشمند^{۴۶}

در علوم مهندسی برای حل مسائل و توابع پیچیده، از اصلی به نام تقسیم و تسهیل^{۴۷} استفاده میشود. بر پایه این اصل، یک مسئله پیچیده به چندین مسئله ساده تر تقسیم میشود و بجای حل کردن یک مسئله دشوار چندین مسئله آسانتر حل میشود و در نهایت با ترکیب پاسخهای بدست آمده به پاسخ مسئله اصلی و اولیه می رسیم. در مورد تکنیکهای هوش مصنوعی نیز می توان از همین تکنیک برای رسیدن به پاسخی دقیق تر و نزدیک تر به واقعیت استفاده کرد. برای این منظور جواب بدست آمده از هریک از تکنیکهای هوش مصنوعی (شامل شبکه عصبی، منطق فازی و سیستم تطبیقی نروفازی) را با هم ترکیب می کنند، که به این

⁴⁶ Committee machine with intelligent system

⁴⁷ Principle of divide and conquer

فرآیند اصطلاحاً تشکیل ماشین کمیته گفته میشود. این فرآیند باعث میشود تا مزایای هریک از روش ها در کنار هم قرار گرفته و دقیقترین جواب بدست آید (Kadkhodaie et al., 2008). در شکل زیر فلوچارتی از عملکرد یک ماشین کمیته نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۵: فلوچارتی از عملکرد ماشین کمیته

برای ترکیب پاسخهای بدست آمده از تکنیکهای مستقل هوش مصنوعی دو نوع ماشین کمیته پیشنهاد میشود: نوع اول میانگین گرفتن از پاسخ تکنیکها می باشد که به آن میانگین گیری ساده گفته میشود. در این روش سهم هریک از تکنیکها (شبکه عصبی، منطق فازی و نرو-فازی) در تولید خروجی نهایی با هم برابر است (Chen and Lin, 2006). در روش دوم از الگوریتم ژنتیک برای تولید بهترین ترکیب و ایجاد جواب دقیق استفاده میشود. مسلماً این روش نسبت به میانگین گیری ساده جواب دقیق تری ارائه می کند. در این روش، لزوماً سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی نهایی یکسان نمی باشد. برای ایجاد این نوع ماشین کمیته لازم است تابعی تعریف شود. این تابع در حقیقت، تابع هدف برای الگوریتم ژنتیک است. در مطالعه حاضر تابع ماشین کمیته به صورت زیر تعریف شده است، که در واقع تابع خطا می باشد که بایستی مینیمم شود.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_1 \times NN_i + W_2 \times FL_i + W_3 \times NF_i - T_i)^2 \quad (3.7)$$

که در آن W_1, W_2 و W_3 مشخص کننده مقدار سهم هریک از سیستم های هوشمند در تولید خروجی نهایی و T_i نیز مقدار خروجی واقعی و n تعداد داده های استفاده شده برای آموزش سیستم های هوشمند را نشان می دهد. مقدار بهینه این تابع را با استفاده از الگوریتم ژنتیک مشخص می کنیم که این مقدار، خطای ماشین کمینه را نشان می دهد. با استفاده از الگوریتم ژنتیک می توان سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی نهایی را نیز مشخص کرد.

۳-۷-۲- پردازش تصویر^{۴۸}

پردازش تصویر در واقع مقدمه ای برای رسیدن به بینایی ماشین^{۴۹} می باشد. ماشین بینایی همانطور که از نام آن پیداست، ابزاری برای تشخیص الگوهای^{۵۰} مختلف است. در پروسه ماشین بینایی انسان دخالت مستقیم ندارد و ماشین یا ربات بر اساس پارامترها، مشخصه ها و ویژگی هایی که از قبل برای آن تعریف شده است، یک شیء خاص را از بقیه جدا می کند. امروزه از ماشین بینایی در علوم مختلف استفاده میشود. به عنوان مثال سیستمها و رباتهای هوشمندی برای تشخیص اثر انگشت، رنگ چشم، تشخیص دست خط، اعداد و ... طراحی شده اند. پایه و اساس ماشین بینایی را پردازش تصویر تشکیل می دهد.

۳-۷-۱- تصویر دیجیتال

یک تصویر دیجیتال، ماتریس دو بعدی (در مورد تصاویر رنگی، سه بعدی) از اعداد حقیقی، صحیح و یا باینری است. هر عنصر از این ماتریس پیکسل نام دارد. پیکسل ها واحد اطلاعاتی یک تصویر هستند. در حقیقت میتوان گفت، یک تصویر دیجیتال، یک سیگنال دیجیتال دو بعدی است. اطلاعات پیکسلهای مختلف تصویر معمولاً در ساختارهای استاندارد در داخل یک فایل دیجیتال به دنبال هم چیده می شوند. در استانداردهای مختلف ذخیره سازی تصویر، مانند tif, bmp, png و jpeg مقادیر پیکسل ها و یا ضرایب تبدیل متناظر با آنها به اشکال

⁴⁸ Image processing

⁴⁹ Machine vision

⁵⁰ Pattern recognition

و گونه های مختلفی در داخل یک فایل قرار می گیرند. هر پیکسل از یک تصویر دیجیتال، معرف میزان روشنایی آن نقطه از تصویر است. با توجه به حساسیت چشم انسان در تشخیص سطوح روشنایی، کل محدوده روشنایی قابل نمایش به ۲۵۶ سطح تقسیم بندی میشود. سطح روشنایی هر پیکسل می تواند مقداری بین ۰ تا ۲۵۵ داشته باشد.

۳-۷-۲- مطالعه سیستم منافذ با استفاده از تحلیل تصاویر

مراحل مختلف مطالعه منافذ به روش تحلیل تصاویر به شرح ذیل می باشد:

- ۱- تهیه مقاطع نازک با اپوکسی آبی رنگ
- ۲- تهیه تصاویر از مقاطع نازک
- ۳- قطعه بندی^{۵۱} تصویر
- ۴- استخراج ویژگی های هندسی لازم برای تشخیص الگو
- ۵- استفاده از روشهای رده بندی برای تفکیک الگوها

۳-۷-۲-۱- تهیه مقاطع نازک با اپوکسی آبی رنگ

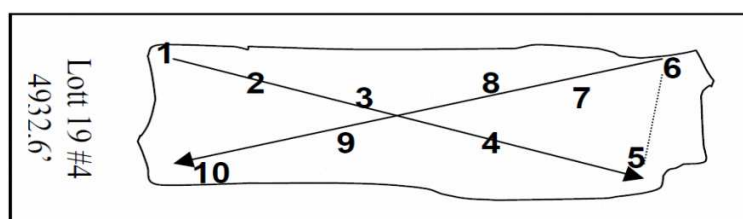
جهت تهیه مقاطع اشباع شده از اپوکسی آبی رنگ، یک سری مراحل باید طی شود. ابتدا باید محلول اپوکسی آبی تهیه شود که ترکیبی از ۳۰۰ میلی گرم پودر اپوکسی و ۹۰ میلی گرم استن می باشد. نمونه های مورد نظر را در داخل پوششی از کاغذ آلومینیوم قرار داده و سپس محلولی مورد نظر را به آن اضافه می کنند سطح محلول باید به گونه ای باشد که نمونه در آن غرق نشود. آنگاه در طی چند ساعت نمونه ها را در محفظه ای در حالت خلا قرار داده تا اپوکسی در آنها نفوذ کند، به این ترتیب نمونه آغشته به اپوکسی آبی رنگ تهیه میشود. برای تهیه مقاطع نازک نیز شبیه مقاطع معمولی عمل میشود با این تفاوت که از سمباده نرمتری برای سایش نمونه استفاده میشود (شمس نیا، ۱۳۸۵). مزیتی که استفاده از اپوکسی آبی رنگ دارد

⁵¹ Segmentation

این است که احتمال کمی می‌رود که اجزای سنگ به طور طبیعی آبی رنگ باشد و به راحتی می‌توان عناصر تخلخل را از سایر اجزای سنگ در مقاطع تشخیص داد (Ehrlich et al., 1991).

۳-۷-۲- تهیه تصاویر از مقاطع نازک

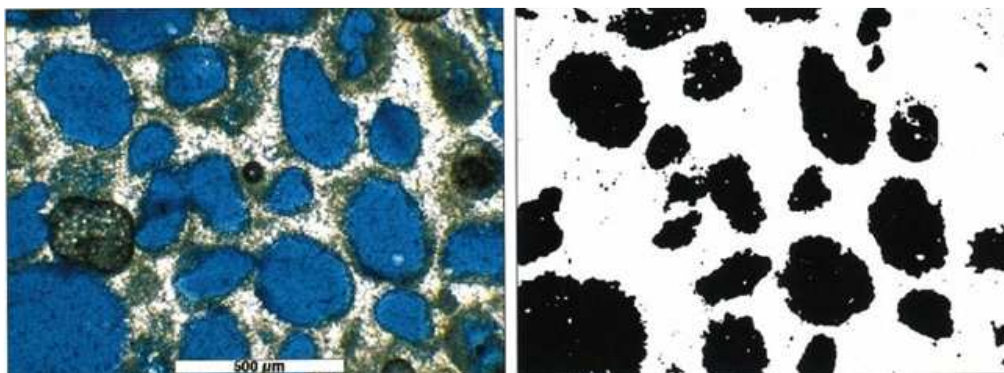
تصاویر با استفاده از میکروسکوپ مجهز به دوربین دیجیتال تهیه می‌گردد، که دوربین به وسیله کابلی به کامپیوتر متصل شده و توسط نرم افزار در کامپیوتر قابل نمایش می‌شود و به عنوان یک فایل قابل ذخیره است. برای تعیین بزرگنمایی تصاویری که از مقاطع نازک بدست می‌آید باید دقت زیادی داشته باشیم، چون در بزرگنمایی های بالا بیشتر به بررسی ریزتخلخل ها پرداخته می‌شود و بنابراین درشت تخلخل ها بزرگتر از حد معمول تخمین زده می‌شوند و کاهش در بزرگنمایی هم میزان جزئیات فضای بین دانه و تخلخل را کاهش می‌دهد (Ehrlich et al., 1991). در مطالعه حاضر بعد از بررسی بزرگنمایی های مختلف به این نتیجه رسیدیم که بزرگنمایی $12.5X$ بهترین تصویر را از سنگ فراهم می‌آورد. این بزرگنمایی با عدسی شئی $1.25X$ و عدسی چشمی $10X$ بدست می‌آید. در این مطالعه از مقاطع نازک به طور متوسط ۱۰ عدد تصویر گرفته شده است. جهت اطمینان از پوشش سطح مقاطع، تصاویر با یک نظم خاص در یک شبکه بندی تهیه گردید. شکل زیر روند عکس گرفتن از هر مقطع را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۴: روند تهیه عکس از هر مقطع

۳-۲-۷-۳- قطعه بندی تصویر

این مرحله شامل توصیف مقدماتی و شناخت اولیه از فضاهای خالی و جداسازی آنها از سایر بخشهای تصویر است. با این هدف تصویر به دو بخش تقسیم می‌شود، که به این کار قطعه بندی گفته میشود. قطعه‌بندی تصویر عبارت است از، جداکردن پیکسل هایی از تصویر که به گروه یا شاخه خاصی از اشیاء اختصاص دارند (Martinez et al., 2007). در این مطالعه هدف جدا کردن فضاهای خالی از سایر بخش های سنگ است و در نتیجه خروجی این مرحله یک تصویر سیاه و سفید خواهد بود که فضاهای خالی به رنگ یکدست سیاه و سایر بخش های سنگ، سفید نشان داده میشود. برای بهتر مشخص شدن مفهوم دوتایی سازی به شکل ۳-۱۷ دقت شود.



شکل ۳-۱۷: شکل سمت راست، قطعه بندی شده تصویر سمت چپ است

در این شکل در سمت چپ تصویر تهیه شده از میکروسکوپ نوری و در سمت راست همان تصویر بعد از اعمال فرایند دوتایی سازی آمده است. در تصویر سمت راست بخشهای آبی رنگ نشان دهنده خلل و فرج و در تصویر سمت راست همان بخشها به رنگ تیره در آمده‌اند.

۳-۲-۷-۴- استخراج ویژگی‌های هندسی لازم برای تشخیص الگو

در مرحله چهارم تصویر سیاه و سفید را برای استخراج مشخصه های ویژه ای آنالیز می‌کنند (یا در صورتیکه هدف مطالعه رنگی پیکسل‌ها باشد با اندیس گذاری پیکسل‌های مورد نظر آنها را به سیستم معرفی می‌کنند) این مشخصه ها باید به نحوی انتخاب و محاسبه شوند که کامپیوتر بتواند یک الگو را تشخیص دهد. الگو، ترتیب یا

نمایشی از اشیاء، اشکال یا اطلاعات است، به نحوی که در آن می توان ساختار و نظم مشخص را پیدا کرد . میتوان گفت که جهان مجموعه ای است از الگوهای مختلف. الگو بیان توصیفی یا کمی یک شی یا هر چیز دیگر است. مجموعه ای از الگوها که یک خاصیت مشترک دارند، یک کلاس الگو را مشخص می نمایند (Theodoridis, 2003). تشخیص الگو نیز در واقع عملکرد خودکار تکنیک هایی است که هر الگو را به کلاس آن تخصیص می دهند.

۳-۷-۲-۵- استفاده از روشهای رده بندی برای تفکیک الگوها

مرحله آخر در پردازش تصویر، دسته بندی کردن اشیاء مورد نظر می باشد. در این مرحله مشخص می شود که هر الگو به چه دسته ای تعلق دارد. معلم نیز بیانگر یک سیستم نظارتی است که آموزش اولیه الگوریتم را بر عهده دارد. در واقع یک الگوریتم تشخیص الگو از ابتدا قادر به تفکیک کلاس های مختلف نیست و لازم است آموزش داده شود. آموزش زمانی پایان می پذیرد که الگوریتم در یک آزمون به درستی کار دسته بندی الگوها به کلاس های مختلف را انجام دهد. آنگاه از این الگوریتم به عنوان یک سیستم متخصص در کار دسته بندی الگوهای از همان نوع استفاده می شود. در هر مساله تشخیص الگو، جنس ویژگی هایی که باید استخراج شود، پیش پردازش داده ها و نوع الگوریتم تصمیم گیری توسط مشخصات مساله معین می شود. سیستم طبقه بندی داده در یک مساله تشخیص الگو، ممکن است به یکی از دو شکل ذیل صورت گیرد:

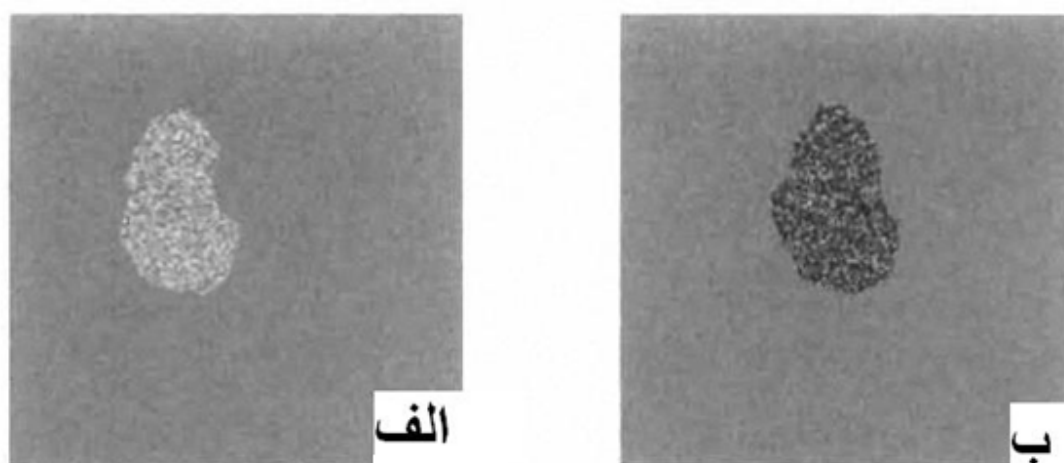
الف) آموزش نظارت شده، که در آن الگو به یکی از کلاس های مشخص نگاشته می شود. در این نوع آموزش، ابتدا ورودی ها در اختیار الگوریتم دسته بندی قرار داده میشود . پس از آنکه شبکه الگو را به یکی از کلاس ها تخصیص داد، جواب درست در اختیار سیستم قرار می گیرد. بدین ترتیب الگوریتم دسته بندی امکان می یابد تا خطای خود را دریابد و اصلاح نماید. نمونه ای از انواع این آموزش در نرم افزار متلب تحت عنوان آنالیز تفکیک کننده^{۵۲} آمده است. بخش اصلی این آنالیزها تابع تفکیک کننده^{۵۳} می باشد (Matlab, 2007).

⁵² Discriminate analysis

ب) آموزش نظارت نشده^{۵۴}، که در آن دسته های از پیش تعیین شده ای وجود ندارد و سیستم فقط الگو را در فضای ویژگی ها می نگارد یا به عبارت دیگر عمل خوشه یابی را انجام می دهد. در این نوع، جواب صحیح به سیستم داده نمی شود و تنها اطلاعاتی که سیستم دریافت می کند، بردارهای ورودی هستند. درخت تصمیم گیری^{۵۵} از انواع این نوع آموزش میباشد (Theodoridis, 2003).

بردارهای ورودی بایستی بازتاب مناسبی از مشخصه های شکل هندسی یا بافت باشند. در صورتیکه هدف از پردازش یک تصویر استخراج پارامترهایی وابسته به رنگ پیکسل باشد (مثل جداکردن پیریت و طلا در تصاویر مقاطع صیقلی) مراحل ذکر شده برای آنالیز تصویر با اندکی تغییرات انجام میشود و گاهی تصویر به سیاه و سفید تبدیل نمیشود. استخراج بردار ورودی مناسب، در تشخیص الگو برای مرحله بعد بسیار حیاتی است و دقت نهایی الگوریتم به همین ورودی های بستگی دارد. برای بهتر روشن شدن مراحل بالا به مثال ساده صفحه بعد توجه شود: این دو عکس مربوط به یک مطالعه پزشکی برای تشخیص بافت سلولی سرطانی می باشد.

شکل ۳-۱۸ (الف) بافت سلولی سالم و شکل ۳-۱۸ (ب) بافت سلولی سرطانی را نشان می دهد. در شکل ۳-۱۹ مقدار میانگین و انحراف معیار شدت رنگ برای دو نوع بافت سالم و سرطانی آمده است.



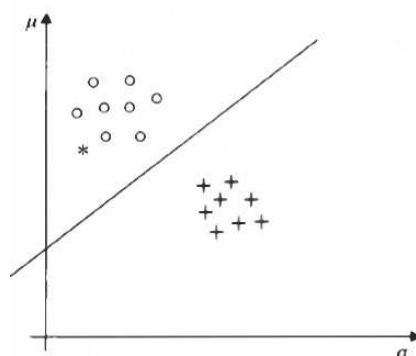
⁵³ Discriminate function

⁵⁴ Unsupervised

⁵⁵ Decision tree

شکل ۳-۱۸: بافت سلولی سالم بافت (الف) و بافت سلولی سرطانی (ب) (Theodoridis, 2003).

همانطور که از شکل ۳-۱۹ مشخص است، با استخراج دو مشخصه ی میانگین و انحراف معیار شدت رنگ، توانستیم دو بافت را از هم جدا کنیم. در پاره ای مسائل تنها با تکیه بر این تعداد مشخصه و رنگ پیکسل نمی-توان اشیاء را از هم جدا کرد و لازم است تا پارامترهای شکل هندسی و بافت نیز استفاده شود.



شکل ۳-۱۹: مقدار میانگین و انحراف معیار شدت رنگ برای دو نوع بافت سالم و سرطانی (Theodoridis, 2003).

با کنار هم گذاشتن مشخصه های استخراج شده برای هر شیء، بردار مشخصه های آن شیء ایجاد میشود. بردار X ، بردار مشخصه شیء با L مشخصه می باشد.

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_L]$$

در نمودار زیر خط مستقیم نقش دسته بندی کننده را دارد. در این مثال خط راست دو نوع بافت را از هم تفکیک کرده است، ولی در صورتیکه پراکندگی نقاط نامنظم باشد و هم پوشانی بین نقاط وجود داشته باشد، این خط راست نمی تواند تقسیم بندی مناسبی انجام دهد و شاید یک منحنی عملکرد بهتری داشته باشد. در مطالعه حاضر، رده بندی فضاهای خالی موجود در تصاویر مقاطع نازک انجام شده است. این رده بندی بر اساس مشخصه های رنگی امکان پذیر نمی باشد و ناگزیر از مشخصه های هندسی استفاده شده است. فضاهای خالی سنگ در واقع اشکال هندسی با شکل های نامنظم و پیچیده ای می باشند که شکل آنها از نظم خاصی تبعیت نمی کند.

فصل چهارم:

پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار
برای تفکیک فضاهای خالی

فصل چهارم: پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای

خالی

۴-۱- مقدمه

مقاطع نازک حاوی اطلاعات گسترده‌ای، در مورد سنگ می باشند. این مقاطع در بر گیرنده انواع مختلف کانی ها، مشخص کننده انواع مختلف فضاهای خالی و شکستگی ها، انواع مختلف میکرو و ماکرو فسیلها، وضعیت دانه بندی سنگ و ... هستند. با توجه به این مطلب مطالعه حاضر به دو بخش تقسیم شده است: در بخش اول تلاش شده است تا مدلی برای پیش بینی تخلخل و تراوایی با استفاده از مطالعه پتروگرافی و آنالیز تصویر مقاطع نازک ارائه شود. این مدل بدون نیاز به آزمایشگاه و دستگاهای پیشرفته آنالیز مغزه، باعث کاهش در زمان و هزینه مطالعات مخزنی می‌شود و در عین حال شناخت دقیقی از خواص سنگ مخزن ارائه می‌نماید. همچنین استفاده از این مدل برای پیش بینی خصوصیات مخزنی در میادین قدیمی که غالباً مغزه ها به دلیل هوازدگی خواص اولیه خود را از دست داده و فقط نتایج مطالعات پتروگرافی آنها در دسترس است، نیز مفید خواهد بود. یکی دیگر از کاربردهای مطالعات پتروگرافی و آنالیز تصویر، شناخت پارامترهایی همچون نوع فضاهای خالی و خلل و فرجهای سنگ، تفکیک تخلخل مفید و غیر مفید، کانی شناسی، تعیین مقدار و نوع سیمان سنگ و ... می‌باشد. این مطالعات در ارائه شناخت از ارتباط بین فضاهای خالی و تاثیر آن بر حرکت سیال در سنگ مفید می‌باشد. در بخش دوم این مطالعه، تلاش شده است تا بر پایه روشهای تشخیص الگو، الگوریتمی خودکار برای تفکیک انواع فضاهای خالی و تعیین تخلخل مفید و غیر مفید ارائه شود. این الگوریتم برای شناسایی و رده بندی فضاهای خالی سنگ مخزن و مطالعه کمی و دقیق پارامترهای پتروگرافی مفید می‌باشد.

۴-۲- آماده سازی داده ها

۴-۲-۱- داده ها لازم برای تخمین تخلخل و تراوایی

داده های مورد استفاده در این پروژه با مطالعه و آنالیز تصاویر گرفته شده با بزرگنمایی $12.5X$ از مقاطع نازک اشباع با اپوکسی آبی استخراج شده‌اند. برای ارائه مدل پیش بینی تخلخل و تراوایی (خروجی‌های سیستم هوشمند) از دوازده ویژگی پتروگرافی (ورودی‌های سیستم هوشمند) استفاده شد. برای استخراج این ویژگی‌ها از نرم افزار Image Pro Plus و جعبه ابزار آنالیز تصویر در نرم افزار متلب استفاده شده است. ویژگی‌های پتروگرافی استخراج شده از هر تصویر عبارتند از:

۱- مقدار تخلخل بین دانه‌ای و بین کریستالی

۲- مقدار تخلخل درون دانه‌ای

۳- مقدار تخلخل قالبی

۴- مقدار ریز تخلخل

۵- مقدار تخلخل نوری

۶- مقدار سیمان

۷- مقدار آهک

۸- مقدار دولومیت

۹- مقدار انیدریت

۱۰- نوع بافت

۱۱- میانگین ضریب شکل هندسی^{۵۶} فضاهای خالی

۱۲- نوع سنگ

⁵⁶ Geometrical shape coefficient

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

از آنجایی که از هر مقطع بیش از ده تصویر گرفته شده، پارامترهای ذکر شده در هر تصویر محاسبه و مقدار میانگین آن را برای کل مقطع در نظر گرفته‌ایم.

یکی از پارامترهای مطالعه شده در مقاطع نازک نوع بافت سنگ می باشد. با توجه به رده بندی دانه‌ها، مقاطع مطالعه شده به چهار نوع بافت مادستون، وکستون، پکستون و گرینستون تقسیم شده‌اند و برای معرفی به سیستم‌های هوشمند به ترتیب با اعداد ۴، ۳، ۲ و ۱ کدگذاری شده‌اند.

شکل هندسی فضاهای خالی تاثیر بسزایی بر عملکرد سنگ مخزن دارند. به عنوان مثال خلل و فرج‌های کشیده و دراز تاثیر متفاوتی نسبت به خلل و فرج‌های دایره‌ای و گرد بر خواص فیزیکی سنگ دارند. در این مطالعه سعی شده است تا از نسبت محیط به مساحت فضاهای خالی استفاده شود. در محیط دو بعدی فضای گرد دارای نسبت محیط به مساحت مقدار پایین و یک فضای دراز و کشیده، مثل شکستگی ها موجود در سنگ، دارای مقدار بالایی از این نسبت است. ضریب شکل هندسی نسبت نرمالیز شده‌ای از محیط فضای خالی به مساحت آن می‌باشد. مهمترین استفاده از نسبت محیط به مساحت برای مطالعه اتصال فضاهای خالی به هم است که نشان می‌دهد که فضاهای پیچیده دارای خلل و فرجهایی با شکل هندسی هستند که وضعیت مناسب‌تری برای ایجاد یک شبکه متصل بهم دارد. برای نشان دادن این نسبت مربع محیط را بر مساحت تقسیم و آنرا به گونه نرمال سازی می کنیم که مقدار این نسبت برای یک شکل دایره ای یک شود. این نسبت بدون بعد است و آنرا با γ نشان می‌دهیم.

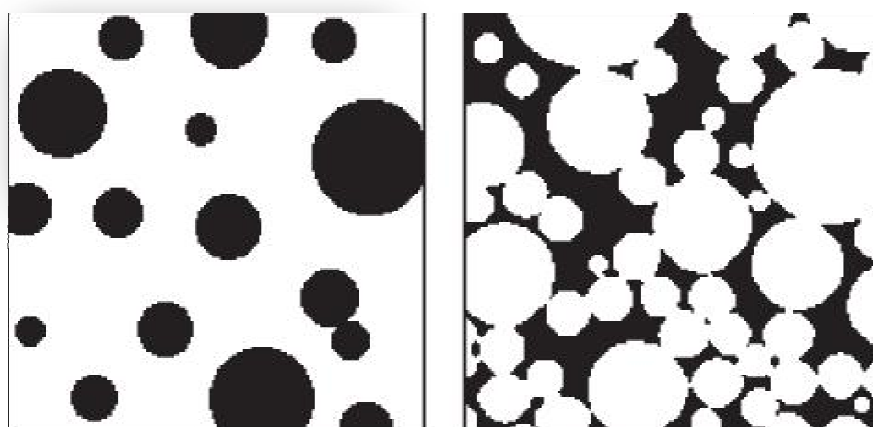
$$\gamma = \frac{\text{محیط}^2}{4\pi \times \text{مساحت}} \quad (4.1)$$

برای بدست آوردن مقدار میانگین ضریب شکل هندسی برای هر تصویر از فرمول استفاده شده است.

$$\gamma_{mean} = \frac{\sum_i (A_i \times \gamma_i)}{\sum_i A_i} \quad (4.2)$$

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

در این فرمول A_i مساحت فضای خالی i ام می باشد و باعث میشود تا در یک نمونه که میکروپراسیتی مقدار بالایی است، فضاهای خالی کوچک تاثیر قابل ملاحظه ای برای ضریب شکل هندسی مقطع نداشته باشد، چرا که عامل اصلی تعیین کننده برای ضریب شکل هندسی از شکل فضاهای ماکرو حاصل میشود (Anselmetti et al., 1998). مفاهیم بیان شده در این بخش برای شکل هندسی در شکل ۴-۱ توضیح داده شده است. در این شکل فضاهای خالی سنگ به رنگ سیاه و سایر بخشهای سنگ به رنگ سفید نمایش داده شده اند.



شکل ۴-۱: تفاوت شکل هندسی فضاهای خالی ایزوله و فضاهای بهم پیوسته

بر اساس میانگین اندازه دانه های تشکیل دهنده سنگ و مقدار ماتریکس چهار نوع سنگ تعریف شده است. در جدول زیر فاکتورهای تعریف چهار نوع سنگ آمده است.

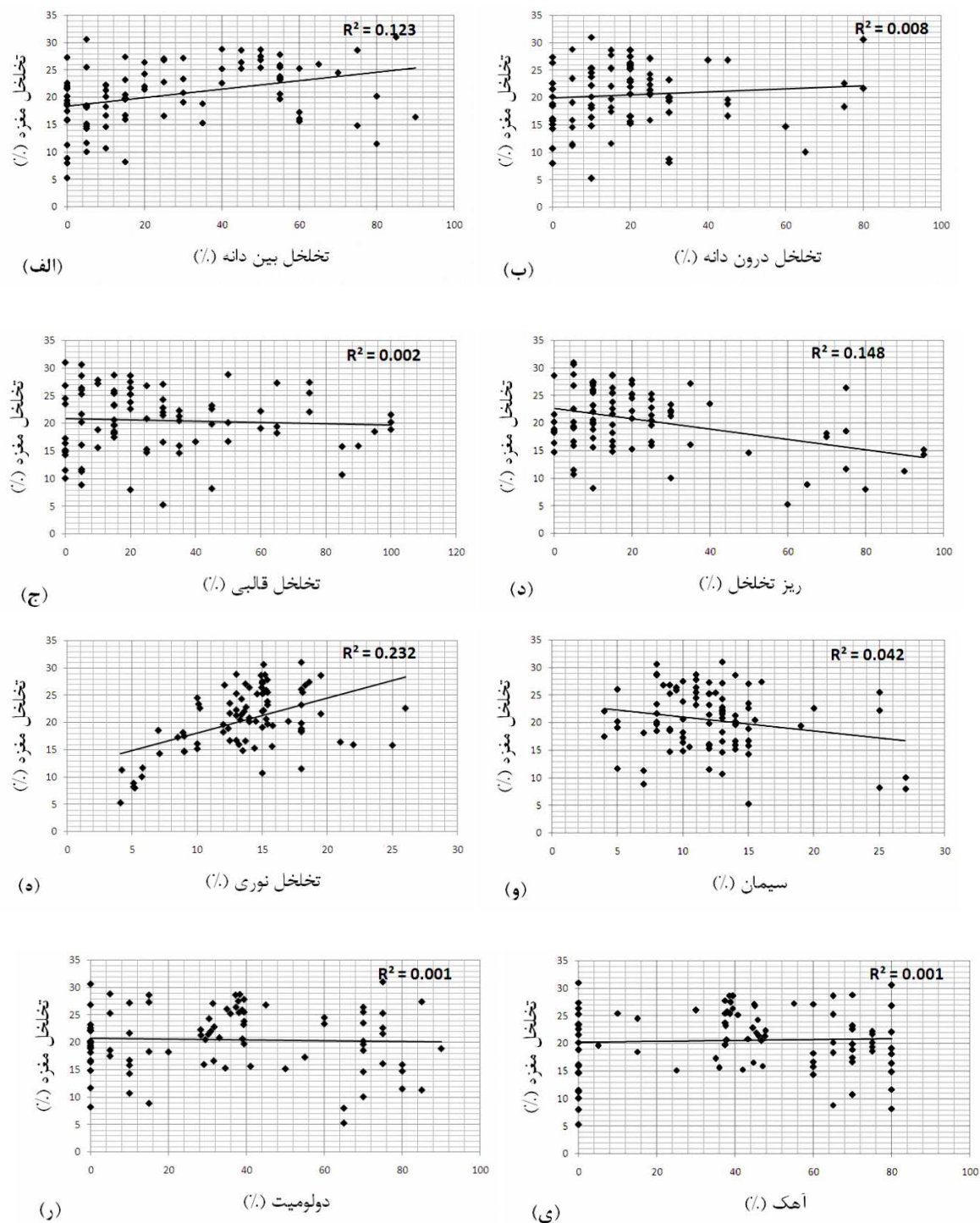
جدول ۴-۱: بازه تغییرات مقدار ماتریکس و اندازه دانه ها در مقاطع مطالعه شده

نوع سنگ	میانگین اندازه قطر دانه ها	مقدار ماتریکس و گل قابل مشاهده
نوع اول	بیشتر از ۴۰۰ میکرومتر	کمتر از ۱۵ درصد
نوع دوم	بیشتر از ۴۰۰ میکرومتر	بیشتر از ۱۵ درصد
نوع سوم	کمتر از ۴۰۰ میکرومتر	کمتر از ۱۵ درصد
نوع چهارم	کمتر از ۴۰۰ میکرومتر	بیشتر از ۱۵ درصد

۴-۲-۲- انتخاب داده های آموزشی مناسب

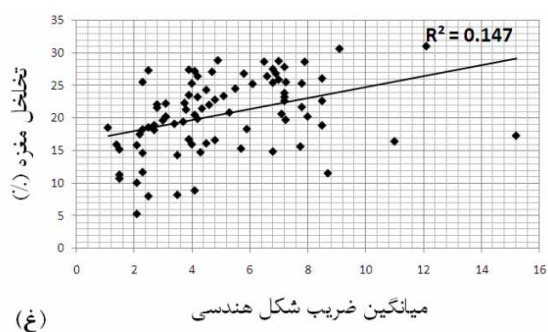
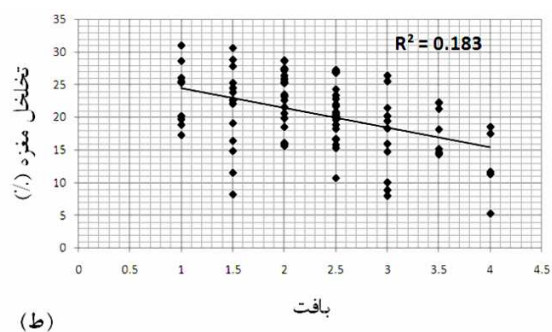
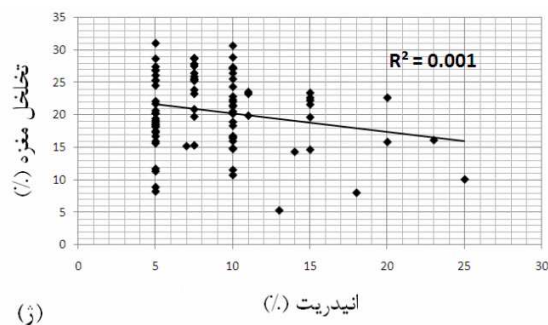
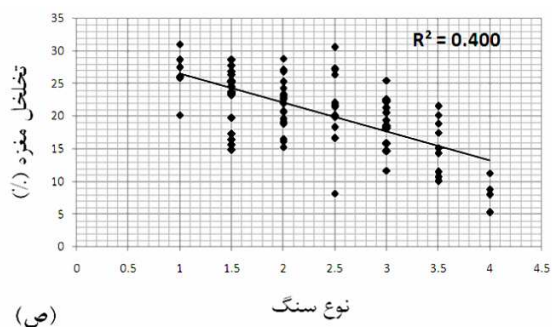
یک مجموعه آموزشی مناسب برای سیستم های هوشمند شامل، داده های ورودی و خروجی متناظر با آن می باشد. انتخاب یک مجموعه آموزشی مناسب، از اهمیت زیادی برخوردار است و باید دامنه مناسبی از داده ها را در برگیرد، چرا که پاسخ نهایی سیستم هوشمند مستقیماً تابع مثال های آموزشی است. مجموعه آموزشی بایستی از دامنه مقادیر متغیرهای پیوسته و ناپیوسته و یا همچنین از تک تک دسته های متغیرهای رسته ای انتخاب شود. هرچه تعداد متغیرهای ورودی شبکه بیشتر باشد به مجموعه آموزشی وسیعتری نیاز است تا سیستم بتواند الگوی بهتری را تشخیص دهد. زمان لازم برای آموزش سیستم تابعی از تعداد متغیرهای آموزشی می باشد و هر چه تعداد متغیرهای ورودی بیشتر باشد، زمان افزایش می یابد. زیاد بودن تعداد متغیرها علاوه بر افزایش زمان مشکل دیگری نیز ایجاد می کند و احتمال ایجاد مدل نامناسب می باشد. در چنین مواردی حذف متغیرهایی که اثر مثبت و معنی داری در پیش بینی سیستم ندارند، نقش بسزایی در افزایش دقت دارد. در بسیاری از مثال های آموزشی پوشش دادن مناسب ورودی ها موجب پوشش مناسب برای خروجی نیز میشود. در این مطالعه برای پیش بینی تخلخل و تراوایی تعداد دوازده ویژگی پتروگرافی از تصاویر گرفته شده از مقاطع نازک استخراج شد. در مرحله اول روند تغییرات هریک از این پارامترها را به صورت یک به یک با تخلخل و تراوایی مورد بررسی قرار داده شد و مقدار ضریب همبستگی برای آن مشخص و بر اساس مقدار ضریب همبستگی رده بنده شده اند. واضح است که ویژگی های با ضریب همبستگی بیشتر تاثیر بیشتری در تخلخل و تراوایی خواهند داشت. در شکل های ۲-۴ و ۳-۴ ضریب همبستگی تخلخل و تراوایی با هریک از این پارامترها آمده است.

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی



شکل ۴-۲: نمودار رابطه بین تخلخل مغزه و تخلخل بین دانه‌ای (الف)، تخلخل درون دانه‌ای (ب)، تخلخل قالبی (ج)، ریز تخلخل (د)، تخلخل نوری (ه)، مقدار سیمان (و)، مقدار آهک (ی)، مقدار دولومیت (ز)

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

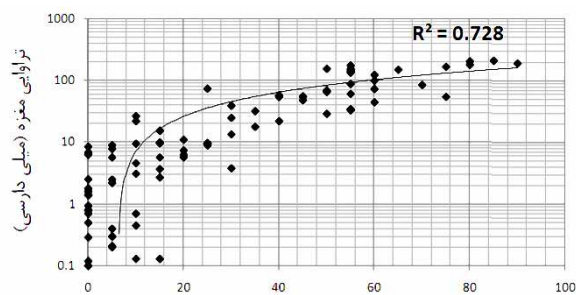


ادامه شکل ۴-۲: نمودار رابطه تخلخل مغزه و نوع سنگ (ص)، انیدریت (ژ)، میانگین ضریب شکل هندسی (غ) و نوع بافت (ط).

نگاهی به نمودارهای بالا نشان می‌دهد که به ترتیب نوع سنگ، تخلخل نوری، نوع بافت، تخلخل میکرو، میانگین ضریب شکل هندسی و تخلخل بین دانه‌ای با ضریب همبستگی ۰.۴، ۰.۲۳، ۰.۱۸، ۰.۱۴، ۰.۱۴ و ۰.۱۲ بیشترین رابطه را با تخلخل مغزه دارند.

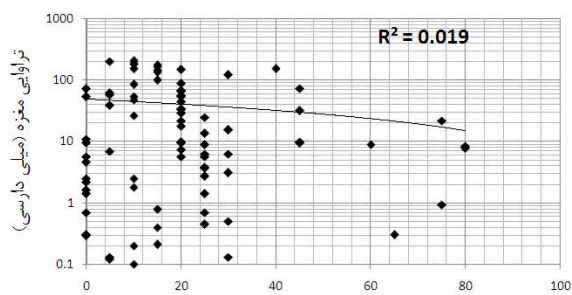
در شکل ۴-۳ رابطه بین پارامترهای پتروگرافی و تراوایی حاصل از آنالیز مغزه بررسی شده است.

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی



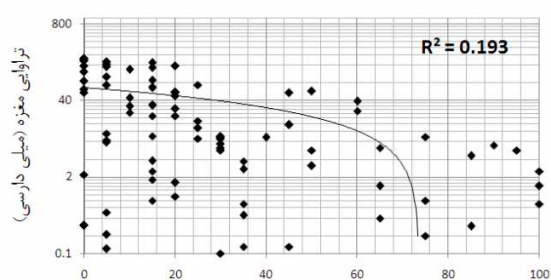
(الف)

تخلخل بین دانه ای (٪)



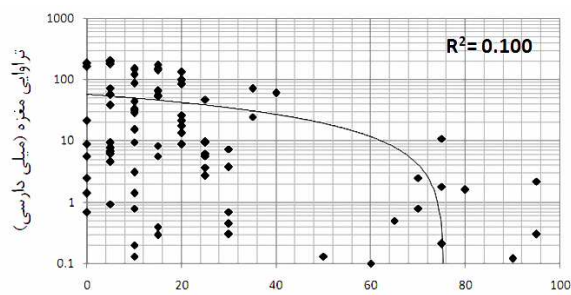
(ب)

تخلخل درون دانه ای (٪)



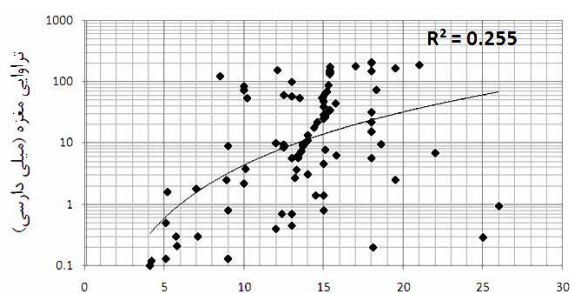
(ج)

تخلخل قالبی (٪)



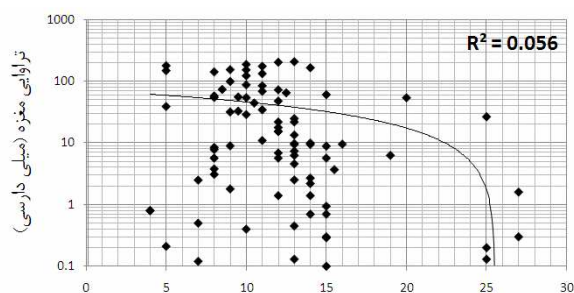
(د)

ریز تخلخل (٪)



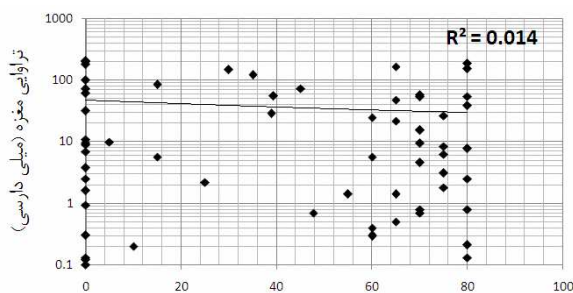
(ه)

تخلخل نوری (٪)



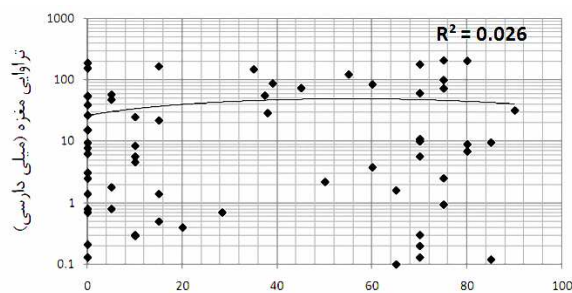
(و)

سیمان (٪)



(ی)

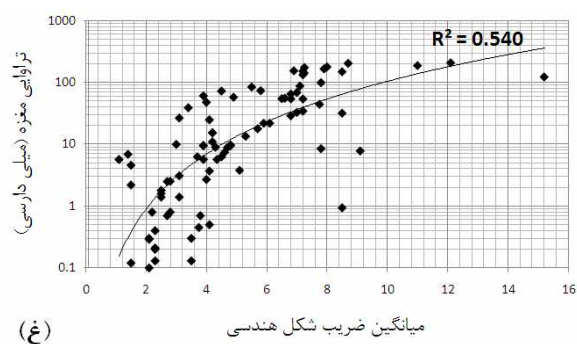
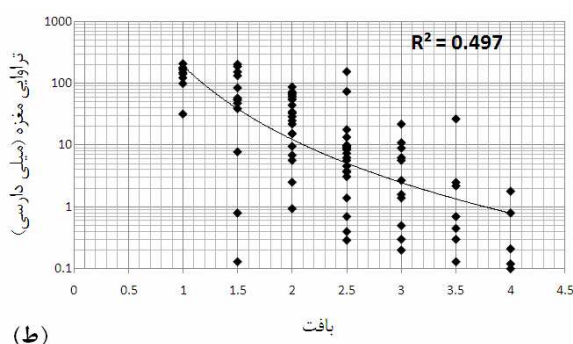
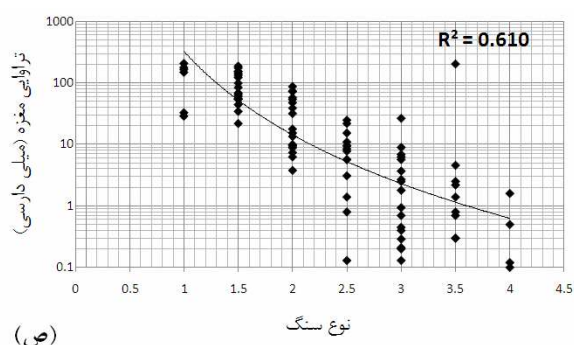
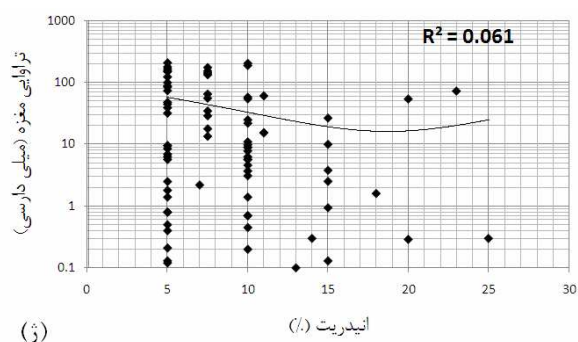
آهک (٪)



(ر)

دولومیت (٪)

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی



شکل ۳-۴: نمودار رابطه بین تراوایی مغزه و تخلخل بین دانه‌ای (الف)، تخلخل درون دانه‌ای (ب)، تخلخل قالبی (ج)، ریز تخلخل (د)، تخلخل نوری (ه)، مقدار سیمان (و)، مقدار آهک (ی)، مقدار دولومیت (ر)، مقدار انیدریت (ژ)، نوع سنگ (ص)، میانگین ضریب شکل هندسی (ط) و نوع بافت (غ).

شکل ۳-۴ نشان می‌دهد که تخلخل بین دانه‌ای، نوع سنگ، میانگین ضریب شکل هندسی، نوع بافت، تخلخل نوری، تخلخل قالبی و ریز تخلخل به ترتیب با ضریب همبستگی ۰.۷۲، ۰.۶۱، ۰.۵۴، ۰.۴۹، ۰.۲۵، ۰.۲۲، ۰.۱۹ و ۰.۱۰ بیشترین رابطه را با تراوایی مغزه دارند.

در مرحله دوم بررسی نموده‌ایم که چه تعداد از این پارامترها برای آموزش سیستم هوشمند بایستی استفاده شود. واضح است که استفاده از همه این دوازده پارامتر می‌تواند موجب ایجاد نویز در سیستم شده و دقت پیش-بینی را کاهش دهد. برای انتخاب تعداد ویژگی بهینه از شبکه عصبی استفاده شده است. برای این کار ابتدا هر ویژگی را به عنوان ورودی واحد برای شبکه عصبی بکار گرفتیم. در این مرحله دوازده شبکه عصبی ایجاد شد و

خطای هر شبکه اندازه‌گیری شد. سپس پارامتر با کمترین خطا را انتخاب و یازده شبکه عصبی با دو ورودی ایجاد شد. ورودی اول این یازده شبکه، پارامتر انتخاب شده در مرحله اول و ورودی دوم از میان سایر مشخصه‌ها به صورت جایگزینی تغییر می‌کند. در پایان این مرحله شبکه با کمترین خطا را انتخاب و مراحل بالا را این بار برای یک شبکه با سه ورودی تکرار می‌کنیم. این کار را آن قدر ادامه می‌دهیم تا تمام مشخصه‌ها استفاده شوند. در پایان شبکه‌ای که کمترین خطا را داشته باشد، مشخص کننده تعداد و نوع ویژگی‌های انتخابی می‌باشد. جدول های ۲-۴ و ۳-۴ خطای بدست آمده برای پیش بینی تخلخل و تراوایی با استفاده از ورودی‌های مختلف را نشان می‌دهند. با توجه به زیاد بودن تعداد جایگشت ورودی‌های شبکه عصبی، جایگشت‌های با کمترین خطا در جداول زیر آمده است، به عنوان مثال در مرحله اول دوازده شبکه عصبی آموزش داده‌ایم ولی در جداول ۲-۴ و ۳-۴ تنها ورودی با کمترین خطا آمده است. در مجموع تعداد ۷۸ شبکه عصبی برای انتخاب ورودی‌های مناسب در پیش‌بینی تخلخل و ۷۸ شبکه برای انتخاب ورودی‌های مناسب در پیش‌بینی تراوایی آموزش داده شد. (علائم اختصار بکار رفته در جداول، به شرح زیر می‌باشد: نوع سنگ (R.T.)، تخلخل میکرو (Micro)، نوع بافت (Tex.)، تخلخل نوری (O.P.)، میانگین ضریب شکل هندسی خلل و فرجها (γ_{mean})، مقدار دولومیت (Dol.)، تخلخل بین دانه‌ای (I.P.)، مقدار سیمان (Cement))

جدول ۴-۲: دقت شبکه های عصبی برای پیش بینی تخلخل

Porosity	
Inputs	MSE($\times 10^{-2}$)
R.T.	2.63
R.T. + Micro	2.42
R.T. + Micro + Tex.	2.20
R.T.+ Micro + Tex. + O.P.	3.31
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean}	2.14
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + Dol.	2.44
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + I.P.	3.21
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + Dol. + Cement	2.47
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + I.P. + Cement	3.73
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + Dol. + cement + I.P.	5.68
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + O.P. + I.P. + Cement	5.14
R.T. + Micro + Tex. + γ_{mean} + O.P. + I.P. + Cement + Anhy.	5.03

جدول ۴-۳: دقت شبکه های عصبی برای پیش بینی تراوایی

Permeability	
Inputs	MSE($\times 10^{-2}$)
I.P.	1.09
I.P. + R.T.	1.01
I.P. + Tex.	1.05
I.P. + R.T. + Tex.	1.03
I.P. + R.T. + γ_{mean}	1.05
I.P. + R.T. + Tex. + γ_{mean}	0.98
I.P. + R.T. + Tex. + O.P.	1.33
I.P. + R.T. + Dol. + O.P.	2.47
I.P. + R.T. + γ_{mean} + O.P.	1.82
I.P. + R.T. + γ_{mean} + O.P. + Tex.	1.68
I.P. + R.T. + γ_{mean} + Dol. + Tex.	2.21
I.P. + R.T. + γ_{mean} + Dol. + Tex. + Cement	2.32
I.P. + R.T. + γ_{mean} + O.P. + Tex. + Dol	2.45

با توجه به جدول ۴-۲ ورودی‌های مناسب برای تخمین تخلخل عبارتند از: نوع سنگ، بافت، مقدار تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی. همچنین جدول ۴-۳ نشان می‌دهد که ورودی‌های مناسب برای تخمین تراوایی، مقدار تخلخل بین دانه‌ای، نوع سنگ، نوع بافت و میانگین ضریب شکل هندسی فضاهای خالی می‌باشد.

۴-۲-۳- آماده کردن داده ها

در سیستم‌های هوشمند بویژه شبکه های عصبی بهترین وضعیت برای تصمیم‌گیری هنگامی است، که داده‌ها نرمالیزه شده باشند (قرار گرفتن تمام مقادیر در بازه بین صفر تا یک یا بازه منفی یک تا مثبت یک). حتی اگر تمام مقادیر برای یک ورودی یا خروجی در دامنه بین صفر و یک باشد، بهتر است که باز هم نرمالیزه شوند تا بتواند تمام مقادیر بین صفر و یک را شامل شود. (Cooke and Schneider, 1983) یکی از دلایل نرمالیزه کردن داده‌ها برای شبکه‌های عصبی این است که توابع انتقال (مانند توابع سیگموئید) نمی‌توانند بین مقادیر خیلی بزرگ فرق بگذارند. در واقع مهمترین دلیل نرمالیزه کردن، کمک به عملیات آموزش است. در مطالعه حاضر ورودی‌های سیستم‌های هوشمند بین منفی یک تا مثبت یک و خروجی‌ها نیز بین صفر تا یک نرمالیزه شده‌اند. پس از ساخت مدل و انجام پیش بینی، باید خروجی بدست آمده از سیستم به مقیاس اصلی برده شود. برای نرمالیزه کردن ورودیها از فرمول زیر استفاده شده است.

$$X_{nor} = 2 \times \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) - 1 \quad (4.3)$$

که در آن X_{min} حداقل مقدار در مجموعه ورودی و X_{max} حداکثر مقدار در مجموعه ورودی می‌باشد. برای نرمالیزه کردن خروجی‌ها نیز از فرمول زیر استفاده شده است.

$$Y_{nor} = \left(\frac{Y - Y_{min}}{Y_{max} - Y_{min}} \right) \quad (4.4)$$

که در آن Y_{min} حداقل مقدار در مجموعه خروجی و Y_{max} حداکثر مقدار در مجموعه خروجی می‌باشد. در مجموعه داده‌های مورد مطالعه بیشترین و کمترین مقدار تخلخل به ترتیب ۳۳.۶۷۵ درصد و ۵.۳ درصد و بیشترین و کمترین مقدار تراوایی به ترتیب ۲۰۹.۱ میلی داری و ۰.۱ میلی داری بوده است.

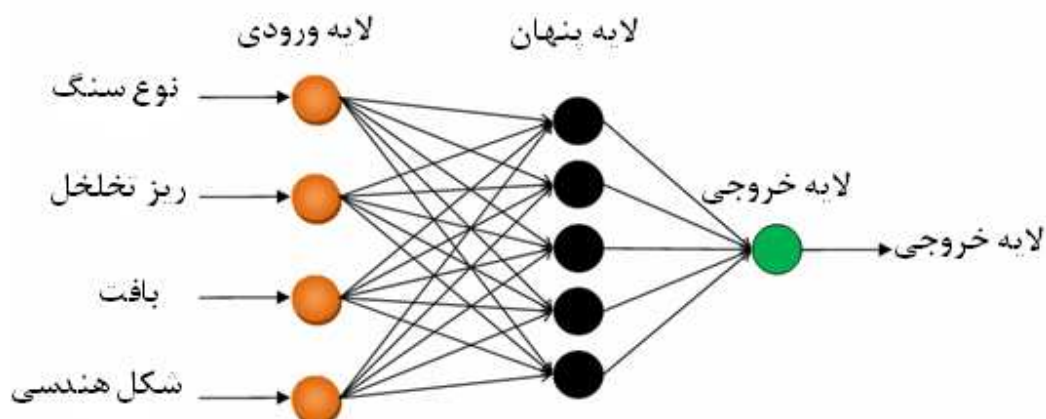
۴-۳- تخمین تخلخل با استفاده از سیستم های هوشمند

تخلخل از مهمترین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن محسوب می شوند که با استفاده از آنالیز مغزه و در آزمایشگاه اندازه گیری می‌شوند. از آنجایی که آنالیز مغزه جزء روشهای پرهزینه و زمانبر تلقی میشود، همواره تلاش شده تا با استفاده از تکنیکهای ارزانتر و سریعتر و در عین حال دقیق این دو مشخصه را محاسبه کنند. در این مطالعه از اطلاعات پتروگرافی استخراج شده از مقاطع نازک برای تخمین تخلخل استفاده شده است. به منظور رسیدن به این هدف ابتدا از سه تکنیک هوشمند (شبکه عصبی، منطق فازی و نروفازی) استفاده شده و سپس با استفاده از ماشین کمیته نتایج بدست آمده را با هم ترکیب کرده و دقت محاسبات را افزایش داده ایم.

۴-۳-۱- تخمین تخلخل با استفاده از شبکه عصبی

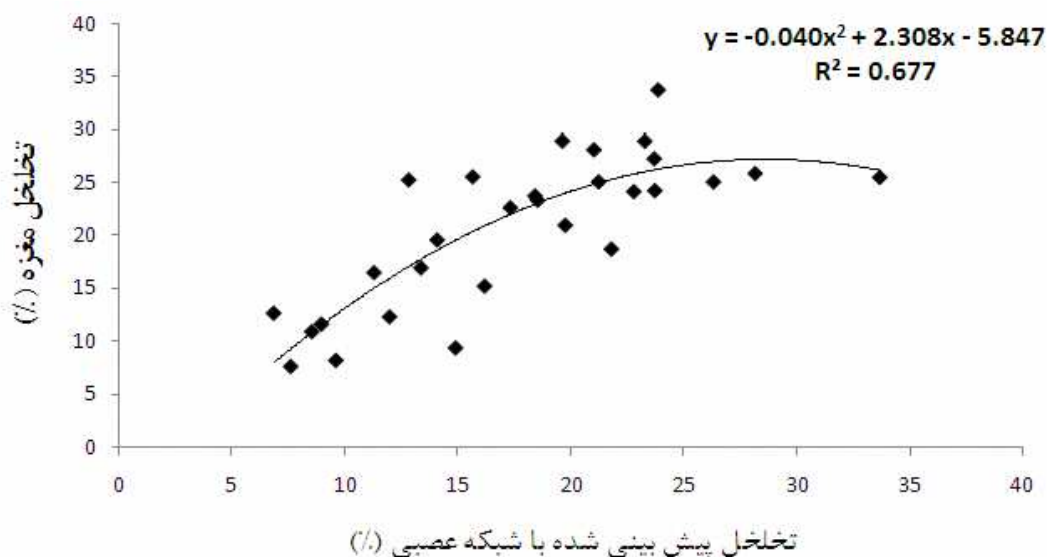
از یک شبکه عصبی پس انتشار خطا با یک لایه پنهان برای پیش بینی تخلخل استفاده شده است. ورودی‌های شبکه عبارتند از: نوع سنگ، نوع بافت، مقدار تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی. تعداد ۵ نرون در لایه پنهان در نظر گرفته شده است. تابع تصمیم‌گیری بین لایه اول و لایه دوم از نوع Tansig و بین لایه دوم و لایه سوم از نوع Purelin می‌باشد. تعداد تکرار^{۵۷} صد و خطای هدف صفر فرض شده است. فرآیند آموزش شبکه در صورت رسیدن به خطای مورد نظر و در غیر این صورت در تکرار صدم متوقف میشود. شکل شماتیکی از شبکه استفاده شده در صفحه بعد آمده است.

⁵⁷ Epoch



شکل ۴-۴: شکل شماتیکی از شبکه عصبی بکار رفته برای تخمین تخلخل

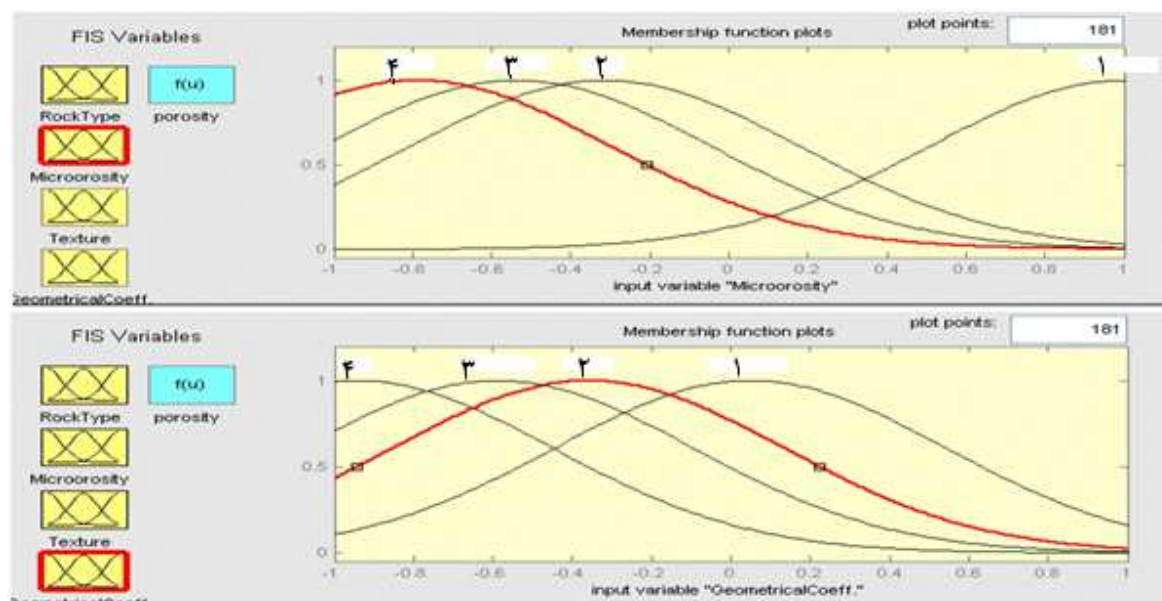
بعد از آموزش شبکه داده‌های تست که شامل ۲۹ نقطه از چاه ۱۲ پارس جنوبی می‌باشد، به شبکه معرفی شدند. خطای شبکه برای داده‌های تست ۰.۰۲۵۶ محاسبه شد (مقدار خطا بر حسب داده‌های نرمالیز شده محاسبه شده است). شکل ۴-۵ میزان همبستگی تخلخل پیش بینی شده با شبکه عصبی و تخلخل بدست آمده از آنالیز مغزه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: همبستگی تخلخل پیش بینی شده با شبکه عصبی و تخلخل بدست آمده از آنالیز مغزه

۴-۳-۲ تخمین تخلخل با استفاده از منطق فازی

در این مطالعه از یک سیستم فازی تاکاگی-سوگنو استفاده شده است. برای تعیین نوع و مقدار پارامترهای توابع عضویت ورودی و خروجی از روش خوشه سازی تفریقی استفاده شد. هریک از توابع عضویت نشان دهنده یک مجموعه فازی در داده‌ها می‌باشد. به عنوان نمونه توابع عضویت برای تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی در شکل ۴-۶ نشان داده شده است. مهمترین مسئله در این مرحله تعیین نوع توابع عضویت و پارامترهای مربوط به آنها می‌باشد که خطا در آن موجب ایجاد خطا در پیش‌بینی تخلخل میشود. سپس لازم است، مجموعه ای از قوانین اگر- آنگاه بین توابع عضویت ورودی‌ها و توابع عضویت خروجی ایجاد شود. در روش خوشه سازی تفریقی، تعیین شعاع خوشه سازی مهمترین فاکتور می‌باشد، چراکه تاثیر مستقیم بر نوع و مقدار پارامترهای عضویت دارد. شعاع خوشه سازی کوچک باعث افزایش تعداد خوشه ها و افزایش قوانین و شعاع خوشه بندی بزرگ باعث کم شدن تعداد خوشه ها و کاهش تعداد قوانین میشود. به توجه به نکات گفته شده مشخص است که تعیین شعاع بهینه از اهمیت بالایی برخوردار است. برای این منظور مقادیر بین صفر تا یک را به فواصل ۰.۱ به شعاع سیستم فازی نسبت می‌دهیم. به این ترتیب ده مجموعه فازی ایجاد میشود که سیستم فازی با کمترین خطا مشخص کننده شعاع بهینه می‌باشد. مقدار شعاع بهینه برای پیش بینی تخلخل ۰.۷ محاسبه شد. مقدار خطا برای هریک از سیستم های فازی ایجاد شده در جدول ۴-۴ آمده است. با ایجاد سیستم فازی تعداد چهار قانون اگر- آنگاه برای سیستم مشخص شد. توابع عضویت استخراج شده از سیستم استنتاج فازی از نوع گوسی و در چهار خوشه یک، دو، سه و چهار تعریف شده‌اند.



شکل ۴-۶: توابع عضویت برای تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی

جدول ۴-۴: مقدار خطا برای سیستم های فازی با شعاع خوشه بندی متناظر آن

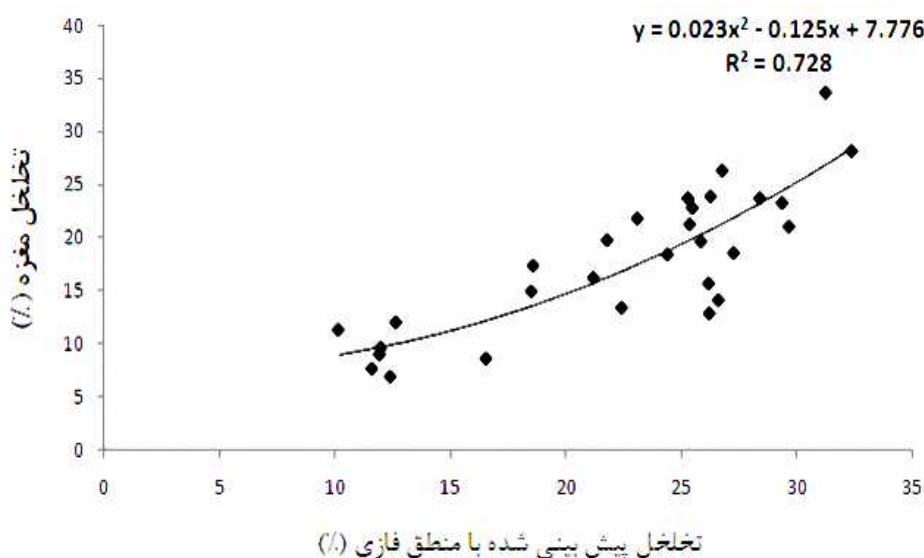
شماره سیستم فازی	شعاع خوشه سازی	مقدار میانگین مربعات خطا در مدل فازی
۱	۱.۰	۰.۰۱۹۹
۲	۰.۹	۰.۰۱۰۷
۳	۰.۸	۰.۰۱۱۸
۴	۰.۷	۰.۰۱۲۷
۵	۰.۶	۰.۰۱۴۹
۶	۰.۵	۰.۰۱۳۳
۷	۰.۴	۰.۰۲۰۹
۸	۰.۳	۰.۰۹۸۸
۹	۰.۲	۱۱۲۴.۱
۱۰	۰.۱	۰.۰۳۷۶

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

قوانین اگر- آنگاه بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- اگر (نوع سنگ چهار و میکرو تخلخل چهار و بافت از نوع چهار و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی یک باشد) آنگاه (مقدار تخلخل کم خواهد بود)
- اگر (نوع سنگ سه و میکرو تخلخل سه و بافت از نوع سه و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی دو باشد) آنگاه (مقدار تخلخل متوسط خواهد بود)
- اگر (نوع سنگ دو و میکرو تخلخل دو و بافت از نوع دو و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی سه باشد) آنگاه (مقدار تخلخل خوب خواهد بود)
- اگر (نوع سنگ یک و میکرو تخلخل یک و بافت از نوع یک و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی چهار باشد) آنگاه (مقدار تخلخل عالی خواهد بود)

بعد از ایجاد سیستم فازی مورد نظر، داده‌های تست به سیستم داده شد. مقدار خطا برای داده‌های تست ۰.۰۲۱۴ اندازه‌گیری شد. نمودار زیر ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با منطق فازی و تخلخل مغزه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷: ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با منطق فازی و تخلخل مغزه

۴-۳-۳ تخمین تخلخل با استفاده از مدل نروفازی

شبکه نروفازی آمیزه ای از سیستم های عصبی مصنوعی و منطق فازی است. بدین صورت که مدل های شبکه عصبی که به عنوان مدل های داخلی در سیستم فازی بکار می رود، می تواند توسط قواعد فازی تشخیص داده شود. سیستم نروفازی یک سیستم استنتاج فازی می سازد که پارامترهای توابع عضویت آن توسط الگوریتم پس انتشار تعدیل شده اند. برای ساخت یک مدل نروفازی از محیط گرافیکی ANFIS در نرم افزار متلب استفاده شد. مشابه با قسمت قبل، از یک روش خوشه سازی فازی برای ایجاد مدل بهره برده شده و برای تعیین شعاع بهینه برای خوشه سازی در سیستم نروفازی، دقیقا مشابه با مدل فازی عمل شده است. با توجه به جدول ۴-۵ شعاع ۰.۹ کمترین مقدار خطا برای پیش بینی را ارائه خواهد داد.

جدول ۴-۵: مقدار خطا برای سیستم های نروفازی با شعاع خوشه بندی متناظر آن

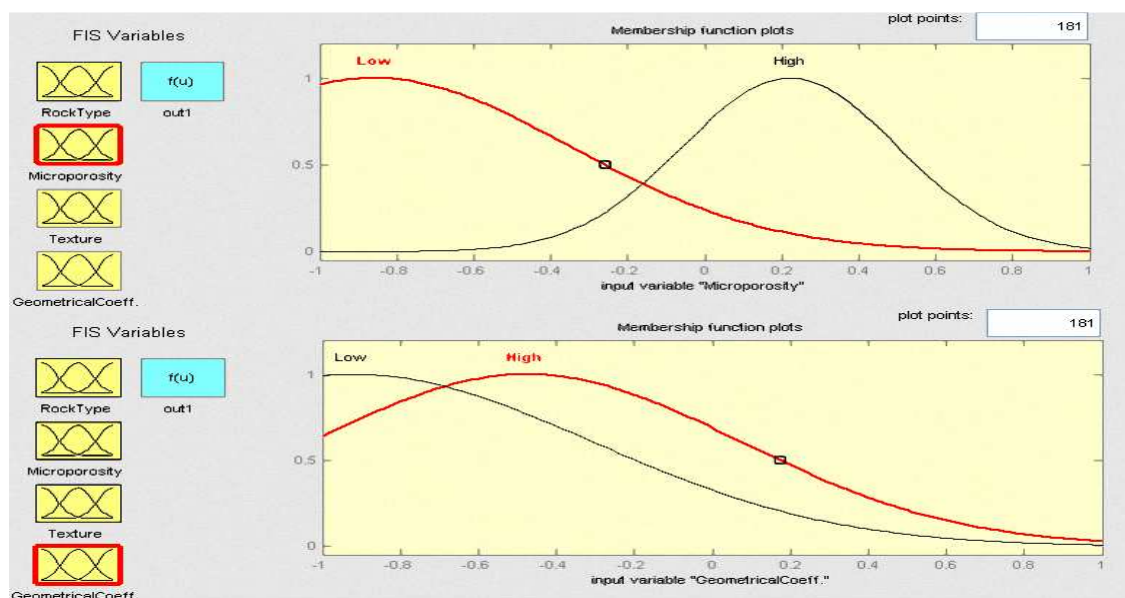
شماره سیستم فازی	شعاع خوشه سازی	مقدار میانگین مربعات خطا در مدل نروفازی
۱	۱.۰	۰.۰۲۵۱
۲	۰.۹	۰.۰۲۲۶
۳	۰.۸	۰.۰۳۳۲
۴	۰.۷	۰.۲۰۳۳
۵	۰.۶	۰.۰۳۷۱
۶	۰.۵	۰.۰۹۸۷
۷	۰.۴	۸۹.۹۷۹
۸	۰.۳	۷.۰۹۰۷
۹	۰.۲	۶.۰۶۷۱
۱۰	۰.۱	۱.۱۰۲۹

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

با ایجاد سیستم فازی تعداد دو قانون اگر- آنگاه برای آن مشخص شد. توابع عضویت استخراج شده از نوع گوسی و در دو خوشه تعریف شده‌اند. در شکل ۴-۸، توابع عضویت استخراج شده برای تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی نشان داده شده است.

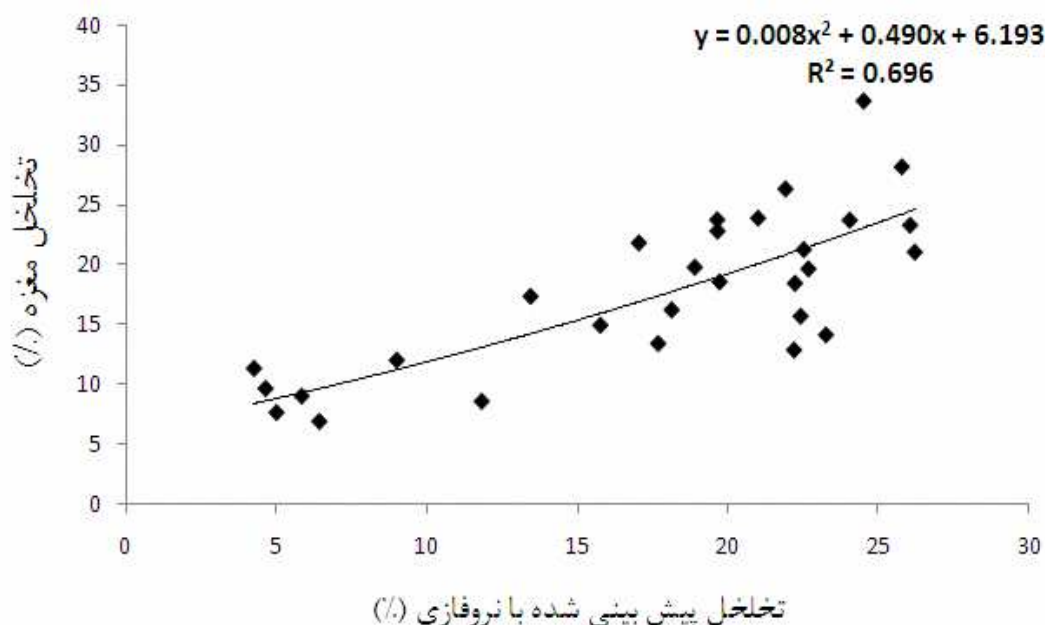
قوانین اگر- آنگاه بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- اگر (نوع سنگ زیاد و میکرو تخلخل زیاد و بافت از نوع زیاد و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی کم باشد) آنگاه (مقدار تخلخل کم خواهد بود)
- اگر (نوع سنگ کم و میکرو تخلخل کم و بافت از نوع کم و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی زیاد باشد) آنگاه (مقدار تخلخل زیاد خواهد بود)



شکل ۴-۸: توابع عضویت برای تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی

بعد از ایجاد سیستم نروفازی، داده های تست به سیستم داده شد. مقدار خطا برای داده های تست ۰.۰۲۲۶. اندازه گیری شد. نمودار ۴-۹ ضریب همبستگی تخلخل نروفازی و تخلخل مغزه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹: ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با نروفازی و تخلخل مغزه

۴-۳-۴ ماشین کمیته

با استفاده از مفهوم ماشین کمیته نتایج بدست آمده از مدل‌های شبکه عصبی، منطق فازی و سیستم نروفازی را می‌توان ترکیب کرد و دقت تخلخل پیش بینی شده را افزایش داد. برای تشکیل ماشین کمیته از دو روش استفاده شده است.

۴-۳-۴-۱ ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری

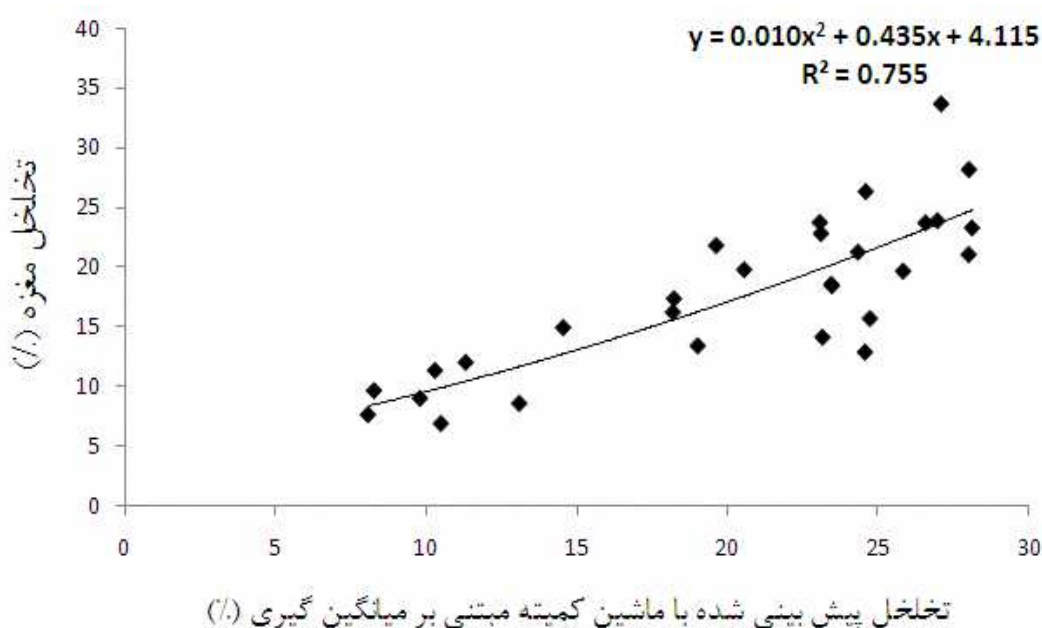
روش اول میانگین گیری از نتایج حاصل می‌باشد. با توجه به فرمول زیر سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی ماشین کمیته با هم مساوی و برابر ۰.۳۳ خواهد بود.

$$\Phi_{\text{average}} = \frac{1}{3}(\Phi_{\text{NN}} + \Phi_{\text{FL}} + \Phi_{\text{NF}}) \quad (4.5)$$

مقدار خطا برای داده های تست ۰.۰۱۹۸ اندازه گیری شد. خطا بدست آمده نشان می‌دهد، که با اعمال یک محاسبه ساده بر نتایج بدست آمده می‌توان دقت پیش بینی را افزایش داد. نمودار ۴-۱۰ ضریب همبستگی

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

تخلخل پیش بینی شده با میانگین گیری و تخلخل مغزه را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مقدار ضریب همبستگی به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. لازم به یادآوری است که ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری همیشه دقت پیش‌بینی را افزایش نمی‌دهد و لذا ابزاری دقیق و قابل اعتماد برای کاهش خطا در محاسبات نمی‌باشد. با توجه به این محدودیت بر آن شدیم تا ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک را بنا کنیم.



شکل ۴-۱۰: ضریب همبستگی تخلخل پیش بینی شده با میانگین گیری و تخلخل مغزه

۴-۳-۴-۲ ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

در روش دوم از الگوریتم ژنتیک برای ایجاد ترکیب بهینه‌ای از نتایج تکنیکهای شبکه عصبی، منطق فازی و سیستم نروفازی استفاده شده است. ماشین کمیته مورد نظر با تکیه بر الگوریتم ژنتیک مقدار سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی نهایی را محاسبه می‌کند.

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

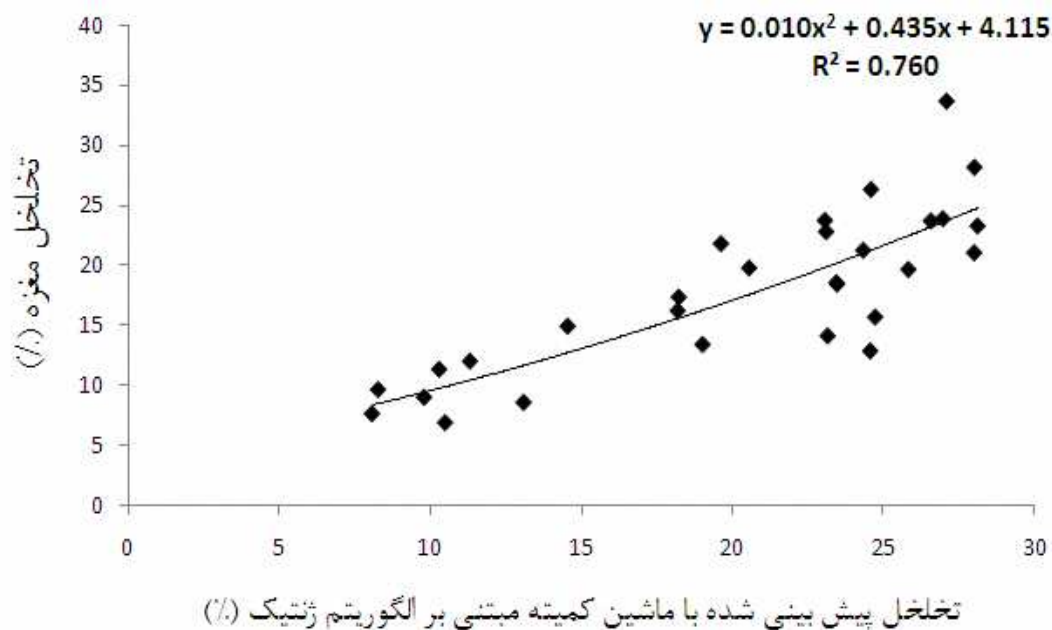
بر خلاف روش اول، لزومی بر برابری سهم هریک از سیستم ها در خروجی نهایی وجود ندارد. برای ایجاد ترکیب بهینه، تابع هدف به صورت زیر تعریف میشود. در مرحله نخست، مقدار بهینه این تابع به وسیله الگوریتم ژنتیک محاسبه میشود.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_1 \times NN_i + W_2 \times FL_i + W_3 \times NF_i - \Phi_i)^2 \quad (4.6)$$

در این تابع W_1, W_2 و W_3 مشخص کننده سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی نهایی و Φ_i مقدار تخلخل آنالیز مغزه می باشد. در واقع این تابع مقدار خطای تخلخل پیش بینی شده را نشان می دهد که الگوریتم ژنتیک مقدار حداقل آن برای داده های آموزش محاسبه می کند. ضرایب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک به داده های تست تعمیم داده میشود و مقدار خروجی نهایی برای داده های تست از فرمول زیر محاسبه میشود.

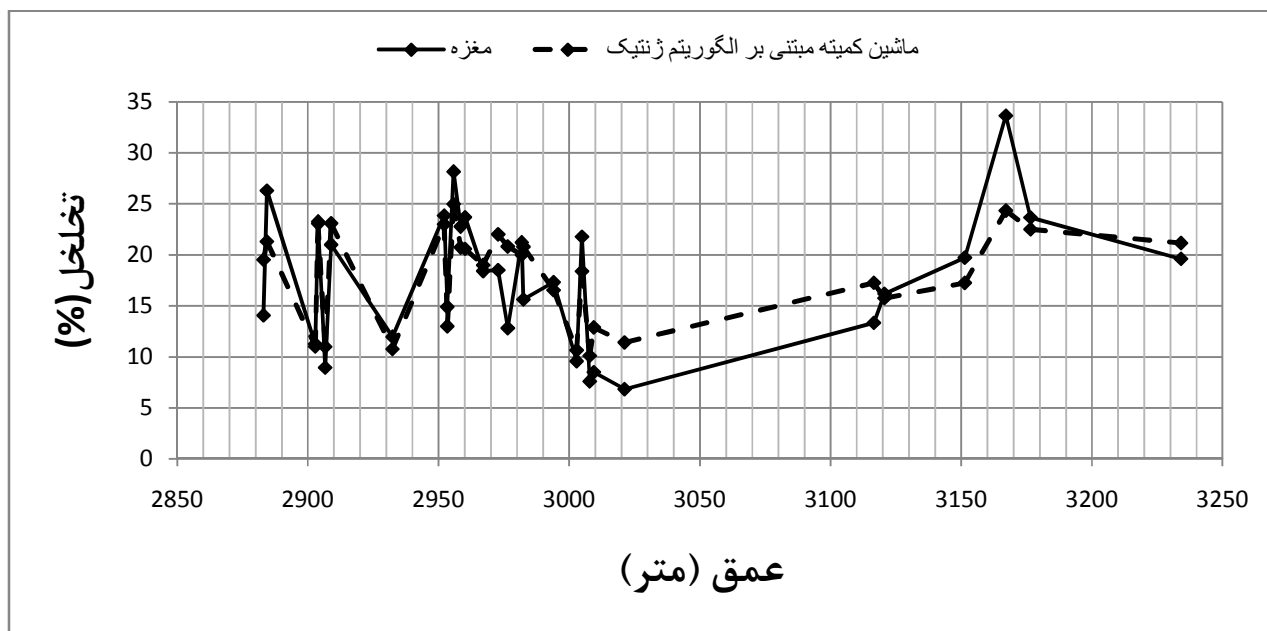
$$\Phi_{CMIS} = 0.275 \times \Phi_{NN} + 0.561 \times \Phi_{FL} + 0.0792 \times \Phi_{NF} \quad (4.7)$$

مقدار خطا برای داده های تست ۰.۰۱۶۵ اندازه گیری شده است، بنابراین ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک دقیق ترین مدل را برای پیش بینی تخلخل از داده های پتروگرافی فراهم آورده است. دقت مدل پیش بینی شده از میانگین گیری نیز بالاتر خواهد بود. در نمودار زیر ضریب همبستگی بین تخلخل پیش بینی شده از ماشین کمیته با تخلخل مغزه مقایسه شده است.



شکل ۴-۱۱: همبستگی تخلخل حاصل از ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و تخلخل مغزه

در شکل ۴-۱۲ تخلخل پیش‌بینی شده با ماشین کمیته و تخلخل واقعی برای چاه ۱۲ بر حسب عمق نشان داده شده است.



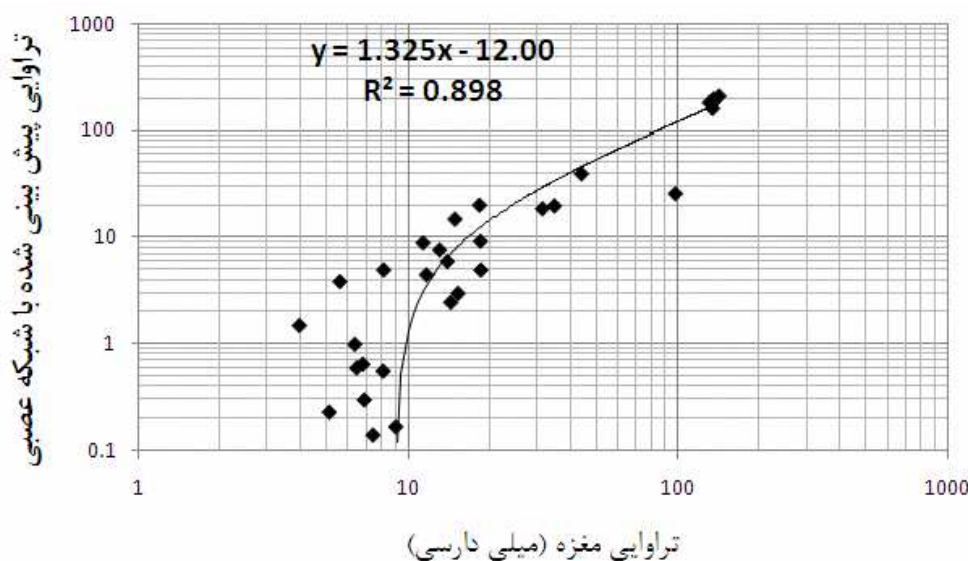
شکل ۴-۱۲: تخلخل پیش‌بینی شده با ماشین کمیته و تخلخل واقعی بر حسب عمق در چاه مورد مطالعه

۴-۴- پیش بینی تراوایی

تراوایی یکی از مهمترین پارامترهای پتروفیزیکی می باشد که نقش اساسی در حرکت سیال درون مخزن ایفا میکند و از آن در مدلسازی مخازن استفاده میشود. نتایج بدست آمده برای پیش بینی تخلخل نشان می دهد که سیستم های هوشمند با تکیه بر داده های پتروگرافی مدل قابل قبولی برای پیش بینی تخلخل ارائه می نمایند. لذا در ادامه تلاش شده است تا مدلی بر پایه داده های پترگرافی برای پیش بینی تراوایی نیز ارائه شود. نمودارهای پارامترهای پتروگرافی در مقابل تراوایی و شبکه عصبی طراحی شده مشخص می کند که ورودی های مناسب برای پیش بینی تراوایی به جز در یک مورد، مشابه ورودی های استفاده شده برای پیش بینی تخلخل هستند. ورودی های مناسب برای تخمین تراوایی عبارتند از: مقدار تخلخل بین دانه ای، نوع سنگ، نوع بافت و میانگین ضریب شکل هندسی فضاهای خالی.

۴-۴-۱- پیش بینی تراوایی با استفاده از شبکه عصبی

بطور مشابه با قسمت قبل، از یک شبکه عصبی پس انتشار خطا با یک لایه پنهان برای پیش بینی تراوایی استفاده شده است. تعداد ۵ نرون در لایه پنهان در نظر گرفته شد. تابع تصمیم گیری بین لایه اول و لایه دوم از نوع Tansig و بین لایه دوم و لایه سوم از نوع Purelin می باشد. تعداد تکرار صد و خطای هدف صفر فرض شده است. بعد از آموزش شبکه داده های تست به شبکه معرفی شدند. خطای شبکه برای داده های تست ۰.۰۱۳۹ محاسبه شد. نمودار ۴-۱۳ میزان همبستگی تراوایی پیش بینی شده و تراوایی بدست آمده از آنالیز مغزه را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۳: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با شبکه عصبی و تراوایی بدست آمده از آنالیز مغزه

۴-۴-۲ تخمین تراوایی با استفاده از منطق فازی

برای تخمین تراوایی از یک سیستم فازی تاکاگی- سوگنو و روش خوشه سازی تفریقی استفاده شده است. برای تعیین شعاع خوشه سازی، مقادیر بین صفر تا یک را به فواصل ۰.۱ به شعاع سیستم فازی نسبت می‌دهیم که سیستم فازی با کمترین خطا مشخص کننده شعاع بهینه می‌باشد.

مقدار شعاع بهینه برای پیش بینی تراوایی ۱ محاسبه شد. با ایجاد سیستم فازی تعداد دو قانون اگر- آنگاه مشخص شد. توابع عضویت استخراج شده از سیستم استنتاج فازی از نوع گوسی و در دو خوشه کم و زیاد تعریف شده‌اند.

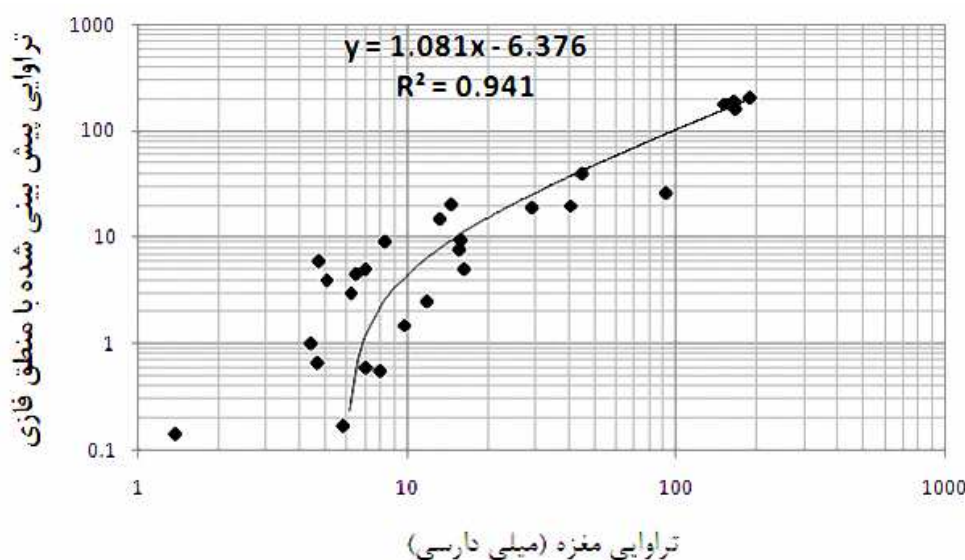
قوانین اگر- آنگاه بدست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- اگر (تخلخل بین دانه‌ای کم و نوع سنگ زیاد و بافت زیاد و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی کم باشد) آنگاه (مقدار تراوایی کم خواهد بود)

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

- اگر (تخلخل بین دانه‌ای زیاد و نوع سنگ کم و بافت کم و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی زیاد باشد) آنگاه (مقدار تراوایی زیاد خواهد بود)

بعد از ایجاد سیستم فازی مورد نظر، داده‌های تست به سیستم داده شد. مقدار خطا برای داده‌های تست ۰.۰۰۶۱ محاسبه شد. نمودار زیر ضریب همبستگی تراوایی پیش بینی شده با منطق فازی و تراوایی مغزه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با منطق فازی و تراوایی مغزه

۴-۴-۳ تخمین تراوایی با استفاده از سیستم نرو فازی

شعاع بهینه برای سیستم نرو- فازی ۰.۵ می‌باشد. تعداد چهار قانون برای پیش بینی تراوایی ایجاد میشود. توابع عضویت استخراج شده از سیستم استنتاج فازی از نوع گوسی و در چهار خوشه یک، دو، سه و چهار تعریف شده‌اند. این قوانین به شرح زیر می‌باشد:

- اگر (تخلخل بین دانه‌ای دو و نوع سنگ سه و بافت از نوع سه و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی دو باشد) آنگاه (مقدار تراوایی کم خواهد بود)

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

- اگر (تخلخل بین دانه‌ای سه و نوع سنگ دو و بافت از نوع یک و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی سه باشد) آنگاه (مقدار تراوایی متوسط خواهد بود)
- اگر (تخلخل بین دانه‌ای یک و نوع سنگ چهار و بافت از نوع چهار و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی یک باشد) آنگاه (مقدار تراوایی خوب خواهد بود)
- اگر (تخلخل بین دانه‌ای چهار و نوع سنگ یک و بافت از نوع دو و مقدار میانگین ضریب شکل هندسی چهار باشد) آنگاه (مقدار تراوایی عالی خواهد بود)

بعد از ایجاد سیستم نروفازی، داده های تست به سیستم داده شد که مقدار خطا برای این داده ۰.۰۰۸۵ اندازه گیری شد. شکل ۴-۱۵ ضریب همبستگی تراوایی پیش بینی شده با نروفازی و تراوایی مغزه را نشان می‌دهد.

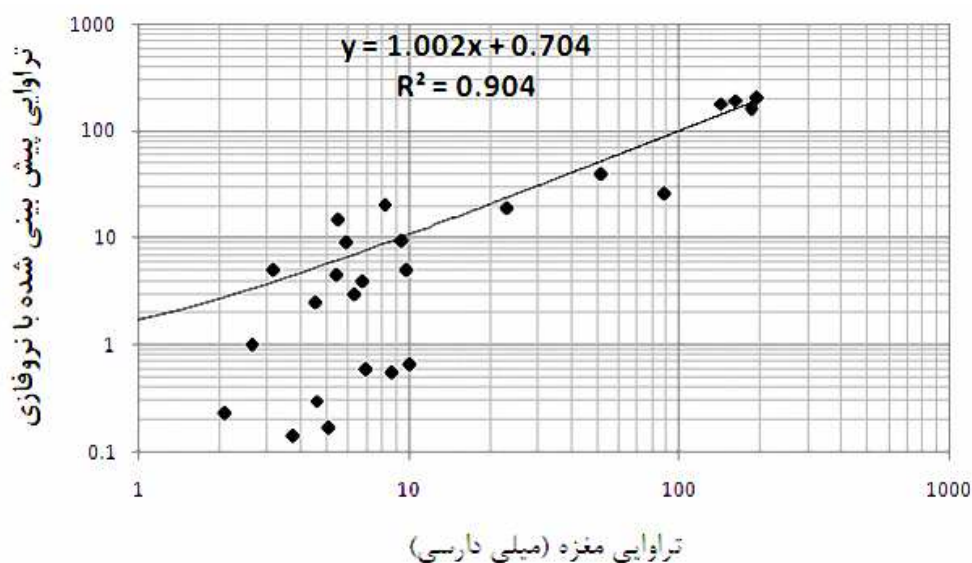
۴-۴-۴ ماشین کمیته

برای کاهش خطای پیش بینی و ترکیب نتایج بدست آمده از شبکه عصبی، منطق فازی و سیستم نروفازی، مشابه با پیش بینی تخلخل، دو نوع ماشین کمیته ایجاد شده است.

۴-۴-۴-۱ ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری

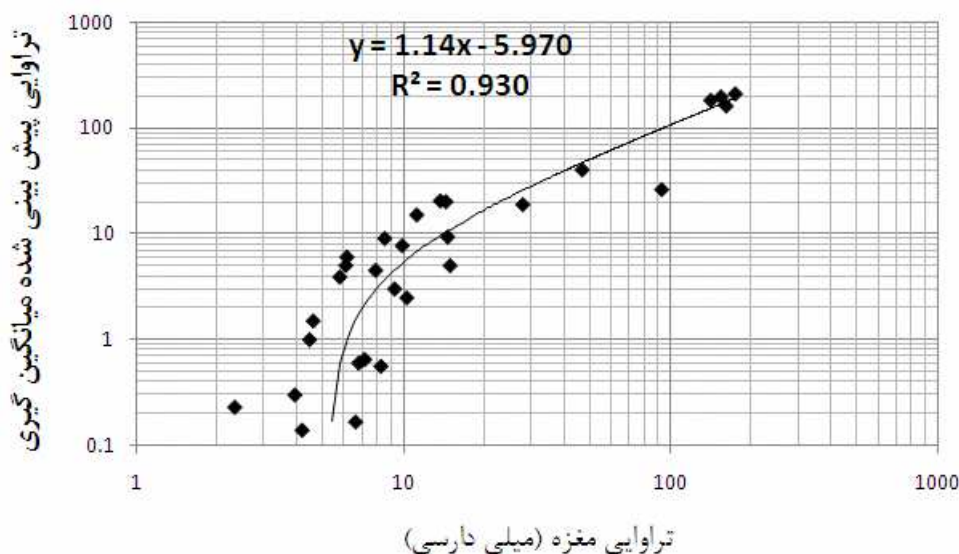
با توجه به فرمول زیر، سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی ماشین کمیته با هم برابر (۰.۳۳) خواهد بود.

$$K_{average} = \frac{1}{3}(K_{NN} + K_{FL} + K_{NF}) \quad (4.8)$$



شکل ۴-۱۵: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با نروفازی و تراوایی مغزه

مقدار خطا برای داده‌های تست ۰.۰۰۷۵ اندازه‌گیری شد. خطا بدست آمده نشان می‌دهد، دقت ماشین کمیته مبتنی بر میانگین‌گیری از شبکه عصبی و سیستم نروفازی بیشتر و کمتر از منطق فازی می‌باشد. این مهم بیانگر آن است که ماشین کمیته مبتنی بر میانگین‌گیری نمی‌تواند همیشه انتخاب مناسبی برای بهبود نتیجه باشد. شکل ۴-۱۶ ضریب همبستگی تراوایی پیش بینی شده با میانگین‌گیری و تراوایی مغزه را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است مقدار ضریب همبستگی بیشتر از شبکه عصبی و سیستم نروفازی و کمتر از منطق فازی می‌باشد.



شکل ۴-۱۶: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با میانگین گیری و تراوایی مغزه

۴-۴-۴-۲ ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

با توجه به ناتوانی ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری در افزایش دقت و کاهش خطا، از ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای ایجاد ترکیب بهینه ای از نتایج تکنیکهای شبکه عصبی، منطق فازی و سیستم نروفازی استفاده شده است. مشابه با تخلخل، برای ایجاد ترکیب بهینه تابع هدف به صورت زیر تعریف میشود. در وهله نخست، مقدار بهینه این تابع به وسیله الگوریتم ژنتیک محاسبه میشود.

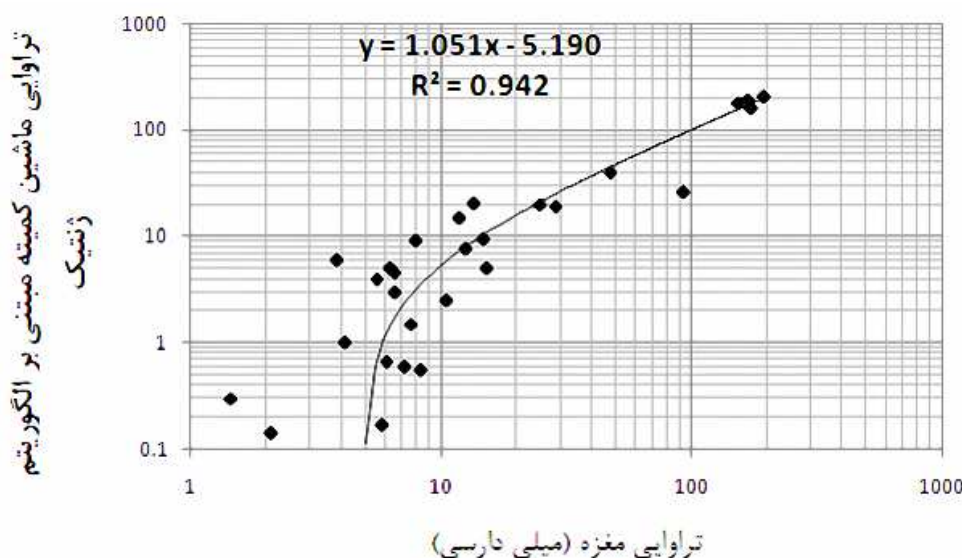
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_1 \times NN_i + W_2 \times FL_i + W_3 \times NF_i - K_i)^2 \quad (4.9)$$

در این تابع W_1, W_2 و W_3 مشخص کننده سهم هریک از تکنیکها در تولید خروجی نهایی و K_i مقدار تراوایی آنالیز مغزه می باشد. ضرایب بدست آمده از الگوریتم ژنتیک به داده های تست تعمیم داده شده است و مقدار خروجی نهایی برای داده های تست از فرمول زیر محاسبه میشود.

$$K_{CMIS} = 0.022 \times K_{NN} + 0.762 \times K_{FL} + 0.224 \times K_{NF} \quad (4.10)$$

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

مقدار خطا برای داده‌های تست ۰.۰۰۵۶ اندازه‌گیری شده است، که کمترین مقدار خطا در میان روش‌های بکار رفته برای پیش بینی تراوایی می‌باشد. در شکل ۴-۱۷ زیر ضریب همبستگی بین تراوایی پیش بینی شده از ماشین کمیته با تراوایی مغزه مقایسه شده است. در شکل ۴-۱۸ تراوایی پیش بینی شده با ماشین کمیته و تراوایی واقعی برای چاه ۱۲ بر حسب عمق نشان داده شده است.



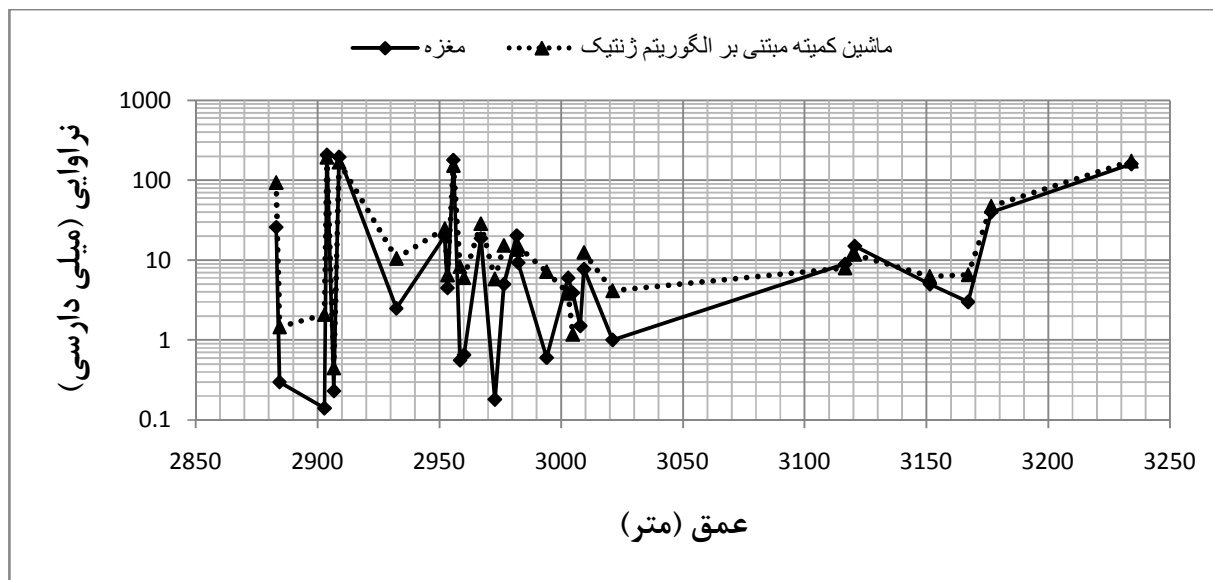
شکل ۴-۱۷: همبستگی تراوایی پیش بینی شده با ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و تراوایی مغزه

۴-۵ الگوریتم تفکیک کننده فضاهای خالی

در این مطالعه برای ارائه الگوریتمی خودکار با قابلیت شناخت و تفکیک نوع فضاهای خالی موجود در تصاویر مقاطع نازک از جعبه ابزار آنالیز تصویر در نرم افزار متلب استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از کراس پلاتها و شبکه عصبی، پارامترهای گردشگری، نسبت تصویر و فراخی به عنوان مشخصه‌های مناسب برای تفکیک فضاهای خالی انتخاب شده‌اند. هریک از این پارامترها به لحاظ هندسی مفهومی متفاوت را بیان می‌کنند و لذا می‌توانند ابزاری مناسب برای معرفی انواع فضاهای خالی به کامپیوتر باشند. گردشگری میزان دایره‌ای بودن

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

شکل، نسبت تصویر مقدار کشیدگی شکل و فراخی مقدار پیچیده بودن و بی‌نظمی را در شکل مشخص می‌کند. برای ایجاد الگوریتم فوق‌الذکر مراحل زیر طی شده‌اند.



شکل ۴-۱۸: تراوایی پیش‌بینی شده با ماشین کمیته و تراوایی حاصل از مغزه بر حسب عمق در چاه مورد مطالعه

۴-۵-۱- داده‌ها لازم برای الگوریتم تفکیک‌کننده فضاهای خالی

برای رسیدن به راه کار مناسبی برای تشخیص خودکار فضاهای خالی و کلاسه‌بندی آنها مجموعه‌ای از مشخصه‌های هندسی برای هر فضاهای خالی، آنالیز و بررسی شده است. این مرحله ضروری‌ترین و اساسی‌ترین بخش در یک فرآیند تشخیص الگو می‌باشد. مشخصه‌های موجود از تصاویر قطعه‌بندی شده و به کمک جعبه ابزار آنالیز تصویر در نرم افزار متلب استخراج شده‌اند. از آنجایی که جز اصلی تشکیل دهنده هر تصویر پیکسل می‌باشد تمام مشخصه‌ها برحسب تعداد پیکسل اندازه‌گیری شده‌اند. مشخصه‌های استخراج شده عبارتند از:

۱- مساحت^{۵۸}: تعداد پیکسل‌های تشکیل دهنده هر خلل و فرج

۲- محیط^{۵۹}: تعداد پیکسل‌های مرزی برای هر خلل و فرج

⁵⁸ Area

۳- گردشگری^{۶۰}: این مقدار نسبتی از مقدار محیط به مساحت در هر خلل و فرج است و مقدار آن با استفاده از فرمول زیر بدست می آید.

$$\text{گردشگری} = \frac{\text{محیط}^2}{4\pi \times \text{مساحت}} \quad (4.11)$$

برای رده بندی فضاهای خالی از اندازه مساحت و محیط به شکل مستقیم برای بررسی فضاهای خالی استفاده نشده است و از نسبت تعریف شده بهره برده ایم.

۴- قطر کوچک: کوچکترین قطر در هر خلل و فرج

۵- قطر بزرگ: بزرگترین قطر در هر خلل و فرج

۶- قطر معادل^{۶۱}: قطر دایره ای با مساحت برابر با مساحت هر خلل و فرج. مقدار این مشخصه از فرمول زیر نیز محاسبه میشود.

$$\text{قطر معادل} = \sqrt{\frac{4 \times \text{مساحت}}{\pi}} \quad (4.12)$$

در ادامه از اندازه قطرها به شکل مستقیم برای بررسی فضاهای خالی استفاده نشده است و بجای آنها دو پارامتر جدید که عبارتند از نسبت اندازه قطر کوچک به اندازه قطر بزرگ (نسبت تصویر^{۶۲}) و نسبت اندازه قطر معادل به اندازه قطر بزرگ، استفاده کرده ایم.

۷- مستطیل مرزی^{۶۳}: مساحت کوچکترین مستطیلی که تمام مساحت یک خلل و فرج را در خود جای می دهد.

⁵⁹ Perimeter

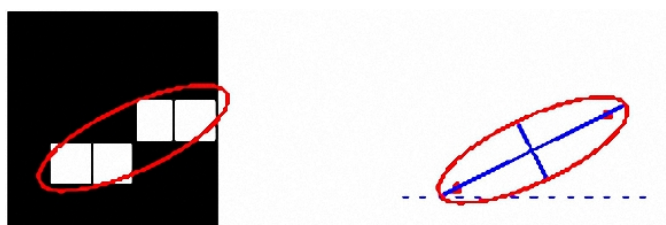
⁶⁰ Roundness

⁶¹ Equivalent diameter

⁶² Aspect ratio

⁶³ Bounding box

۸- انحراف از مرکز^{۶۴}: در حالت کلی عبارت است از نسبت فاصله بین دو کانون بیضی به قطر بزرگ آن. در مورد فضاهای خالی سنگ که اشکال پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهند، این مقدار برای بیضی که به بهترین حالت هر خلل و فرج را در بر می‌گیرد محاسبه شده است. شکل ۴-۱۹ مفهوم این بیضی را بهتر نشان می‌دهد. مقدار انحراف از مرکز عددی بین صفر تا یک است. بیضی که مقدار این پارامتر در آن صفر باشد دایره است و بیضی با مقدار یک، خط مستقیم می‌باشد.



شکل ۴-۱۹: مفهوم انحراف از مرکز برای پیکسل های متصل بهم

۹- میزان فراخی^{۶۵}: از تقسیم مساحت هر خلل و فرج به مقدار مساحت مستطیل مرزی آن بدست می‌آید.

$$\text{میزان فراخی} = \frac{\text{مساحت}}{\text{مستطیل مرزی}} \quad (۴.۱۳)$$

مقدار این مشخصه بین صفر تا یک تغییر می‌کند. با افزایش پیچیدگی و بی‌نظمی در یک شکل مقدار فراخی کم و هرچه شکل آن به دایره و مربع نزدیکتر باشد مقدار فراخی افزایش می‌یابد. فضاهای خالی از نوع قالبی که دایره‌ای شکل هستند دارای مقدار فراخی نزدیک به ۰.۷ هستند.

۱۰- استحکام^{۶۶}: پیش از آن که این مشخصه را تعریف کنیم لازم است به تعریف دو پارامتر دیگر توجه شود.

- پوسته محدب^{۶۷}: عبارت است از کوچکترین چند ضلعی محدب که یک خلل و فرج را در بر می‌گیرد.

- مساحت محدب^{۶۸}: عبارت است از تعداد پیکسل‌های موجود در پوسته محدب.

⁶⁴ Eccentricity

⁶⁵ Extent

⁶⁶ Solidity

⁶⁷ Convex hull

حال می‌توان مفهوم استحکام را بیان کرد. استحکام عبارت است از نسبت مساحت یک خلل و فرج به مساحت محدب آن.

$$\text{استحکام} = \frac{\text{مساحت}}{\text{مساحت محدب}} \quad (4.14)$$

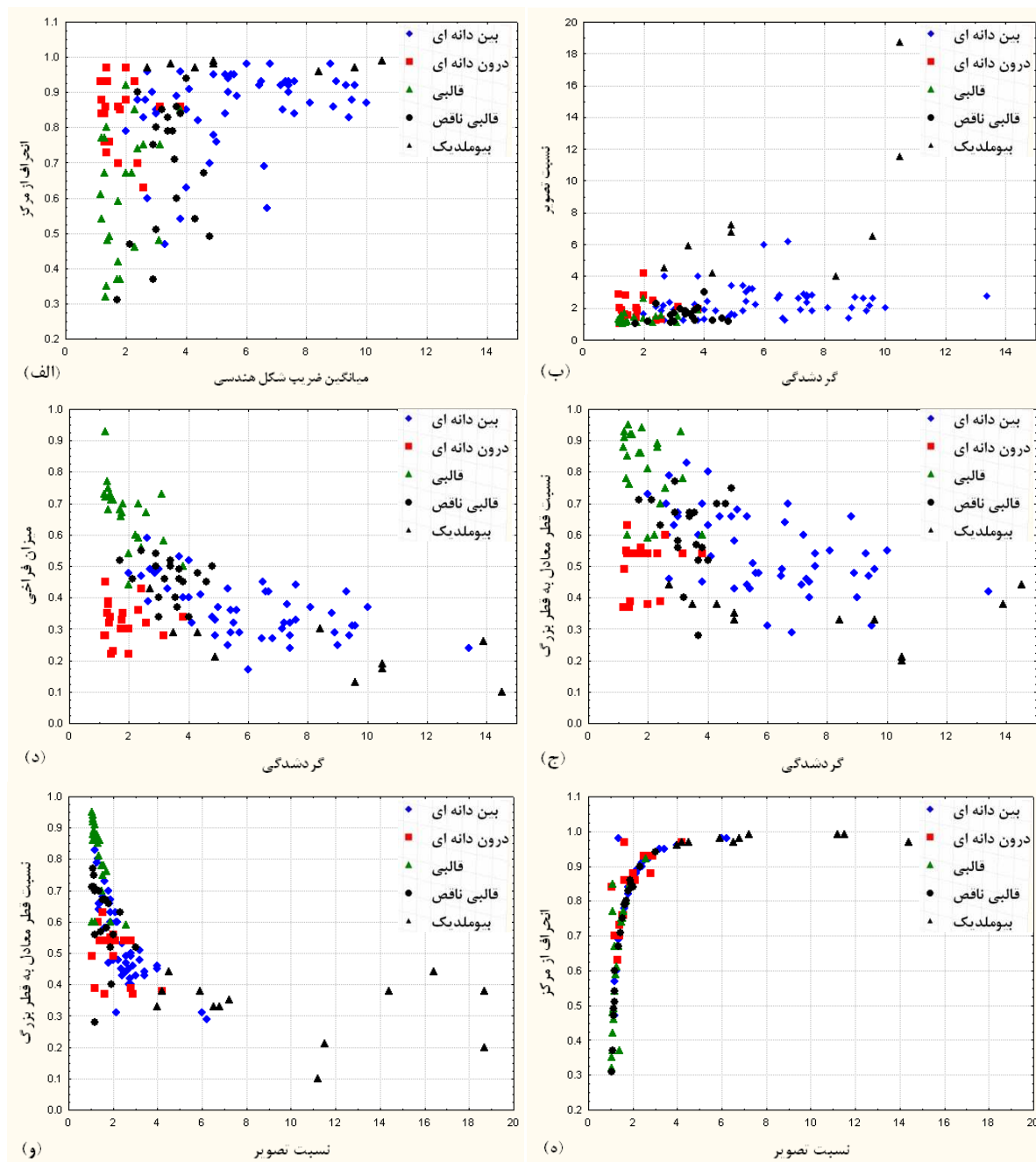
۴-۵-۲- انتخاب داده های آموزشی

از آنجایی که الگوریتم تفکیک کننده بایستی قابلیت شناخت فضاها را به لحاظ شکل هندسی داشته باشد، لذا پارامترهای انتخاب شده باید معرف خوبی از شکل هندسی فضاها باشند. مطالعه و بررسی آماری ده پارامتر استخراج شده از هر خلل و فرج نشان می‌دهد، که برای تفکیک فضاهای خالی، پارامترهای گردشگری (ضریب شکل هندسی)، نسبت تصویر، فراخی، انحراف از مرکز و نسبت قطر معادل به قطر بزرگ می‌توانند تغییرات در شکل هندسی را نشان دهند. میزان تغییرات و پراکندگی این پارامترها برای هر نوع از فضاهای خالی (شامل تخلخل بین دانه‌ای (نقاط آبی)، درون دانه‌ای (نقاط قرمز)، قالبی کامل (نقاط سبز)، قالبی ناقص (نقاط سیاه) و بیوملدیک (مثلث سیاه)) در نمودارهای زیر نشان داده شده است.

از شکل‌های ۴-۲۰ مشخص است که نمی‌توان با تکیه بر دو پارامتر مدلی دقیق برای تفکیک فضاهای خالی ارائه داد. لذا به طور مشابه با قسمت قبل، برای مشخص شدن تعداد ورودی‌های لازم برای تفکیک دقیق فضاها از یک شبکه عصبی استفاده شده است. ورودی‌های شبکه عصبی جایگشتهای مختلف حاصل از این پنج مولفه و خروجی، پنج نوع تخلخل مورد بررسی می‌باشد. مقایسه دقت شبکه های عصبی در جدول ۴-۶ نشان می‌دهد، سه پارامتر نسبت تصویر، میزان فراخی و گردشگری بهترین جایگشت برای تفکیک فضاهای خالی می‌باشد.

⁶⁸ Convex area

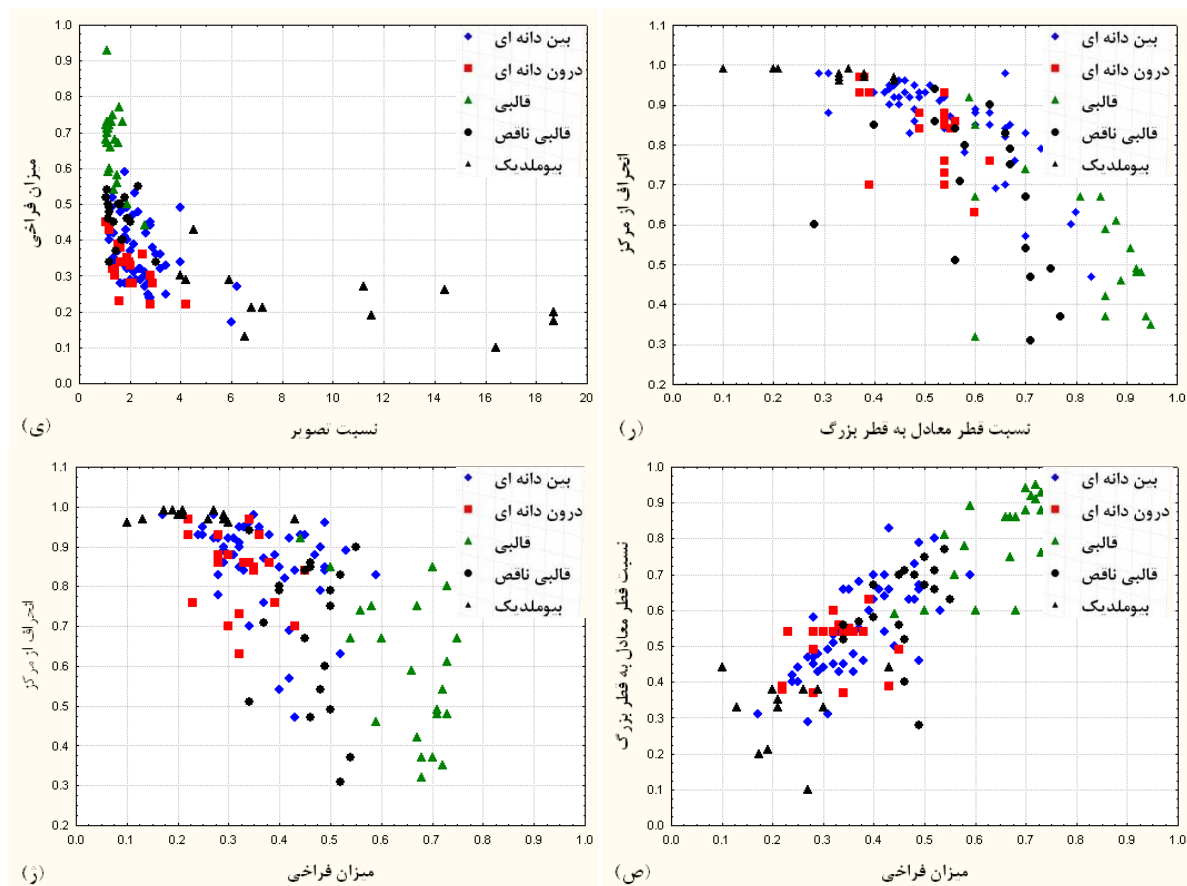
فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی



شکل ۴-۲۰: تغییرات پارامترهای هندسی در مقابل انواع فضاهای خالی، انحراف از مرکز - گردشگی (الف)، نسبت تصویر -

گردشگی (ب)، نسبت قطر معادل به قطر بزرگ - گردشگی (ج)، فراخی - گردشگی (د)، انحراف از مرکز - نسبت تصویر (ه)،

نسبت قطر معادل به قطر بزرگ - نسبت تصویر (و).

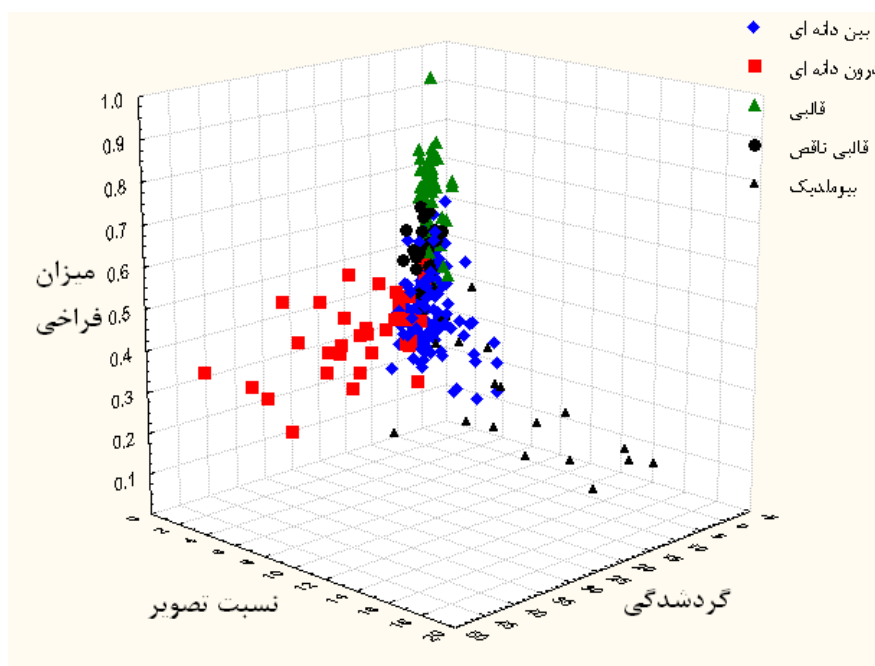


ادامه شکل ۴-۲۰: تغییرات پارامترهای هندسی در مقابل انواع فضاهای خالی فراخی - نسبت تصویر (ی)، انحراف از مرکز - نسبت قطر معادل به قطر بزرگ (ر)، انحراف از مرکز - فراخی (ز)، نسبت قطر معادل به قطر بزرگ - فراخی (ص)

جدول ۴-۶: دقت شبکه های عصبی برای پیش بینی انواع فضاهای خالی

Inputs	MSE($\times 10^{-2}$)
Aspect Ratio	8.81
Aspect Ratio, Extent	7.54
Aspect Ratio, Solidity	8.48
Aspect Ratio, Extent, Roundness	7.01
Aspect Ratio, Extent, Solidity	8.31
Aspect Ratio, Extent, Roundness, Solidity	8.65
Aspect Ratio, Extent, Roundness, E.D/ Major Diameter	8.54
Aspect Ratio, Extent, Roundness, Solidity, Eccentricity	8.71
Aspect Ratio, Extent, Roundness, Eccentricity, E.D/ Major Diameter	8.02
Aspect Ratio, Extent, Roundness, Eccentricity, Solidity, E.D/ Major Diameter	9.31

نمودار ۴-۲۱ پراکندگی سه پارامتر نسبت تصویر، فراخی و گردشگی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشخص است که مرز انواع مختلف فضاهای خالی مشخص بوده و میزان هم پوشانی کمی بین آنها وجود دارد.



شکل ۴-۲۱: پراکندگی سه پارامتر نسبت تصویر، فراخی و گردشگی برای پنج نوع فضای خالی

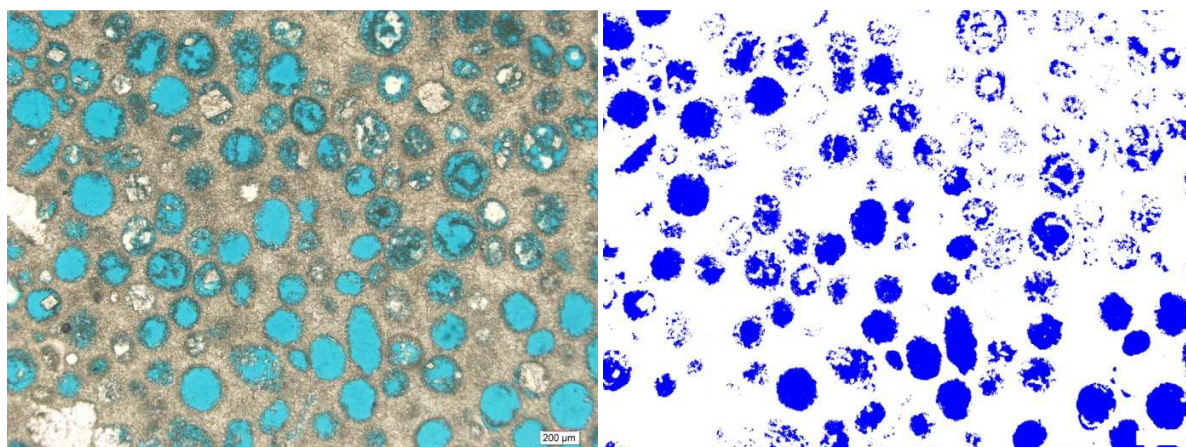
۴-۵-۳- جداکردن فضاهای خالی از سایر بخش های تصویر

اولین قدم در ایجاد الگوریتم تفکیک کننده، مجزا کردن فضاهای خالی از بقیه بخشهای تصویر است و برای این منظور لازم است، تصویر مورد مطالعه قطعه بندی شود. استفاده از رنگ در آنالیز تصویر نقش بسزایی را ایفا میکند، چرا که رنگ توصیفگر قدرتمندی است که غالباً شناسایی و تفکیک اشیاء را از تصویر آسان می‌سازد. برای تفکیک فضاهای آبی از مدل رنگی RGB^{69} استفاده شده است. یک تصویر RGB تصویری است، که مقدار هر پیکسل در آن با سه مولفه قرمز، سبز و آبی مشخص میشود. در تصاویر RGB سطح روشنایی هر مولفه (رنگ قرمز، سبز و آبی) می‌تواند مقداری بین ۰ تا ۲۵۵ داشته باشد و رنگ هر پیکسل با ترکیب مقادیر مختلف سه مولفه قرمز، سبز و آبی مشخص میشود. با توجه به تزریق اپوکسی آبی به نمونه ها، فضاهای خالی به رنگ

⁶⁹ Red, green and blue

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

آبی خواهد بود. پس از بررسی تصاویر تهیه شده به این نتیجه رسیدیم که در بیشتر تصاویر پیکسل‌هایی که میزان روشنایی مولفه قرمز و سبز در آنها کمتر از ۲۰۳ و میزان روشنایی مولفه آبی بیشتر از ۱۷۰ است، مشخص کننده پیکسل‌های مربوط به فضای خالی می باشند. البته در تعدادی از عکس ها به دلیل تفاوتی که در شدت رنگ پرکننده ی فضاهای خالی وجود داشت، این محدوده برای تفکیک فضاهای آبی رنگ به درستی عمل نمی‌کرد و دچار خطا می‌شد. بنابراین بازه میزان روشنایی می‌تواند بر حسب شدت رنگ اپوکسی آبی تزریق شده به نمونه و شدت نور در هنگام تهیه تصویر، متفاوت باشد. در صورتیکه شدت رنگ آبی در تمام مقاطع یکنواخت و شدت نور تصویربرداری نیز ثابت باشد، می‌توان از بازه مشخصی برای جداکردن فضاهای آبی رنگ استفاده کرد. در شکل ۴-۲۲ فضاهای خالی از سایر بخشهای سنگ مجزا شده‌اند.

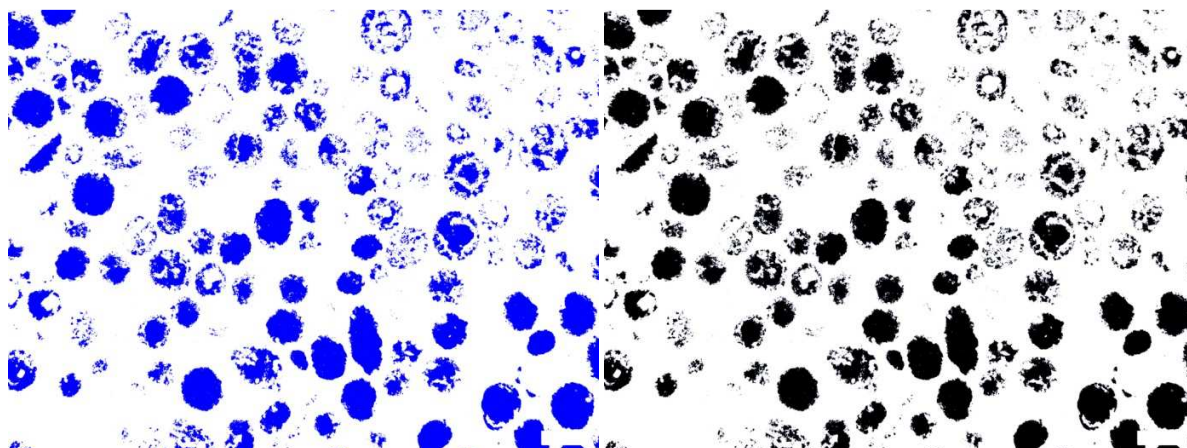


شکل ۴-۲۲- جدا کردن فضاهای خالی از سایر بخش های سنگ

تعیین بازه دقیقی از میزان روشنایی پیکسل‌های مربوط به فضاهای خالی از اهمیت بسزایی برخوردار است، چراکه تصویر حاصل از این مرحله به عنوان ورودی مراحل بعد استفاده می‌شود. تعیین بازه نادرست از فضاهای خالی در دقت محاسبه مقدار تخلخل کل و نوع تخلخل تاثیر منفی می‌گذارد. بعد از مشخص شدن بازه مناسب برای تفکیک پیکسل‌های آبی رنگ، تمام پیکسل‌هایی که در بازه مورد نظر قرار گرفته‌اند، یکسان‌سازی میشوند بدین معنی که شدت رنگ قرمز و سبز برای تمام آنها صفر و شدت رنگ آبی ۲۴۰ قرار داده میشود. در مرحله

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

بعد، با استفاده از دستور `im2bw` تصویر تهیه شده را بر اساس آستانه‌گذاری روی روشنایی به یک تصویر باینری تبدیل می‌کنیم. از تصویر باینری بدست آمده برای مراحل بعد استفاده میشود. شکل ۴-۲۳ نمونه ای از تصویر قطعه‌بندی و تصویر باینری حاصل از آنرا نشان می‌دهد. مقدار تخلخل کل هر تصویر از تقسیم مجموع تعداد پیکسلهای سیاه رنگ به تعداد کل پیکس های تشکیل دهنده تصویر بدست می آید.



شکل ۴-۲۳: تصویر قطعه بندی و تصویر باینری حاصل

در پایان این مرحله، تصویر باینری ایجاد خواهد شده است که فضاهای سیاه رنگ معرف فضاهای خالی و سایر بخشهای سنگ به رنگ سفید خواهند بود.

۴-۵-۴ استخراج ویژگی‌های هندسی مربوط به فضاهای خالی

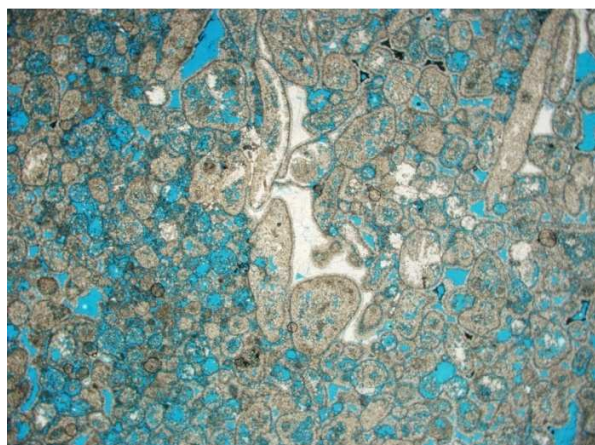
در ابتدای این مرحله با استفاده از دستور `bwlabel` تمامی فضاهایی که مساحتی بیش از ۸ پیکسل دارند، برچسب گذاری می‌شوند. این برچسب گذاری برای مطالعه مشخصه‌های هندسی فضاهای خالی ضروری می‌باشد. با استفاده از دستور `regionprops` مشخصه های هندسی مورد نظر را برای هریک از فضاهای برچسب گذاری شده محاسبه می‌کنیم. در جعبه ابزار متلب، امکان مطالعه بیش از بیست مشخصه هندسی از اشیاء تصویر فراهم شده است که موارد زیر با توجه به نیاز این مطالعه، انتخاب شده‌اند: محیط، مساحت، قطر کوچک، قطر بزرگ و فراخی. بررسی عکسهای مختلف نشان داد که برای تعیین درصد هریک از انواع فضاهای خالی

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

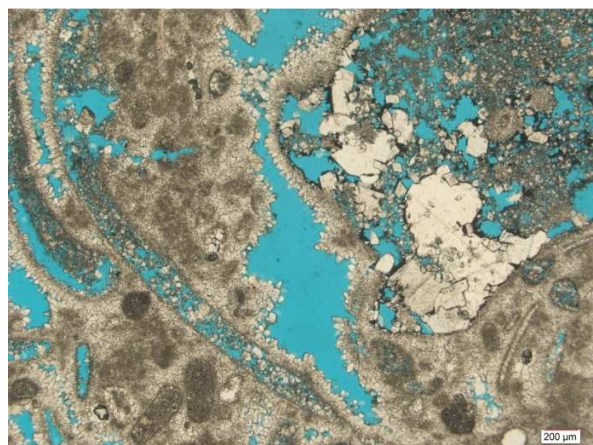
موجود در تصویر، بایستی محدودیتی در مقدار مساحت هریک از فضاها، در نظر گرفت. این محدودیت باعث میشود تا سرعت و دقت الگوریتم افزایش چشمگیری داشته باشد. در مطالعه چشمی تخلخل نیز معمولاً نوع تخلخل غالب و مقدار درصد هر نوع تخلخل بر اساس فضاهای با مساحت بزرگتر تعیین میشود. پس از بررسی-های مختلف به این نتیجه رسیدیم که انتخاب ۱۶ فضای بزرگتر برای مطالعه می تواند تقریب مناسبی از مقدار انواع تخلخل موجود را ارائه دهد. لذا با استفاده از دستور Sort، فضاها بر حسب مساحت مرتب شده اند. با استفاده از فرمول های عنوان شده در فصل قبل مقدار گردشگری، نسبت تصویر و فراخی برای ۱۶ فضای بزرگتر محاسبه شده است. این پارامترها برای ورودی های مدل تفکیک کننده فضاهای خالی استفاده میشوند.

۴-۵-۵- تفکیک فضاهای خالی با استفاده از آنالیز تفکیک کننده تحت نظارت

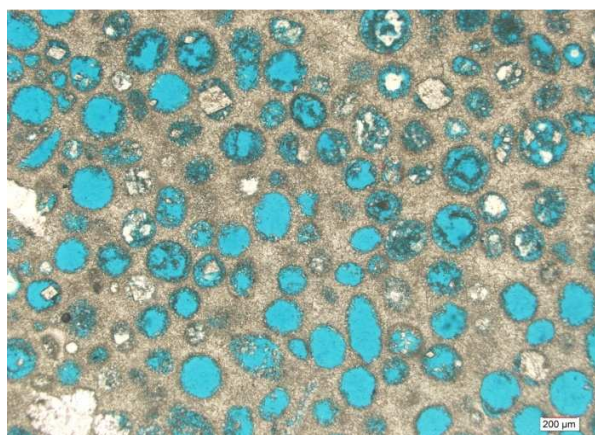
برای آموزش سیستم، پارامترهای هندسی (گردشگری، نسبت تصویر و فراخی) برای ۲۸۰ فضای خالی محاسبه شده است. سه نوع سیستم تفکیک کننده، بر اساس این داده ها، آموزش دیده است. تفاوت عمده سیستمها در نوع تابع تفکیک کننده می باشد. توابع تفکیک کننده خطی، درجه دوم و ماهالانوبیس استفاده شده اند. هر یک از سیستم ها بر اساس نوع تابع استفاده شده، دقت متفاوتی در تشخیص فضاهای خالی خواهند داشت. خروجی سیستم های طراحی شده، نوع فضای خالی (شامل بین دانه ای، درون دانه ای، قالبی کامل، قالبی ناقص و بیو-ملدیک) می باشد. بعد از آموزش سیستم های رده بندی، برای تست آنها تعداد ده تصویر به عنوان ورودی به الگوریتم داده شده است. تصاویر انتخاب شده در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده اند. در جدول ۴-۷ مقدار درصد واقعی هریک از انواع تخلخل در تصاویر انتخاب شده آمده است و در مقابل در جدول ۴-۸ مقدار درصد هر نوع فضای خالی بر اساس سیستم های تفکیک کننده لیست شده اند. برای محاسبه مقدار تخلخل مربوط به هر رده، مجموع مساحت مربوط به هر آن نوع از خلل و فرج را بر مساحت کل ۱۶ فضای انتخاب شده تقسیم شده است.



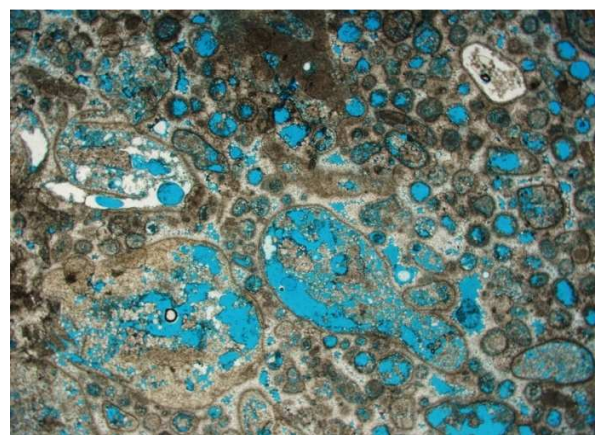
(۲)



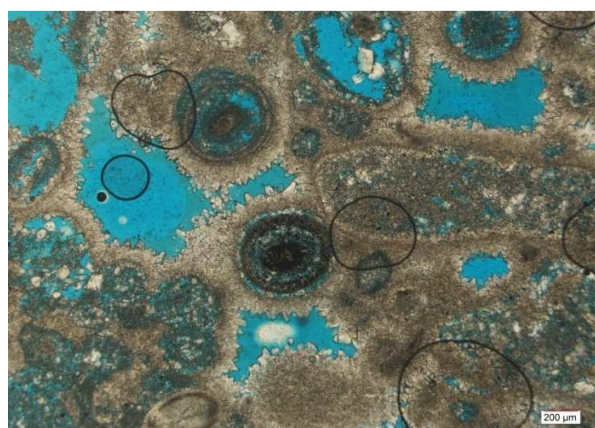
(۱)



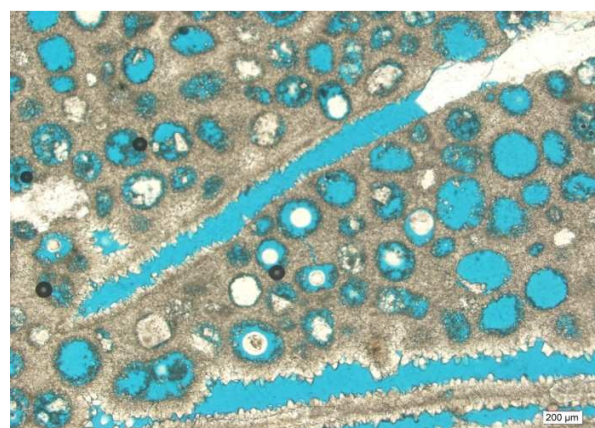
(۴)



(۳)

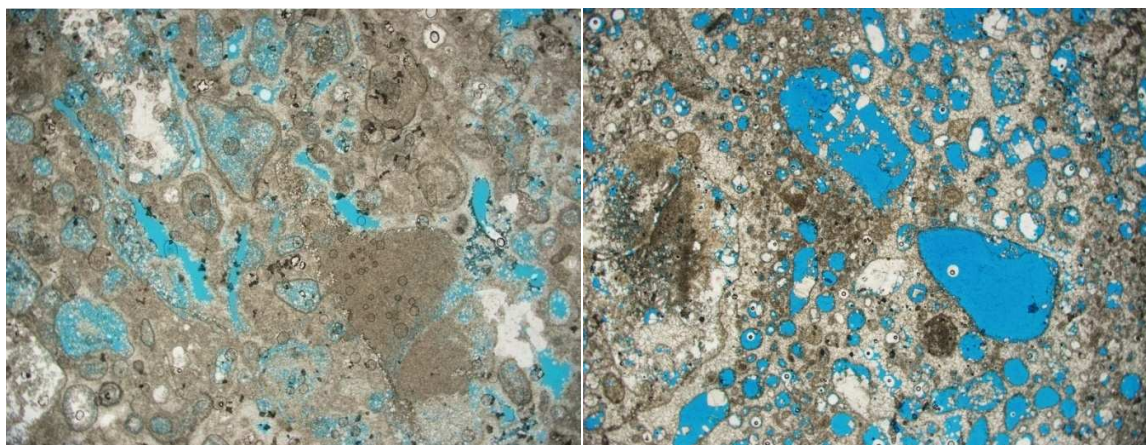


(۶)



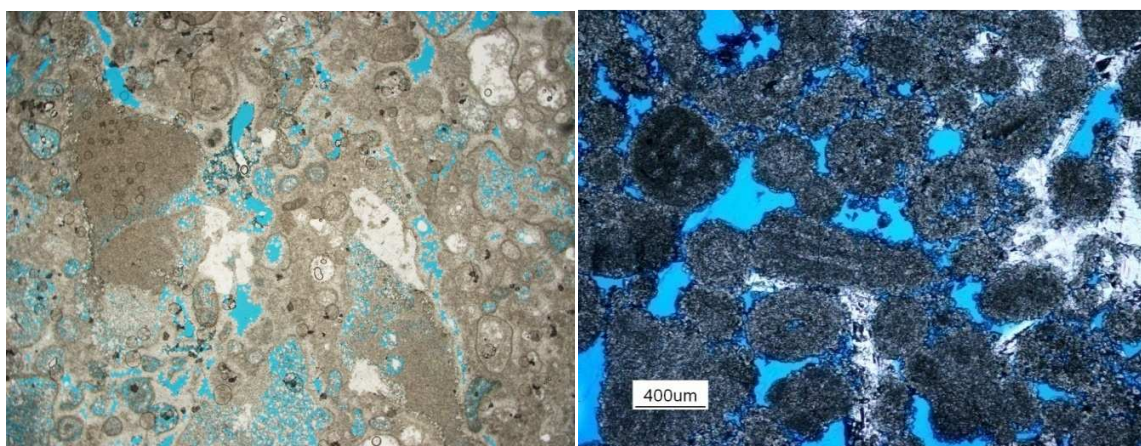
(۵)

شکل ۴-۲۴: تصاویر انتخاب شده برای تست الگوریتم تفکیک کننده



(۸)

(۷)



(۱۰)

(۹)

ادامه شکل ۴-۲۴: تصاویر انتخاب شده برای تست الگوریتم تفکیک کننده

$$\text{مقدار تخلخل نوع } X = \frac{\text{مجموع مساحت فضاهای نوع } X}{\text{مساحت کل 16 فضای انتخاب شده}} \quad (۴.۱۵)$$

۴-۵-۶- محاسبه خطا الگوریتم بر اساس مساحت محاسبه شده

در جدول ۴-۹ مقدار خطای الگوریتم بر حسب نوع تابع تفکیک کننده آمده است. برای محاسبه خطا مقادیر محاسبه شده برای هر نوع تخلخل (مقدار واقعی و مقدار بدست آمده از الگوریتم) در بازه صفر تا یک نرمالیزه شده است و اختلاف بین مقدار نرمالیزه واقعی و مقدار نرمالیزه بدست آمده از الگوریتم را به عنوان خطا در نظر

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

گرفته‌ایم. نرمالیزه کردن مقادیر بدست آمده باعث می‌شود تا مقایسه‌ای منطقی بین نتایج حاصل از الگوریتم و نتایج واقعی امکان پذیر باشد. در پایان نیز برای انتخاب بهترین تابع تفکیک کننده میانگین مقدار خطا در پیش-بینی هریک از انواع فضاهای خالی در ده تصویر مورد بررسی، محاسبه شده است. با توجه به جدول ۴-۹ مشخص است که میانگین خطا توابع خطی، درجه دو و ماهالانوبیس برای تخلخل بین دانه‌ای به ترتیب ۰.۱۲، ۰.۱ و ۰.۱۲، برای تخلخل درون دانه‌ای ۰.۰۹، ۰.۱۴ و ۰.۱، برای تخلخل قالبی کامل ۰.۰۸، ۰.۰۶ و ۰.۱، برای تخلخل قالبی ناقص ۰.۲۱، ۰.۰۹ و ۰.۲۱ و برای تخلخل بیوملدیک ۰.۰۱، ۰.۱ و ۰.۰۵ می‌باشد. این مقایسه نشان می‌دهد که تابع تفکیک کننده ماهالانوبیس بهترین پیش بینی را از تخلخل بین دانه‌ای، تابع تفکیک کننده خطی بهترین پیش بینی را از تخلخل درون دانه‌ای و بیوملدیک و بالاخره تابع تفکیک کننده درجه دو بهترین پیش بینی را از تخلخل قالبی کامل و قالبی ناقص داشته است. مجموع خطای هر تابع تفکیک کننده نشان می‌دهد که توابع تفکیک کننده خطی و درجه دوم با مجموع خطای ۰.۵۱ بهترین الگوریتم برای تفکیک انواع مختلف فضاهای خالی ارائه می‌دهند. در مقابل تابع تفکیک کننده ماهالانوبیس با مجموع خطای ۰.۵۶ ضعیف‌ترین الگوریتم را برای تفکیک انواع فضاهای خالی ارائه می‌کند.

جدول ۴-۷: مقدار درصد واقعی هریک از انواع تخلخل در تصاویر انتخاب

شماره نمونه	بین دانه‌ای (%)	درون دانه‌ای (%)	قالبی کامل (%)	قالبی ناقص (%)	بیوملدیک (%)
۱	۸۷.۷۱	۳.۱۲	۲.۶	۰	۶.۷۵
۲	۵۳.۲۲	۳.۳۱	۲۰.۰۷	۲۳.۴	۰
۳	۲۳.۹	۵۱.۲۲	۷.۱۳	۱۷.۷۵	۰
۴	۰	۰	۹۵.۵۵	۴.۴۵	۰
۵	۴.۵۲	۰	۳۴.۳	۲.۵۸	۵۸.۶
۶	۶۳.۲۲	۰	۱۷.۱۲	۱۹.۶۶	۰
۷	۰	۲۷.۵۸	۶۱.۲۲	۱۱.۲	۰
۸	۶۹.۳	۲.۵۵	۱۵.۱۸	۱۲.۹۷	۱.۹۵
۹	۸۵.۲۲	۷.۲۳	۰	۷.۵۵	۰
۱۰	۵۸.۶۳	۲۹.۴۲	۰	۱۲.۱۲	۰

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

جدول ۴-۸: مقدار درصد هر نوع فضای خالی بر اساس سیستم های تفکیک کننده

شماره نمونه	تابع تفکیک کننده	بین دانه ای (%)	درون دانه ای (%)	قالبی کامل (%)	قالبی ناقص (%)	بیوملدیک (%)
۱	خطی	۵۶.۵۸	۹.۸۶	۳.۸۲	۲۹.۷۳	۰
	درجه دوم	۷۹.۳۹	۱۰.۰۲	۲.۵۵	۳.۱۱	۴.۹۳
	ماهالانوبیس	۷۶.۳۴	۴.۲۶	۲.۵۵	۱۱.۹۲	۴.۹۳
۲	خطی	۴۳.۳۹	۴.۰۹	۲۴.۶۷	۲۷.۸۶	۰
	درجه دوم	۴۴.۹۹	۱۸.۰۴	۱۵.۸۸	۱۸.۱۵	۲.۹۳
	ماهالانوبیس	۴۴.۴۱	۹.۵	۲۴.۶۷	۲۱.۴۲	۰
۳	خطی	۲۳.۵	۲۲.۷۲	۲۱.۵۲	۳۲.۲۶	۰
	درجه دوم	۳۲.۱۶	۲۲.۷۲	۲۱.۵۲	۲۳.۶	۰
	ماهالانوبیس	۲۳.۵	۲۲.۷۲	۲۱.۵۲	۳۲.۲۶	۰
۴	خطی	۰	۰	۹۵.۵۵	۴.۴۵	۰
	درجه دوم	۰	۰	۹۵.۵۵	۴.۴۵	۰
	ماهالانوبیس	۰	۰	۹۵.۵۵	۴.۴۵	۰
۵	خطی	۰	۰	۳۴.۸۲	۶.۰۹	۵۹.۰۹
	درجه دوم	۲.۷۷	۰	۳۴.۸۲	۳.۳۲	۵۹.۰۹
	ماهالانوبیس	۲.۷۷	۰	۳۴.۸۲	۳.۳۲	۵۹.۰۹
۶	خطی	۵۳.۸	۰	۴۰.۴۱	۵.۷۹	۰
	درجه دوم	۷۹.۲۱	۱۱.۳۴	۵.۳۷	۴.۰۸	۰
	ماهالانوبیس	۶۷.۳۷	۴.۵۳	۵.۳۷	۲۲.۷۳	۰
۷	خطی	۰	۲۹.۱۱	۶۳.۲۱	۷.۶۷	۰
	درجه دوم	۵.۷۹	۲۹.۱۱	۵۹.۵۳	۵.۵۶	۰
	ماهالانوبیس	۰	۲۹.۱۱	۱۷.۷۵	۵۳.۱۴	۰
۸	خطی	۵۹.۳۳	۰	۶.۳۷	۳۲.۳۵	۱.۹۵
	درجه دوم	۳۵.۶۱	۰	۰	۲۱.۰۱	۴۳.۳۸
	ماهالانوبیس	۴۵.۳۱	۰	۵.۰۷	۲۹.۵۸	۳۰.۰۴
۹	خطی	۵۵.۷۴	۱۰.۵۵	۱۸.۸	۱۴.۹۱	۰
	درجه دوم	۶۷.۸	۱۴.۷۵	۱۰.۹۷	۶.۴۸	۴.۱۸
	ماهالانوبیس	۶۳.۲	۱۰.۵۵	۶.۶	۱۹.۶۶	۰
۱۰	خطی	۴۵.۷	۲۵.۳۶	۰	۲۸.۹۴	۰
	درجه دوم	۴۸.۹۲	۳۰.۸۹	۰	۱۶.۰۱	۴.۱۸
	ماهالانوبیس	۴۶.۶۴	۲۵.۲۶	۰	۲۸.۱	۰

فصل چهارم پیش بینی تخلخل و تراوایی و ارائه الگوریتم خودکار برای تفکیک فضاهای خالی

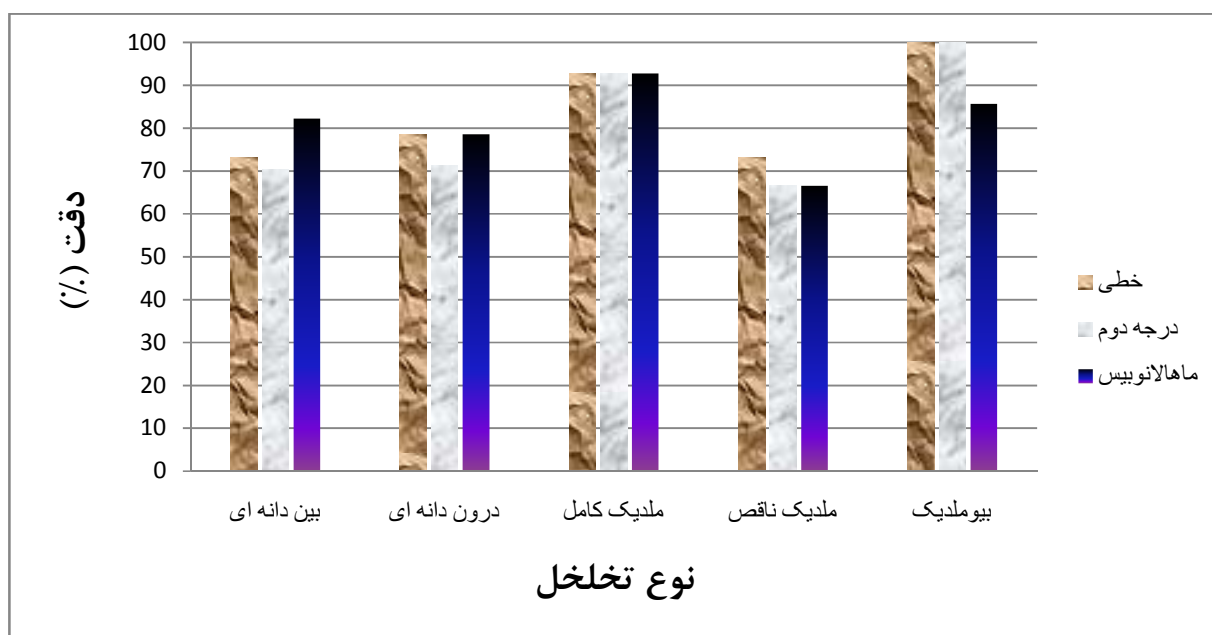
جدول ۴-۹: مقدار خطای الگوریتم بر حسب نوع تابع تفکیک کننده

شماره نمونه	تابع تفکیک کننده	بین دانه‌ای	درون دانه‌ای	قالبی کامل	قالبی ناقص	بیوملدیک
۱	خطی	۰.۳۵	۰.۱۳	۰.۰۱	۰.۵۵	۰.۱۱
	درجه دوم	۰.۱	۰.۱۳	۰.۰۲	۰.۰۶	۰.۰۳
	ماهالانوبیس	۰.۱۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۲۲	۰.۰۳
۲	خطی	۰.۱۱	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۸	۰
	درجه دوم	۰.۰۹	۰.۲۹	۰.۰۴	۰.۱	۰.۰۵
	ماهالانوبیس	۰.۱	۰.۱۲	۰.۰۵	۰.۰۴	۰
۳	خطی	۰.۰۰۵	۰.۵۶	۰.۱۵	۰.۲۷	۰
	درجه دوم	۰.۱	۰.۵۶	۰.۱۵	۰.۱۱	۰
	ماهالانوبیس	۰.۰۰۵	۰.۵۶	۰.۱۵	۰.۲۷	۰
۴	خطی	۰	۰	۰	۰	۰
	درجه دوم	۰	۰	۰	۰	۰
	ماهالانوبیس	۰	۰	۰	۰	۰
۵	خطی	۰.۰۵	۰	۰	۰.۰۶	۰.۰۱
	درجه دوم	۰.۰۲	۰	۰	۰.۰۱	۰.۰۱
	ماهالانوبیس	۰.۰۲	۰	۰	۰.۰۱	۰.۰۱
۶	خطی	۰.۱۱	۰	۰.۲۴	۰.۲۷	۰
	درجه دوم	۰.۱۸	۰.۲۲	۰.۱۲	۰.۳	۰
	ماهالانوبیس	۰.۰۴	۰.۰۹	۰.۱۲	۰.۰۵	۰
۷	خطی	۰	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۷	۰
	درجه دوم	۰.۰۶	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۱۱	۰
	ماهالانوبیس	۰	۰.۰۳	۰.۴۶	۰.۷۹	۰
۸	خطی	۰.۱۲	۰.۰۵	۰.۱	۰.۳۴	۰
	درجه دوم	۰.۳۹	۰.۰۵	۰.۱۶	۰.۱۵	۰.۶۹
	ماهالانوبیس	۰.۲۸	۰.۰۵	۰.۱۱	۰.۳۱	۰.۴۷
۹	خطی	۰.۳۴	۰.۰۶	۰.۲	۰.۱۴	۰
	درجه دوم	۰.۲	۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۰۲	۰.۰۷
	ماهالانوبیس	۰.۲۵	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۲۲	۰
۱۰	خطی	۰.۱۴	۰.۰۸	۰	۰.۳۲	۰
	درجه دوم	۰.۱۱	۰.۰۳	۰	۰.۰۸	۰.۰۷
	ماهالانوبیس	۰.۱۳	۰.۰۸	۰	۰.۳	۰
میانگین خطا	خطی	۰.۱۲	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۲۱	۰.۰۱
	درجه دوم	۰.۱۲	۰.۱۴	۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۱
	ماهالانوبیس	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۲۱	۰.۰۵

۴-۵-۷- محاسبه دقت الگوریتم بر اساس پارامترهای هندسی

در قسمت قبل، دقت الگوریتم بر اساس مجموع مساحت هر نوع از فضاهای خالی بررسی شد. این بررسی نتیجه نهایی در مورد مقدار درصد هر نوع از فضاهای خالی را ارائه می‌دهد و مشخص نمی‌کند که الگوریتم چه دقتی در تفکیک انواع فضاهای خالی داشته است، به عبارت دیگر در صورتیکه دو فضای خالی از نوع بین دانه‌ای و قالبی ناقص با مساحت برابر وجود داشته باشد، ممکن است الگوریتم فضای خالی از نوع بین دانه‌ای را قالبی ناقص و فضای خالی از نوع قالبی ناقص را بین دانه‌ای پیش بینی کند و به این ترتیب تغییر قابل ملاحظه‌ای در مقدار درصد هر نوع از فضاهای خالی و نتیجه نهایی ایجاد نمیشود. لذا لازم است تا دقت الگوریتم را در مورد شناخت فضاهای خالی به صورت منفرد نیز بررسی کنیم. برای این منظور پارامترهای هندسی (شامل گردشگری، نسبت تصویر و فراخی) هشتاد و چهار فضای خالی را محاسبه کرده‌ایم. از این میان تعداد سی و چهار فضای خالی بین دانه‌ای، چهارده فضای خالی درون دانه‌ای، چهارده فضای خالی قالبی کامل، پانزده فضای خالی قالبی ناقص و هفت فضای خالی بیوملدیک می‌باشد. مشابه با قسمت قبل از سه الگوریتم با توابع تفکیک کننده خطی، درجه دو و ماهالانوبیس استفاده شد. در شکل ۴-۲۵ دقت هریک از سه الگوریتم در شناخت صحیح نوع فضای خالی آمده است. در این نمودار ستونهای قهوه‌ای، خاکستری و آبی به ترتیب بیانگر دقت الگوریتم‌های با توابع خطی، درجه دوم و ماهالانوبیس در شناخت فضاهای خالی منفرد می‌باشد.

نتایج بدست آمده از این نمودار تایید کننده نتایج قسمت قبل می‌باشد. الگوریتم تفکیک کننده در شناخت هر نوع از فضاهای خالی به صورت جداگانه نیز با دقت بالایی عمل می‌کند و لذا می‌توان با اطمینان بالا در مورد نتایج حاصل از الگوریتم برای مساحت و درصد هر نوع از فضاهای خالی در یک تصویر نیز اظهار نظر کرد.



شکل ۴-۲۵: مقایسه دقت سه الگوریتم در شناخت فضای خالی منفرد

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

فصل پنجم: نتیجه گیری

- مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک دو سازند کنگان و دالان در چاه شماره ۱۲ نشان می‌دهد، که تخلخل های آلمدیک و بین دانه‌ای فراوان ترین انواع تخلخل هستند. تخلخل آلمدیک در بیشتر بخش‌های مخزن مشاهده میشود و بیشترین تراکم را در زیر واحدهای K_{4a} و K_{4b} دارد. تخلخل بین دانه‌ای که بعد از تخلخل آلمدیک فراوانترین نوع تخلخل است، بیشترین فراوانی را در بخش انتهایی K_{1c} و K_{2c} داراست. همچنین بیشترین فراوانی تخلخل درون دانه‌ای در زیر واحد K_{2a} مشاهده شد. انواع دیگر تخلخل نیز در مقاطع مورد بررسی فراوانی کمتری داشته‌اند و تخلخل بین بلوری کمترین فراوانی را در انواع مختلف تخلخل در چاه شماره ۱۲ دارد.
- آنالیز پلاگ های مغزه برای چاه شماره ۱۲ نشان داده است که بیشترین مقدار تراوایی در سازند کنگان در زیر واحد K_{1c} دیده میشود که در اثر لایه‌های دولومیتی متخلخل می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار تراوایی در سازند دالان نیز مربوط به زیر واحد K_{4b} با مقدار برابر ۷۲۳.۲ میلی داری می‌باشد. این تراوایی بالا در نتیجه لیتولوژی آهکی و آهک دولومیتی با تخلخل بین دانه‌ای می‌باشد.
- بعد از بررسی های مختلف به این نتیجه رسیدیم که بزرگنمایی ۱۲.۵X بهترین تصویر را از سنگ منعکس می‌کند. همچنین تعداد ده تصویر از هر مقطع گرفته شده است تا تمام سطح مقطع مورد بررسی قرار گرفته باشد.
- در این مطالعه برای پیش بینی تخلخل و تراوایی تعداد دوازده ویژگی پتروگرافی از تصاویر گرفته شده از مقاطع نازک استخراج شد. در مرحله اول روند تغییرات هریک از این پارامترها را به صورت یک به یک با تخلخل و تراوایی مورد بررسی قرار داده‌ایم و مقدار ضریب همبستگی را برای آن مشخص کرده‌ایم. مشخص شد نوع سنگ، تخلخل نوری، نوع بافت، تخلخل میکرو، میانگین ضریب شکل هندسی و تخلخل بین دانه‌ای با ضریب همبستگی ۰.۴، ۰.۲۳، ۰.۱۸، ۰.۱۵، ۰.۱۴ و ۰.۱۲ بیشترین رابطه را با

تخلخل مغزه و تخلخل بین دانه‌ای، نوع سنگ، میانگین ضریب شکل هندسی، نوع بافت، تخلخل نوری، تخلخل قالبی و تخلخل میکرو به ترتیب با ضریب همبستگی ۰.۷۲، ۰.۶۱، ۰.۵۴، ۰.۴۹، ۰.۲۵، ۰.۱۹ و ۰.۱۰ بیشترین رابطه را با تراوایی مغزه دارند. در مرحله دوم برای اطمینان از پاسخ نمودارهای ضریب همبستگی از شبکه عصبی برای انتخاب ورودی‌های مناسب استفاده شد. با توجه به نتایج شبکه های عصبی، ورودی‌های مناسب برای تخمین تخلخل نوع سنگ، بافت، مقدار تخلخل میکرو و میانگین ضریب شکل هندسی و ورودی‌های مناسب برای تخمین تراوایی مقدار تخلخل بین دانه‌ای، نوع سنگ، نوع بافت و میانگین ضریب شکل هندسی فضاهای خالی می‌باشد.

- برای ایجاد الگوریتم پیش بینی کننده فضاهای خالی، بعد از قطعه بندی تصویر، تعداد ده مشخصه هندسی را برای هر فضای خالی محاسبه کرده‌ایم. برای انتخاب ورودی‌های مناسب برای تفکیک دقیق فضاها از یک شبکه عصبی استفاده کرده‌ایم. مشخص شد که سه پارامتر نسبت تصویر، میزان فراخی و گردش‌دگی بهترین ورودی‌ها برای تفکیک فضاهای خالی می‌باشد.
- برای تخمین تخلخل در سازندهای کنگان و دالان از تکنیکهای شبکه عصبی، منطق فازی و نروفازی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد مدل های هوشمند ساخته شده با استفاده از تکنیکهای یاد شده با دقت قابل قبولی قادر به تخمین تخلخل در عمق هایی هستند که آنالیز مغزه در آنها صورت نگرفته است. هر چند ممکن است تخمین دقیق تخلخل با استفاده از تکنیکهای هوشمند کار آسانی نباشد ولی در تشخیص زون های متخلخل و غیر متخلخل به خوبی عمل کرده‌اند.
- برای افزایش دقت در تخمین تخلخل از ماشین کمیته استفاده شده است. در این روش با استفاده از قابلیت الگوریتم ژنتیک مدلی برای ترکیب نتایج بدست آمده از شبکه عصبی، منطق فازی و نروفازی ارائه شد. مدل جدید با کاهش خطای پیش بینی، دقیق ترین تخمین از تخلخل را ارائه نموده است. در جدول ۵-۱ سیستم های هوشمند بر اساس دقت در پیش بینی تخلخل با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۵-۱: مقایسه سیستم های هوشمند بر اساس دقت پیش بینی تخلخل

سیستم هوشمند	خطای پیش بینی	جایگاه سیستم بر اساس دقت
شبکه عصبی	۰.۰۲۵۶	۵
منطق فازی	۰.۰۲۱۴	۳
سیستم نرو-فازی	۰.۰۲۲۶	۴
ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری	۰.۰۱۹۸	۲
ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک	۰.۰۱۶۵	۱

- تکنیکهای هوشمند برای تخمین تراوایی در سازند های کنگان و دالان نیز به خوبی عمل کرده اند و توانسته اند با دقت بالایی تراوایی را پیش بینی و زون های تراوا را از ناتراوا تفکیک کنند. ماشین کمیته مشابه با ماشین کمیته پیش بینی تخلخل در این قسمت نیز استفاده شد. ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با کاهش خطای پیش بینی، دقیق ترین تخمین از تراوایی را ارائه کرده است. در جدول ۵-۲ سیستم های هوشمند بر اساس دقت در پیش بینی تراوایی با هم مقایسه شده اند.

جدول ۵-۲: مقایسه سیستم های هوشمند بر اساس دقت پیش بینی تراوایی

سیستم هوشمند	خطای پیش بینی	جایگاه سیستم بر اساس دقت
شبکه عصبی	۰.۰۱۳۹	۵
منطق فازی	۰.۰۰۶۱	۲
سیستم نرو-فازی	۰.۰۰۸۵	۴
ماشین کمیته مبتنی بر میانگین گیری	۰.۰۰۷۵	۳
ماشین کمیته مبتنی بر الگوریتم ژنتیک	۰.۰۰۵۶	۱

- با تکیه بر روش های آنالیز تصویر و تشخیص الگو، الگوریتمی خودکار برای تشخیص پنج نوع فضای خالی بین دانه‌ای، درون دانه‌ای، قالبی کامل، قالبی ناقص و بیوملدیک ارائه شد. سه نوع سیستم رده-بندی تحت نظارت با توابع تفکیک کننده خطی، درجه دوم و ماهالانوبیس ایجاد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تابع تفکیک کننده ماهالانوبیس بهترین پیش بینی را از تخلخل بین دانه‌ای، تابع تفکیک کننده خطی بهترین پیش بینی را از تخلخل درون دانه‌ای و بیوملدیک و بالاخره تابع تفکیک کننده درجه دو بهترین پیش بینی را از تخلخل قالبی کامل و قالبی ناقص داشته است. با توجه به مجموع خطای پیش بینی مشخص شد که تابع تفکیک کننده خطی بهترین الگوریتم را برای تفکیک فضاهای خالی ارائه می‌دهد.
- در این مطالعه امکان دسترسی به میکروسکوپ الکترونی وجود نداشت و پارامترهای پتروگرافی با استفاده از میکروسکوپ نوری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند. از آنجایی که بسیاری از ویژگیهای سنگ شناسی مانند مقدار و درصد انواع رس‌ها و تخلخلهای بسیار ریز با این میکروسکوپها مطالعه می‌شوند، لذا استفاده از اطلاعات حاصل از میکروسکوپ الکترونی میتواند تاثیر مثبتی در افزایش دقت پیش بینی تخلخل و تراوایی داشته باشد.
- در این مطالعه بر خلاف مطالعات چشمی مقاطع نازک که بر اساس محل قرار گرفتن خلل و فرج نوع آن را تعیین می‌کنند، از ویژگی‌های هندسی فضاهای خالی برای تفکیک آنها از یکدیگر استفاده شد. برای افزایش دقت الگوریتم می‌توان توانایی مطالعه فضاها و پیکسل‌های اطراف فضاهای خالی را نیز به آن اضافه کرد. در این شرایط الگوریتم می‌تواند با تکیه به ویژگی‌های هندسی خلل و فرج و موقعیت قرار گرفتن آنها نسبت به دانه‌ها، قضاوتی منطقی‌تر داشته باشد. با تکیه به این اصل می‌توان الگوریتمی خودکار برای تعیین نوع بافت سنگ‌های کربناته نیز ارائه داد.

منابع

تمام منابعی که در متن این پایان نامه از آن نام برده شده است اگر سال انتشار میلادی داشته باشند در بخش منابع انگلیسی و اگر دارای سال انتشار هجری شمسی باشند در بخش منابع فارسی گردآوری شده‌اند.

الف – منابع فارسی

- آذین، رضا، ۱۳۸۸، "آلودگی نفتی خلیج فارس"، انتشارات دانشگاه بوشهر، ۲۱۵ص
- پوررضا، حمیدرضا، ۱۳۸۷، بینایی ماشین، جزوه درسی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فنی
- تقوی، علی اصغر، ۱۳۷۸، بررسی عوامل کنترل‌کننده کیفیت مخزن گازی سازند کنگان، میدان سلمان در خلیج فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم.
- رضایی، محمدرضا، ۱۳۸۱، زمین شناسی نفت، انتشارات علوی، ۴۱۰ص
- شمس نیا، الهه، ۱۳۸۵، اثر هندسه منافذ روی کیفیت مخزنی سازندهای کنگان و دالان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم.
- طالبی، محمد علی، ۱۳۸۴، بکارگیری تکنیک شبکه عصبی مصنوعی در تخمین تخلخل و نفوذپذیری با استفاده از داده های چاه نگاری در میدان پارس، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن.
- ظهیر بند، سهراب، ۱۳۸۱، کاربرد شبکه های عصبی در تعیین نفوذپذیری مخازن هیدروکربوری (خلیج فارس- میدان سیری)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی.
- کدخدایی، علی، ۱۳۸۳، "شناسایی گروه های سنگی و ارزیابی کیفیت مخزنی بخش زیرین سازند کنگان در جنوب خلیج فارس با استفاده از تکنیک منطق فازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده علوم.
- مطیعی، همایون، ۱۳۸۷، زمین شناسی سنگهای کربناته (جلد دوم)، انتشارات پژوهش آراین زمین، ۴۵۱ص.
- منهج، محمدباقر، ۱۳۸۱، هوش محاسباتی (جلد اول)-مبانی شبکه های عصبی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۲۱۶ص.
- نجم آبادی، سیوش، ۱۳۷۲، گزارش نهایی چاه شماره یک میدان گازی پارس جنوبی، گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران.
- ویسی، ایمان، ۱۳۸۶، تخمین تراوایی با تلفیق داده های نگار و مغزه با استفاده از روش شبکه عصبی در یکی از میادین نفتی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی.

References

- Aali, J., Rahimpour-Bonab, H., Kamali, M.R., 2006. Geochemistry and origin of natural gas in world's largest non-associated gas field. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 50, 163-175.
- Ali, M., Chawathe, A., 2000. Using artificial intelligence to predict permeability from petrographic data. *Journal of Computers and Geoscience* 26, P. 915-925
- Anselmetti, F. S., Luthi, S. and Eberli, G.P., 1998. Quantitative characterization of carbonate pore systems by digital image analysis. *AAPG Bulletin*, 82, 1815-1836
- Archi, G. E., 1952. Classification of carbonate reservoir rocks and petrophysical consideration: *AAPG Bulletin*, V. 36, no. 2, P. 278-298.
- Baykan, N. A., Yilmaz, N., 2010, Mineral Identification Using Color Spaces and Artificial Neural Networks. *Journal of Computers and Geosciences* 36, P. 91-97.
- Chen, C.H., Lin, Z.S., 2006. A committee machine with empirical formulas for permeability prediction, *Computers and Geosciences* 32, 485-496.
- Choquette, P.W., and L.C. Pray, 1970, Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *AAPG Bulletin*, V. 2, p. 207-250.
- Cooke and Schneider, 1983. Generalized Linear Inversion of Reflection Seismic Data. *Geophysics* 48, no. 6, P. 665-675.
- Ehrlich, R., Crabtree, S.J., Horkowite, K.O., and Horkowitz, J.P., 1991. Petrography and Reservoir Physics I: Objective Classification of Reservoir Porosity. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, P. 1547-1562.
- Esmaeil Zadeh, A., Doulati Ardejani, F., Ziaii, M., Mohammado Khorasani, M., 2010, Investigation of Salt Plugs Intrusion into Dehnow Anticline Using Image Proccessing and Geophysical Magnetotelluric Methods. *Journal of Earth Science*, Vol 11.
- Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, USA, 183pp.
- Image Pro Plus, 2006. Software Program of Media Cybernetics Inc.
- Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Rahimpour-Bonab, H., Rezaee, M.R., 2008. A committee machine with intelligent systems for estimation of total organic carbon content from

- petrophysical data: an example from Kangan and Dalan reservoirs in South Pars Gas Field, Iran. *Journal of Computer and Geoscience*. 35, 459–474.
- Kadkhodaie Ilkhchi, A., Rezaee, M.R., Moallemi, S.A., 2006. A fuzzy logic approach for estimation of permeability and rock types from conventional well log data: an example from the Kangan reservoir in Iran Offshore Gas Field, *Journal of Geophysics and Engineering* 3, 356-369.
 - Labani M.M., Kadkhodaie-Ilkhchi A., Salahshoor K., 2010. Estimation of NMR log parameters from conventional well log data using a committee machine with intelligent systems: A case study from the Iranian part of the South Pars gas field, Persian Gulf Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 72, 175-185.
 - Lonoy, A., 2006. Making sense of carbonate pore systems. *AAPG Bulletin*, V. 90, no. 9, P. 1381-1405.
 - Lucia, F. J., 1995. Rock-fabric petrophysical classification of carbonate pore space for reservoir characterization: *AAPG Bulletin*, 79, 1275–1300.
 - Lucia, F.J., 1983, Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate pore space: *Journal of Petroleum Technology*, v. 35, p. 626-637.
 - Mamdani, E.H., Assilian, S., 1975. An experimental in linguistic synthesis with fuzzy logic control.
 - Marmo, R., Amodio, S., Tagliaferri, R., Ferreri, V., Longo, G., 2005. Textural identification of carbonate rocks by image processing and neural network: Methodology proposal and examples. *Journal of Computers and Geoscience* 31, P. 649-659.
 - Martinez-Martinez, J., Benavente, D., García del Cura, M.A., 2007. Petrographic quantification of brecciated rocks by image analysis. Application to the interpretation of elastic wave velocities. *Journal of Engineering Geology* 90, 41-54
 - Matlab user's Guide 2007. Fuzzy logic, Neural Network & GA and Direct Search toolboxes, Matlab CD-ROM, by the Mathworks, Inc.
 - Mohaghegh, S.D., 2000. Virtual-intelligence applications in petroleum engineering: part 1-Artificial Neural Network, Distinguished Author Series articles, SPE 58046
 - Schlumberger, 1989. *Log Interpretation Principles / Applications*, Eighth Printing Feb. 1999

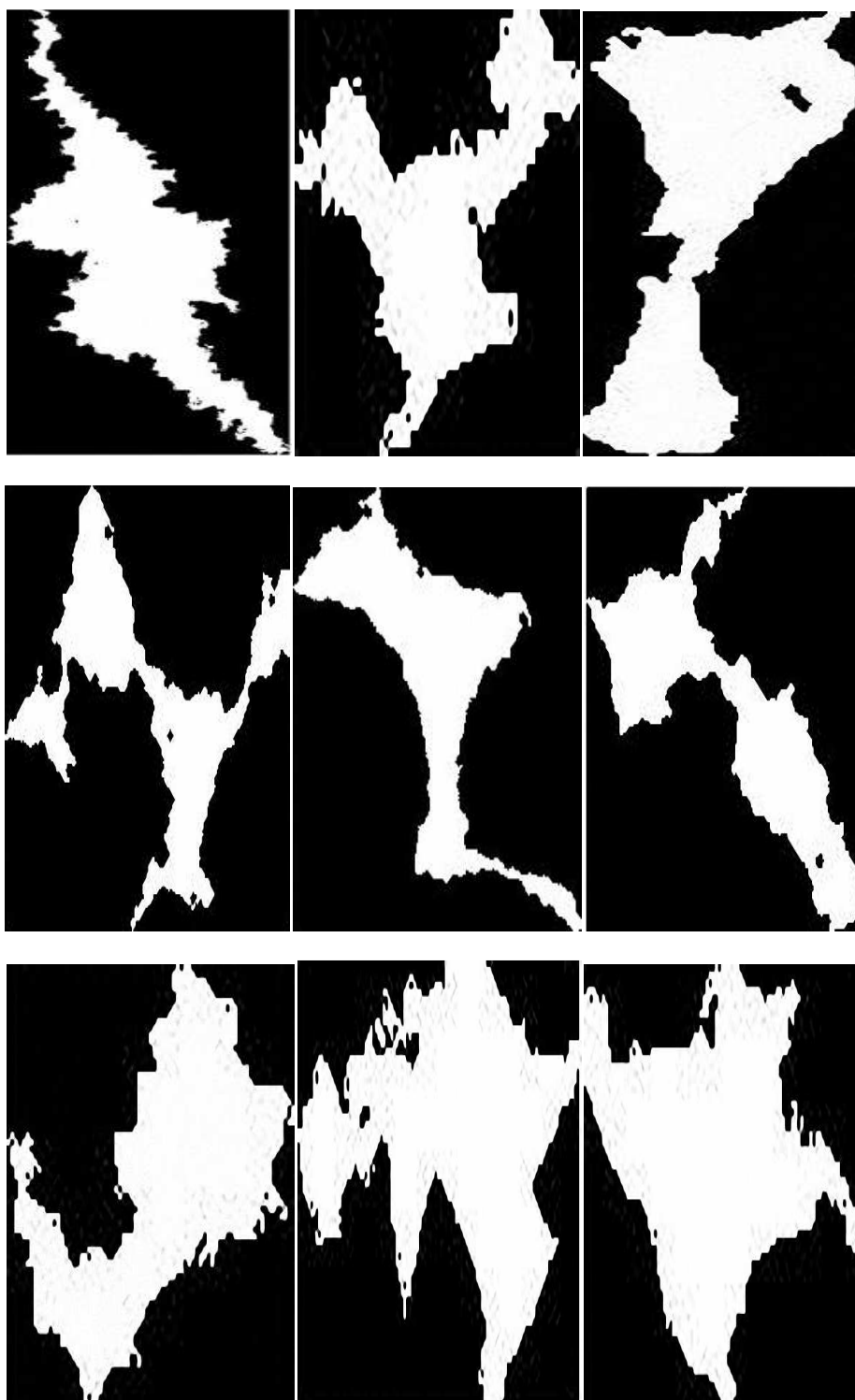
- Siavanandam, S.N., Sumathi, S., Deepa, S.N., 2007. Introduction to fuzzy logic using Matlab, Springer, 430pp.
- Smith, J.V., Beermann, E., 2007. Image analysis of plagioclase crystals in rock thin sections using grey level homogeneity recognition of discrete areas. Journal of Computers and Geoscience 33, P. 335-356
- Takagi, T., Sugeno, M., 1985. Identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics 15, 116–132.
- Tamhane, D., Wong, P.M., Aminzadeh, F., Nikraves, M., 2000. Soft computing for intelligent reservoir characterization, SPE Asia Pacific Conference on Integrated Modeling for Asset Management (Yokohama, Japan, 25-26 April) SPE 59397.
- Theodoridis, S., Koutroumbas, K., 2003. Pattern Recognition. Academic Press, Elsevier, 710p.
- Van den Berg, E.H., Meesters, A.G.C.A., Kenter, J.A.M., Schlager, W., 2002. Automated separation of touching grains in digital images of thin sections. Journal of Computers and Geoscience 28, p. 179-190
- Yagar, R.R., Zadeh, L.A., 1992. An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems, vol. 165. Kluwer Academic Publishers, pp. 69-70.
- Ying, h., 2000. Fuzzy Control and Modeling, Wiley-IEEE Press.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. Information and Control 8, 338–353.

ضمیمه

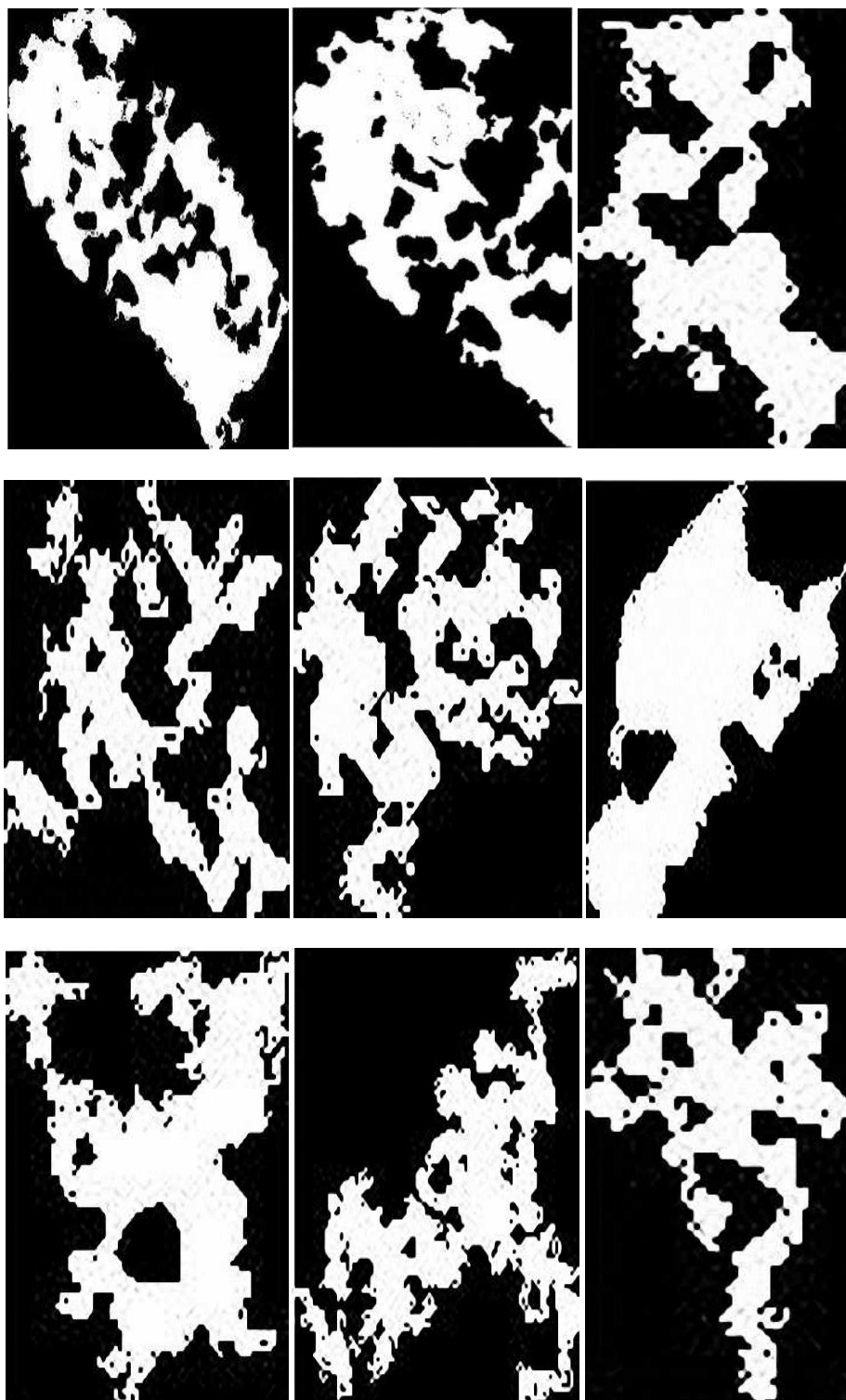
در شکل‌های الف-۱، الف-۲، الف-۳، الف-۴ و الف-۵ شکل‌های متنوعی از انواع فضاهای خالی پنجگانه که در مطالعه حاضر بررسی شده است، آمده است. این اشکال امکان مقایسه فضاها را به لحاظ شکل هندسی فراهم می‌آورد. در این مطالعه بر اساس سه مشخصه گردش‌دگی، نسبت تصویر و فراخی، مدلی برای تفکیک خودکار این فضاها ارائه شده است. در جدول الف-۱ مقدار میانگین این سه مشخصه در کلاسهای مختلف فضاهای خالی آمده است. این جدول نشان می‌دهد که مقدار گردش‌دگی در فضاهای بین دانه‌ای بسیار بالا بوده و این به دلیل محیط بزرگ آنها می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر نسبت تصویر نیز در فضاهای بیوملدیک ثبت شده است. با نگاهی به شکل این فضاها به خوبی مشخص می‌شود که کشیدگی بالای این اشکال باعث زیاد شدن نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک در آنها شده است. فضاهای قالبی کامل اشکالی دایره مانند هستند و انتظار داریم که بیشترین مقدار فراخی و کمترین مقدار گردش‌دگی را در آنها داشته باشیم که جدول زیر نیز همین نکته را ثابت می‌کند.

جدول الف-۱: میانگین گردش‌دگی، نسبت تصویر و فراخی در کلاسهای پنجگانه فضاهای خالی

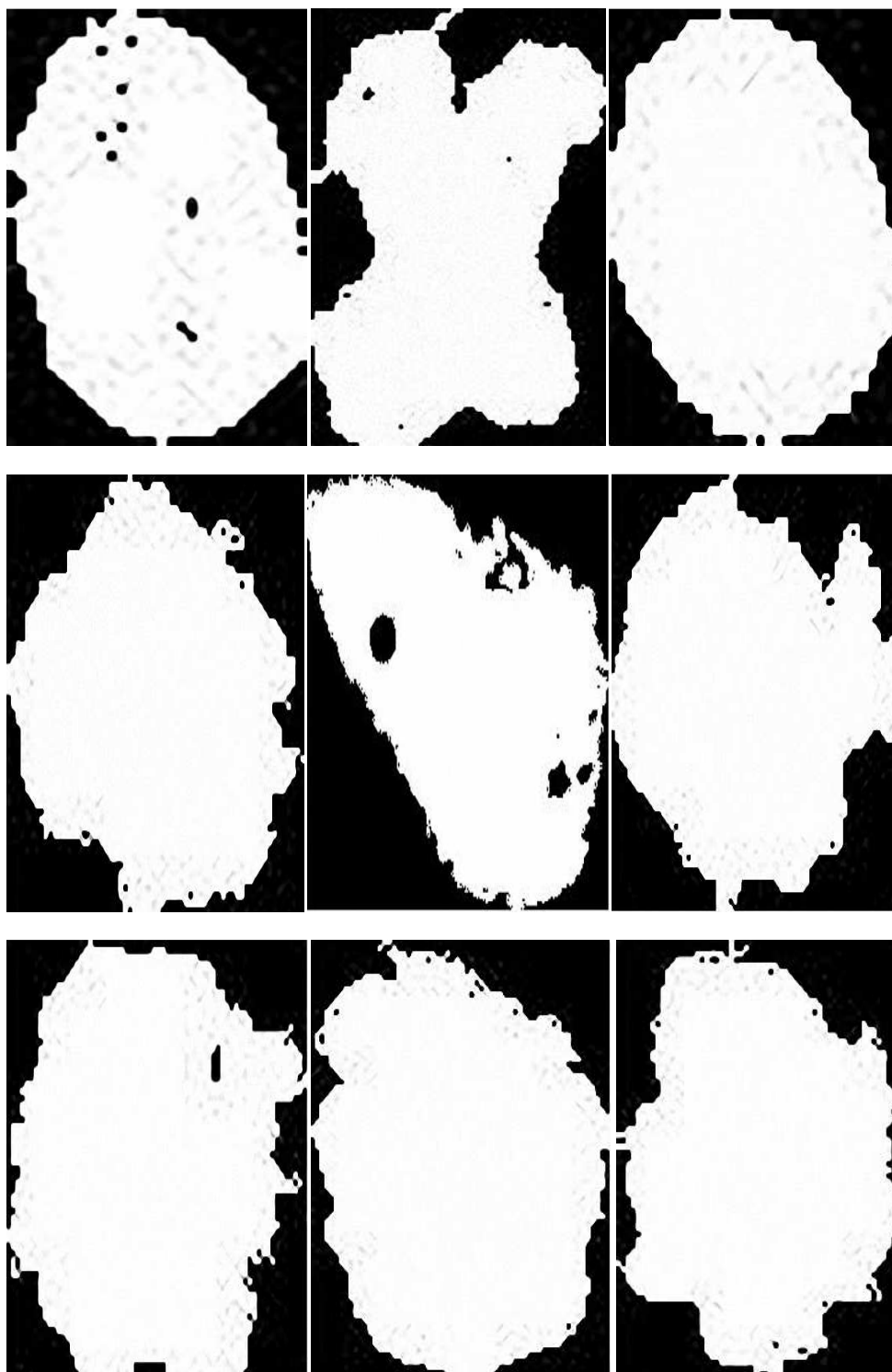
نوع فضای خالی	میانگین گردش‌دگی	میانگین نسبت تصویر	میانگین فراخی
بین دانه‌ای	۵.۱۴	۲.۵۴	۰.۳۶
درون دانه‌ای	۱۷.۱۹	۱.۹۵	۰.۳۳
قالبی کامل	۲.۰۲	۱.۴۱	۰.۶۴
قالبی ناقص	۳.۴۶	۱.۵۳	۰.۴۸
بیو ملدیک	۱۲.۲۱	۱۱.۰۵	۰.۲۲



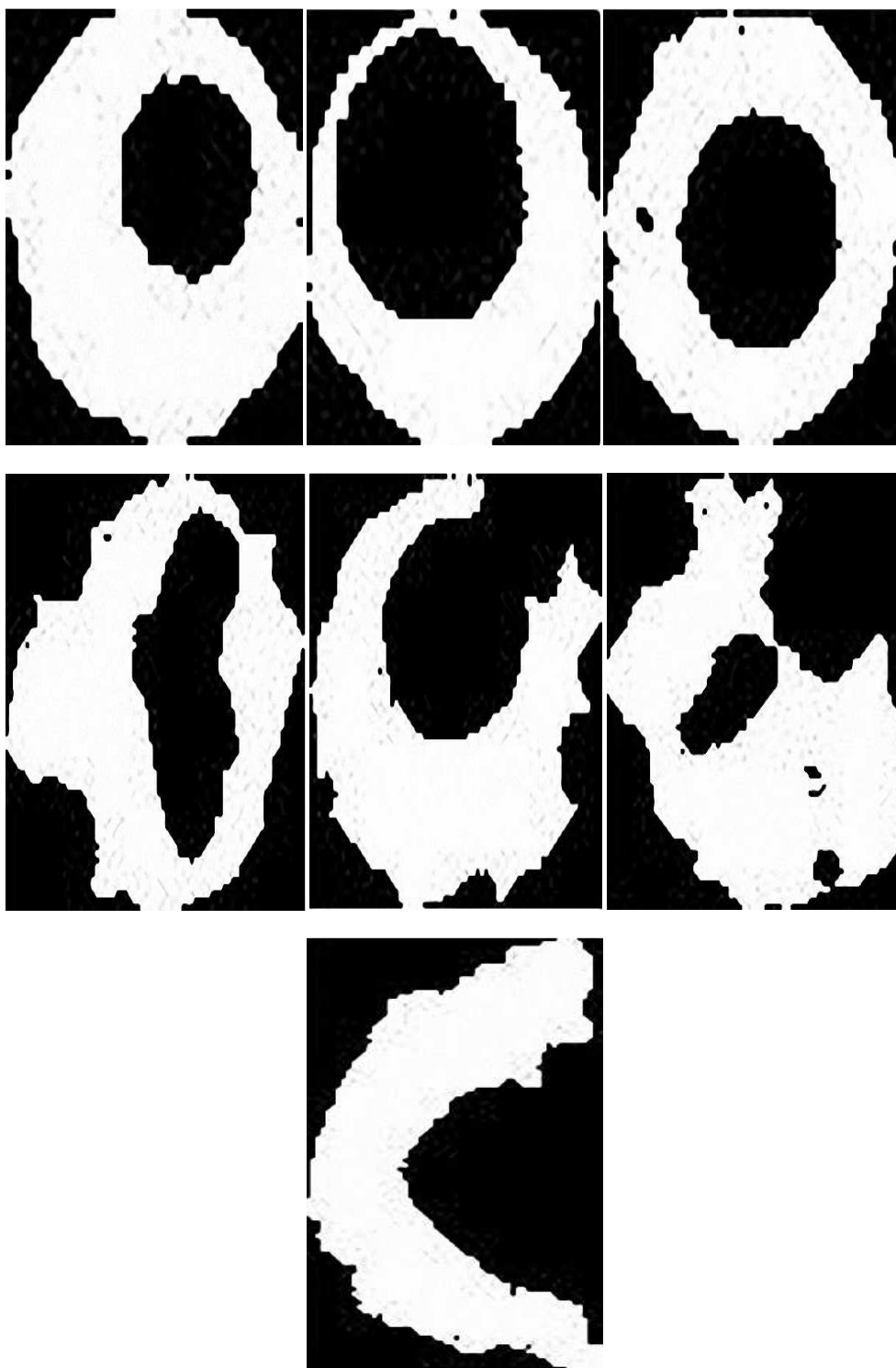
شکل الف-۱: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی بین دانه‌ای



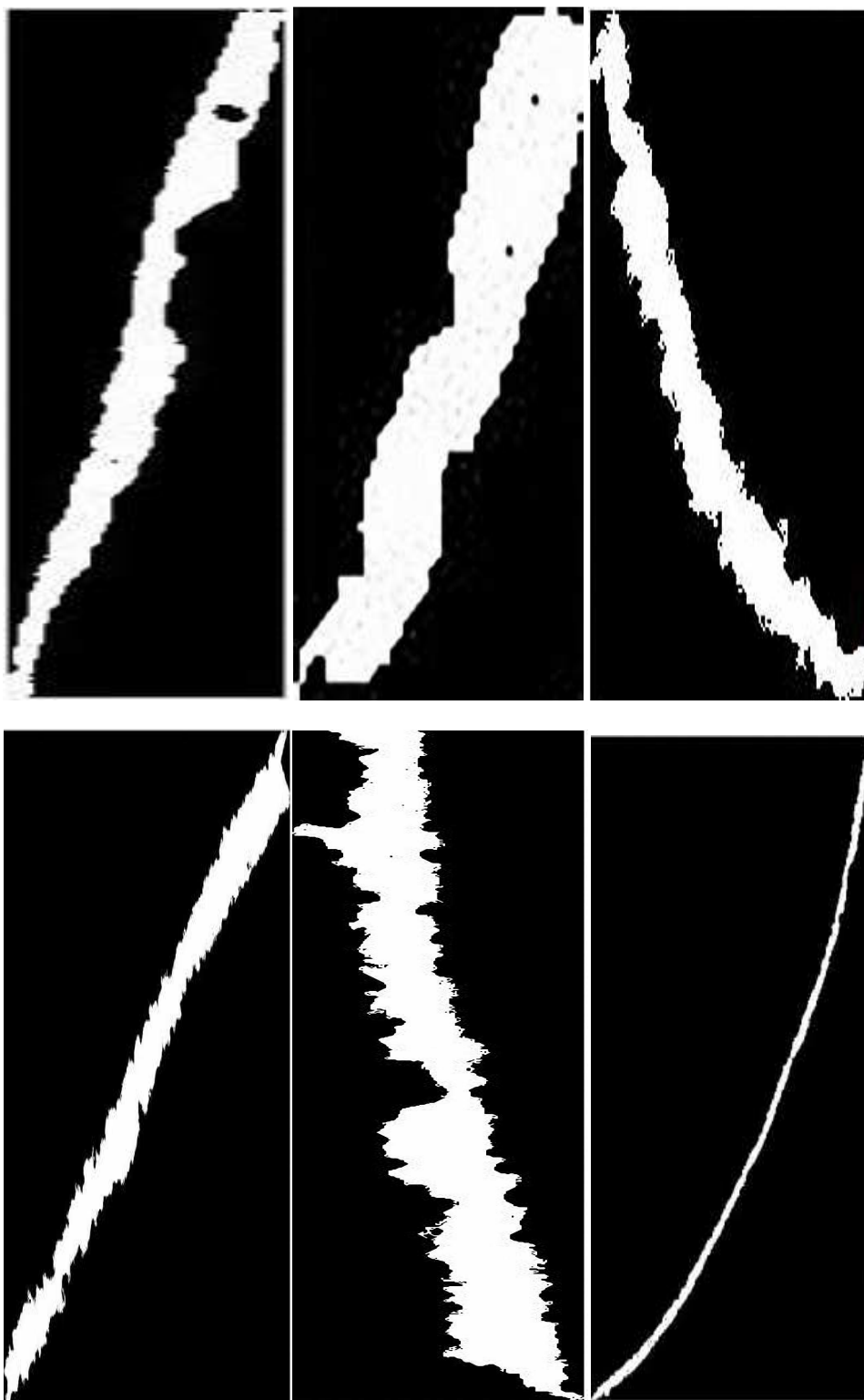
شکل الف-۲: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی درون دانه‌ای



شکل الف-۳: شکل‌های شماتیکی از انواع فضاهای خالی قالبی کامل



شکل الف-۴: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهاى خالی قالبی ناقص



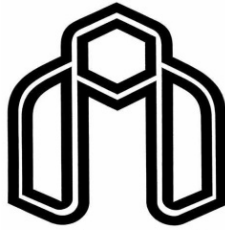
شکل الف-۵: شکلهای شماتیکی از انواع فضاهای خالی بیوملدیک

biomoldics, complete moldics, intergranulars, intergranular and incomplete moldics with accuracy of 100%, 92%, 82%, 75% and 68%, which shows the high accuracy of algorithm.

Key words: *Hydrocarbon reservoir, Intelligent systems, Committee machine, Image analysis, Pattern recognition*

Abstract

Reservoir characterizations play a critical role in appraising the economic success of reservoir management and development of hydrocarbon reservoir. Porosity and permeability are the most important parameters of the petroleum reservoir, which can be used as inputs to construct petrophysical models of the reservoir rock. These parameters can be measured at the laboratory utilizing helium and air injection analysis, respectively. Of course, these methods are time-consuming and expensive for huge amount of problems, which exist in petroleum industries. In recent years, developments of hardware and software programming of computers prove the capabilities of intelligent systems and image analysis. The current study comprises two major parts: Firstly, the petrophysical parameters including porosity and permeability were predicted from petrographic data utilizing intelligent systems. Twelve petrographic parameters were extracted from thin section images and three intelligent systems including neural network, fuzzy logic and neuro-fuzzy were used to predict porosity and permeability. The MSE of the NN, FL and NF methods for prediction of porosity in the test data are 0.0256, 0.0214 and 0.0226, while the MSE of the NN, FL and NF methods for prediction of permeability are 0.0139, 0.0061 and 0.0085. The concept of committee machine is used to improve the accuracy of prediction and the MSEs of CMISs for porosity and permeability are 0.0165 and 0.0056, respectively, which correspond to the R^2 values of 0.76 and 0.942, respectively. Comparing the results of this study with core data, shows that intelligent systems were successfully applied in porosity and permeability prediction. Among the intelligent systems, the committee machine with intelligent systems obtained the most accurate results. In the second part of this study, the capabilities of image analysis and pattern recognition were used to develop an automate algorithm for pore space separation. The results show that the proposed algorithm has been successful in separating the visual pore spaces in thin section images. The accuracy of algorithm is tested in two ways. Firstly the output is considered the area of each type of pore spaces and secondly, type of pore spaces is considered as output. The results show that the quadratic discriminant function separates the intergranular and biomoldic porosity with MSE of 9% and 1%, respectively while the linear discriminant function separates the complete moldic and incomplete moldic porosity with MSE of 6% and 9%. Finally, the mahalanobis discriminant function separates the intergranular pore spaces with MSE of 10%. In the second way, the algorithm is classified the



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

Master of science in petroleum Exploration Engineering

**Reservoir Porosity Prediction from Image Analysis of Thin Section
and Comparison the Results with Other Petrophysical Methods**

Javad Ghiasi Freez

Supervisors:

Dr M. Ziaii

Dr A.Kadkhodaie

Advisors:

Mr. J. Honarmand

January 2011