Archive of SID

طراحی یک سامانه خبره جهت مشخص ساختن پارامترهای لازم در ساخت یک شبکه روزنه‌ای به کمک اطلاعات موجود آزمایشگاهی

سعید جمشیدی، رامین بزرگمهری بوذرجمهری، سید محمود رضا پیشوایی*+
تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

چکیده: هدف در این پژوهش، طراحی یک سامانه خبره‌ای است که با توجه به اطلاعات موجود آزمایشگاهی که به‌نسبت به‌سادگی قابل اندازه‌گیری هستند، بتواند پارامترهای مورد نیاز در ساخت یک مدل از محیط متخلخل سنگی به کمک شبکه روزنه‌ای را به کاربر پیشنهاد کند. اندازه گیری آزمایشگاهی این پارامترها بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر و حتی در پاره‌ای از موردها غیر ممکن است. ولی افراد متخصص به صورت تجربی می‌توانند با توجه به شرایط موجود یک مقدار اولیه مناسب را برای این پارامترها ارایه دهند. در این پژوهش سعی شده است که این تخصص در قالب یک سامانه‌ی خبره/کارشناس جهت استفاده افراد غیر متخصص ارایه شود. سامانه‌های خبره نرم افزارهایی هستند که با جمع آوری، پردازش و تحلیل داده‌ها و جستجو در یک بستر دانش، قادر به نتیجه گیری و حل مساله در موردهایی هستند که به طور معمول بر اساس دانش و تخصص یک فرد خبره آن رشته تخصصی خاص قابل حل هستند.

واژه‌های کلیدی: جریان سیال در محیط متخلخل، شبیه سازی به کمک شبکه روزنه‌ای، سامانه‌ی خبره، هوش مصنوعی.

KEY WORDS: *Fluid Flow through Porous Media, Pore Network Modeling, Expert System, Artificial Intelligence.*

مقدمه

شبیه سازی حرکت سیالات متفاوت در یک محیط متخلخل(۱) از اهمیت فراوان در صنایع متفاوت نظیر تصفیه آب، واکنش‌های شیمیایی در کاتالیست‌ها، حرکت نفت و ازدیاد برداشت پیشرفته، پخش آلودگی‌های متفاوت در زمین و ... برخوردار بوده [۱] و از سوی دیگر یکی از موردهای پیچیده در محاسبات مهندسی است. با توجه به تنوع نیروهای موجود در محیط متخلخل میکروسکوپی که به علت تماس همزمان سیالات متفاوت با دیواره محیط متخلخل پیش می‌آید و همچنین با توجه به مقیاس این محیط در مقابل کل سامانه (به‌طور معمول قطر حفره‌ها در حد چند میکرون است)، استفاده از معادله‌های رایج در مکانیک سیالات نظیر معادله‌ی ناویر-استوکس را برای شبیه‌سازی این نوع جریان بسیار مشکل می‌سازد. به‌عنوان نمونه، برای شبکه‌بندی یک مکعب

*عهده دار مکاتبات
+E-mail: pishvaie@sharif.edu

(۱) Fluid Flow through porous media

www.SID.ir

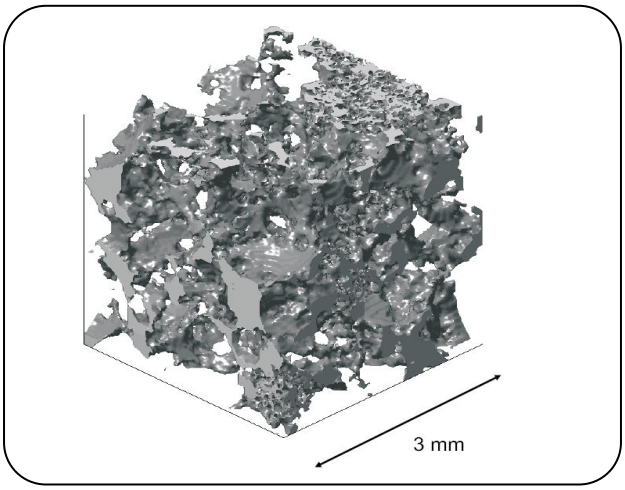
Archive of SID

ضلع ۱ سانتی متر با سلول‌هایی به ضلع ۱۰ میکرون به ۱ میلیارد گره/سلول نیاز است که انجام محاسبات برای این سامانه را غیرممکن می‌سازد. درضمن برای شبیه سازی جریان به این شیوه نیاز به تهیه یک تصویر سه بعدی از حفره‌های موجود در سنگ است که بسیار دشوار است [۲]. یک نمونه از این نوع تصویرها در شکل ۱ نمایش داده شده است.

استفاده از روش شبیه سازی جریان سیال با استفاده از شبکه روزنه‌ای[۱] ، شیوه‌ای به نسبت جدید برای انجام این نوع محاسبات است. در این روش محیط متخلخل با شبکه‌ای از حفره‌ها که به وسیله‌ی لوله‌های مویین به یکدیگر متصل شده‌اند، شبیه سازی می‌شود [۳ و ۴]. این روش برای نخستین بار در سال ۱۹۵۶ میلادی توسط Fatt معرفی شد [۷-۵]. در این سامانه‌ها حفره‌های بیشتر بر تخلخل سامانه و لوله‌های مویین بر نفوذ پذیری سامانه اثر می‌گذارند. این سامانه باید در نهایت بتواند عملکرد محیط متخلخل را حین جریان دوفازی [۸] و سه فازی سیال [۹] شبیه‌سازی کند. برای رسیدن به این هدف باید پارامترهای قابل تنظیم سامانه طوری تنظیم شوند که نتیجه‌های خروجی شبکه حفره‌ها به بهترین وجه با داده‌های آزمایشگاهی نفوذ پذیری نسبی محیط متخلخل مورد نظر همخوانی داشته باشند [۱۰].

پارامترهای قابل تنظیم این محیط عبارت‌اند از توزیع قطر حفره‌ها و لوله‌های مویین، شکل هندسی حفره‌ها، شکل هندسی سطح مقطع لوله‌های مویین، تعداد لوله‌های مویین متصل به هر حفره[۲] که با N نمایش داده می‌شود و حداکثر نسبت قطر حفره‌ها به قطر لوله‌های مویین متصل به آن‌ها[۳] که با AR نمایش داده می‌شود. پارامترهایی که باید به وسیله‌ی سامانه‌ی شبیه‌سازی شوند عبارت‌اند از: نفوذپذیری محیط متخلخل (K)، تخلخل سنگ، ترشوندگی[۴] لوله‌های مویین، زاویه تماس[۵] دو سیال در مجاورت دیواره محیط متخلخل (θ) و درصد اشباع غیرقابل کاهش[۶] دوفاز (درمورد سامانه‌های آب و نفت: S_{wr} و S_{or}).

برای بهینه‌سازی یک شبکه حفره‌ها لازم است ابتدا یک حدس اولیه یا بازه تغییرهای مناسب برای پارامترهای قابل تنظیم به دست آورد تا بار انجام محاسبه‌ها حین بهینه‌سازی کاهش یابد. این مقدارها با توجه به اطلاعات آزمایشگاهی موجود، قابل تخمین



شکل ۱ـ نمونه تصویر سه بعدی تهیه شده از یک محیط متخلخل [۳].

هستند. در این پژوهش جهت انجام این کار از یک سامانه‌ی خبره[۷] استفاده شده است که با جمع آوری اطلاعات موجود آزمایشگاهی از کاربر، بهترین پارامترها را برای طراحی سامانه به وی پیشنهاد می‌کند. در ادامه پس از بررسی اجمالی سامانه‌ی خبره در مورد سامانه به کار رفته در این پژوهش توضیح بیشتری ارایه خواهد شد.

سامانه‌های خبره

هوش مصنوعی[۸] شاخه ای از علم کامپیوتر است که هدف آن تبدیل کامپیوتر به دستگاهی است که بتواند عملکرد هوش انسان را شبیه‌سازی کند. سامانه‌های خبره زیر مجموعه‌ای از هوش مصنوعی محسوب می‌شوند که هدف آنها تقلید روش تفکر، استنتاج و آموختن انسان به وسیله‌ی ماشین است. این سامانه‌ها، نرم افزارهایی هستند که برای مدل‌سازی توانایی حل یک مسأله توسط اشخاص کارشناس طراحی می‌شوند و می‌توانند به عنوان جایگزین آنها یا به عنوان ابزار کمکی برای انجام سریع‌تر کار توسط خود متخصصین به کار گرفته شوند.

روش کار این نوع سامانه مدل‌سازی دو عامل اصلی مورد نیاز جهت تصمیم گیری یعنی دانش و قدرت استدلال کارشناس است. هریک از این دو خصوصیت نیاز به یک معادل در برنامه کامپیوتری

(۱) Pore network modeling
(۲) Coordination number
(۳) Aspect ratio
(۴) Wettability
(۵) Contact Angle
(۶) Irreducible saturation
(۷) Expert system
(۸) artificial intelligence

www.SID.ir

Archive of SID

کامپیوتری دارند. بستر دانش[۱] وظیفه ذخیره، بازیابی و به‌روزرسانی اطلاعات و موتور استنتاج[۲] وظیفه استدلال را بر عهده دارند.

– بستر دانش شامل دانش شخص کارشناس در زمینه موضوع مورد نظر است. این بستر حاوی قوانین، مفاهیم، روابط و حقایق لازم برای حل مسأله است.

– موتور استنتاج در واقع یک پردازنده دانش است که اطلاعات موجود یک مسأله خاص را با دانش ذخیره شده در بستر دانش ترکیب کرده و بدین وسیله نتیجه‌ها و توصیه‌هایی استخراج می‌کند [۱۱].

علت استفاده از سامانه‌های خبره

این سامانه‌ها نسبت به یک شخص کارشناس در همان زمینه از نظر دسترسی، کارآیی، سرعت، هزینه، دوام و پایداری برتری دارند. ولی از سوی دیگر نباید از این سامانه‌های انتظاری غیر واقعی داشت. در واقع پیش از استفاده باید قابلیت‌های سامانه را به خوبی شناخت و نقاط ضعف و قوت آن را مشخص کرد.

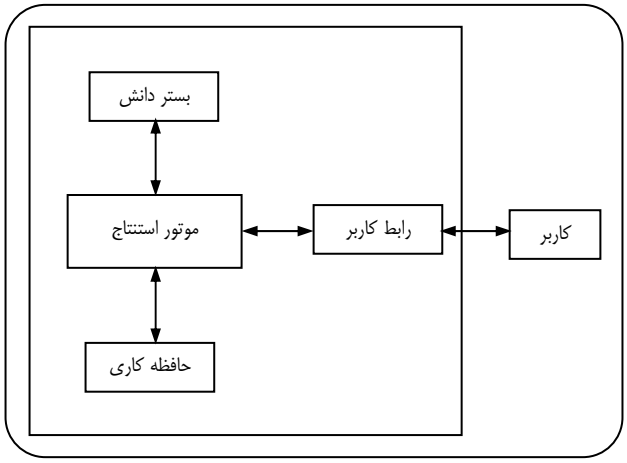
سه مورد از مهم‌ترین ویژگی‌های سامانه‌های خبره که زمینه استفاده از این نوع نرم‌افزارها را بسیار گسترده می‌سازد عبارت‌اند از:

– جدا بودن بستر دانش از کنترل برنامه

همان طور که در پیش شرح داده شد بستر دانش و موتور استنتاج در یک سامانه‌ی خبره، دو بخش جداگانه هستند. این ویژگی مهم‌ترین وجه تمایز این نوع برنامه‌ها از برنامه‌های سنتی است. این ویژگی کار اصلاح و توسعه سامانه را آسان‌تر می‌کند و می‌توان به سادگی دانش موجود در بستر دانش نرم افزار را تغییر داد یا اطلاعات جدید را به آن اضافه کرد. همچنین در صورت نیاز به ایجاد تغییر در نحوه استدلال برنامه می‌توان فقط موتور استنتاج را بدون نیاز به ویرایش بستر دانش تغییر داد.

– امکان تقسیم مسایل بزرگ به مسایل کوچک‌تر

به طور معمول افراد کارشناس در یک زمینه خاص دانشی عمیق دارند ولی با زمینه‌های دیگر آشنایی چندانی ندارند. این سامانه‌ها می‌توانند مسائل بزرگ را به مسائل کوچکتر بشکنند و پس از تفسیر جداگانه هر مسأله‌ی کوچک با دانش تخصصی موجود در همان زمینه، در نهایت نتیجه‌ها را دوباره با یکدیگر ترکیب نموده و پاسخی برای مسأله اولیه ارائه دهند.



شکل ۲ـ ساختار حل مسأله در سامانه‌ی خبره.

– امکان کار با اطلاعات غیر دقیق

در صورت دقیق نبودن اطلاعات ورودی و یا حتی دانش موجود در بستر دانش، باز هم می‌توان از این سامانه‌ها استفاده کرد. برای حل این مشکل می‌توان پارامتر درصد قطعیت برای هر قانون موجود در بستر دانش سامانه و همچنین اطلاعات ورودی تعریف نموده و در نهایت نتیجه‌ها کار را نیز به همین صورت با یک درصد قطعیت گزارش کرد.

فرایند تجزیه و تحلیل در سامانه‌های خبره

فرایندی که سامانه‌های خبره از آن جهت تجزیه و تحلیل مسایل استفاده می‌کنند در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این نمودار بلوک بستر دانش حاوی اطلاعات موجود در ارتباط با موضوع مورد نظر است و هدف این بخش مدل‌سازی حافظه شخص کارشناس است.

بلوک حافظه کاری[۳] برای ذخیره حقایق مسأله پیش‌بینی شده است. این حافظه یک حافظه موقتی است و اطلاعات و حقایق به دست آمده در حین فرایند استنتاج در کنار اطلاعات اولیه دریافت شده از کاربر در آن ذخیره می‌شوند. موتور استنتاج نیز قدرت استدلال شخص کارشناس را مدل می‌کند و حقایق ذخیره شده در حافظه کاری را با دانش موضوعی موجود در بستر دانش مقایسه می‌کند تا بتواند به نتیجه‌هایی در باره مسأله مورد نظر برسد. رابط کاربر نیز وظیفه ایجاد ارتباط بین کاربر و سامانه‌ی خبره را بر عهده دارد [۱۲].

(۱) Knowledge-base

(۲) Inference engine

(۳) Working memory

www.SID.ir

Archive of SID

ساختار بستر دانش سامانه

سامانه‌ی خبره به کار رفته در این پژوهش، از یک پایگاه داده جهت ذخیره قوانین و همچنین واقعیات سامانه استفاده می‌کند. سپس با جستجو در این پایگاه داده و نتیجه‌گیری از آن بر اساس قواعد و روش‌های استنتاج، نتیجه‌های حاصل به کاربر ارایه می‌شوند [۱۳]. اسامی جدول‌های به کار رفته در این پایگاه داده در جدول ۱ آورده شده است.

این پایگاه داده در کلیه سامانه‌های مدیریت پایگاه داده که از SQL[۱] [۱۴] پشتیبانی می کنند قابل پیاده‌سازی است. درضمن این پایگاه مستقل از نوع دانش موجود در بستر دانش طراحی شده است و به‌کمک آن می‌توان بستر دانش مورد نیاز برای هر نوع سامانه‌ی خبره را ایجاد کرد.

قوانین حاکم بر طراحی شبکه حفره‌ها با توجه به اطلاعات آزمایشگاهی در یک پایگاه داده وارد می‌شوند. این پایگاه داده نقش همان بستر دانش سامانه‌ی خبره را ایفا می‌کند. این اطلاعات به وسیله‌ی یک واسط گرافیکی[۲] جهب ارتباط با کاربر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت واسط گرافیکی ارتباط بین کاربر و موتور استنتاج را برقرار می کند.

جهت ایجاد رابط گرافیکی مورد نیاز جهت ارتباط با کاربر می‌توان از هر زبان برنامه نویسی که قابلیت اتصال به پایگاههای داده را داشته باشد استفاده کرد. در این پژوهش این ارتباط از راه زبان C++ و در محیط Borland C++ Builder برقرار شده است. با توجه به ساختار به طور کامل مجزای بانک اطلاعاتی و رابط گرافیکی، پایگاه داده این سامانه قابل ویرایش و اضافه کردن قوانین جدید و اصلاح و تقویت سامانه خبره است. نمونه قوانین به کار رفته در بستر دانش این سامانه در جدول ۲ آورده شده‌اند. هر قانون از دو قسمت مقدم[۳] و تالی[۴] تشکیل شده است. این قوانین بر اساس واقعیت‌های علمی و تجربی کارشناس مسلط به مفاهیم ساخت شبکه های روزنه ای به‌دست می‌آیند و میزان درستی آن‌ها بستگی به‌میزان اطمینان شخص کارشناس از احتمال وقوع قانون دارد. به‌همین دلیل در کنار هر قانون پارامتری به نام میزان قطعیت نیز در بستر دانش نرم افزار ذخیره می‌شود که بعداً در موتور استنتاج به همراه در صد قطعیت حقایق ورودی جهت استدلال و نتیجه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه قوانین ارایه شده در بستر دانش سامانه به طور مختصر شرح داده می‌شود.

جدول ۱ـ اسامی جدول‌های به کار رفته در بستر دانش.

RULES
PREMISES
PREMISEVALUES
RULEPREMISES
CONSEQUENCES
RULECONSEQUENCES
AVAILABLEPREMISES
RESULTS

سه قانون نخست با توجه به مقدار عددی زاویه تماس دو سیال در مجاورت دیواره محیط متخلخل، نوع سنگ را از نظر ترشوندگی مشخص می سازند. قوانین چهارم و پنجم با توجه به ترشوندگی سنگ و مقدار تخلخل آن مقدار اشباع آب و نفت باقیمانده سامانه (S_{wr} و S_{or}) را تخمین می‌زنند. مشخص بودن مقدارهای تقریبی این پارامترها در تعیین شکل هندسی سطح مقطع حفره‌ها و لوله های مویین کمک می کند. ازآنجاکه فاز تر (wet) همواره به‌دیواره محیط متخلخل می‌چسبد و فاز غیر تر (non-wet) در وسط قرار می گیرد، شکل هندسی و به ویژه تعداد گوشه‌های موجود در حفره‌ها و لوله‌های مویین در میزان آب و نفت باقیمانده در سامانه پس از انجام فرایندهای حرکت همزمان دوفازی سیالات تأثیر مستقیم دارد که این اثر در قانون‌های ۱۰ تا ۱۲ دیده شده است.

تعداد لوله های مویین متصل به هر حفره (عدد کوئوردینانسی) به طور مستقیم بر روی نفوذپذیری مطلق سامانه اثر می گذارد. همان طور که قوانین ۶ تا ۹ نشان می دهند افزایش این مقدار منجر به ایجاد مسیرهای بیشتر در شبکه شده و در نتیجه سیال آسان تر می تواند در محیط حرکت کند. نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین متصل به آن‌ها هم در فرایند snap-off اثر مهمی دارد. طی این فرآیند فاز non-wet در داخل یک حفره بزرگ به دام می افتد و فاز wet از اطراف آن حرکت می‌کند. هرچه نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین بیشتر باشد احتمال بروز این پدیده بیشتر است. قوانین ۱۳ تا ۱۵ به این منظور در بستر دانش سامانه قرار گرفته است.

(۱) Structured Query Language
(۲) Graphical User Interface
(۳) Premise
(۴) Consequence

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ـ نمونه قوانین به کار رفته در بستر دانش سامانه‌ی خبره.

شماره قانون	مقدم	تالی
۱	زاویه تماس سیال و سطح کمتر از ۳۰ درجه	آب ترکننده سنگ است
۲	زاویه تماس سیال و سطح بیشتر از ۱۵۰ درجه	نفت ترکننده سنگ است
۳	زاویه تماس سیال و سطح بین ۳۰ تا ۱۵۰ درجه	قسمت‌های متفاوت سنگ ممکن است با آب یا نفت تر شوند
۴	آب ترکننده سنگ و تخلخل کم تر از ۵ درصد	$S_{or} < ۵\%$ و $S_{wr} > ۲۵\%$
۵	نفت ترکننده سنگ و تخلخل کم تر از ۵ درصد	$S_{wr} < ۵\%$ و $S_{or} > ۲۵\%$
۶	نفوذپذیری زیاد (بیش از ۱۰۰ میلی دارسی)	از عدد کوئوردینانسی بیشتر از ۴ استفاده شود
۷	نفوذپذیری متوسط (بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی دارسی)	عدد کوئوردینانسی برابر با ۴ در نظر گرفته شود
۸	نفوذپذیری کم (بین ۱ تا ۱۰ میلی دارسی)	عدد کوئوردینانسی برابر با ۳ در نظر گرفته شود
۹	نفوذپذیری خیلی کم (کمتر از ۱ میلی دارسی)	عدد کوئوردینانسی برابر با ۲ در نظر گرفته شود
۱۰	$S_{wr} < ۵\%$	از حفره‌های کروی و لوله های مویین با سطح مقطع دایره ای استفاده شود
۱۱	$۵ < S_{wr} < ۲۵\%$	از حفره‌های کروی و مکعبی و لوله های مویین با سطح مقطع مستطیلی استفاده شود
۱۲	$S_{wr} > ۲۵\%$	از حفره‌های مکعبی و لوله های مویین با سطح مقطع مستطیلی استفاده شود
۱۳	$S_{or} < ۵\%$	نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین کوچک انتخاب شود
۱۴	$۵ < S_{or} < ۲۵\%$	نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین متوسط انتخاب شود
۱۵	$S_{or} > ۲۵\%$	نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین بزرگ انتخاب شود

نتیجه‌ها

از این سامانه جهت تخمین پارامترهای مورد نیاز در طراحی شبکه روزنه‌ای برای دو نمونه سنگ مخازن نفتی ایران استفاده شد. نمونه نخست یک سنگ از جنس ماسه سنگی و نمونه دوم یک نمونه سنگ کربناته است. اطلاعات اولیه موجود در مورد سنگ نخست در جدول ۳ و اطلاعات اولیه موجود در مورد سنگ دوم در جدول ۴ ارایه شده است. این اطلاعات کیفی بسیار کلی را به آسانی از منابعی نظیر اطلاعات زمین شناسی، پتروفیزیک، چاه آزمایی، آنالیز مغزه و ... به دست آورد و از آنجا که همواره این اطلاعات با درصدی از عدم قطعیت همراه هستند، پارامتر قطعیت نیز به صورت مقداری بین ۰ و ۱ برای آنها گزارش می‌شود.

همان طور که مشاهده می‌شود اطلاعات ورودی بسیار کلی و همراه با عدم قطعیت هستند. ولی مهم‌ترین خاصیت آنها سهولت جمع آوری این اطلاعات است. نتیجه‌های حاصل از این کار برای نمونه نخست در شکل ۳ و برای نمونه دوم در شکل ۴ ارایه شده‌اند.

در این شکل‌ها پیشنهاد ارایه شده به وسیله‌ی نرم افزار به همراه میزان قطعیت آن و توضیح مختصری در مورد مفهوم کلی این پیشنهاد آمده است. نتیجه‌های به دست آمده برای نمونه های ماسه سنگی و کربناته به‌ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ تفسیر شده‌اند.

همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد برای ساخت شبکه این نمونه باید از عدد کوئوردینانسی برابر با ۴ استفاده کرد که با توجه به نفوذپذیری نسبی متوسط این نمونه، پیشنهاد قابل قبولی است. همچنین به دلیل متوسط بودن میزان اشباع آب باقیمانده در سنگ، بنا بر پیشنهاد سامانه‌ی خبره باید از حفره‌ها و لوله های مویین با سطح مقطع مستطیلی استفاده شود تا این میزان آب باقیمانده در گوشه‌ها قرار گیرد و از آنجاکه میزان اشباع نفت باقیمانده در سنگ نیز زیاد گزارش شده است از کاربر خواسته شده که نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین را بزرگ انتخاب کند تا پدیده snap-off به ایجاد این حالت در شبکه کمک کند.

در جدول ۶ نیز ابتدا با توجه به نفوذپذیری نسبی خیلی کم این نمونه پیشنهاد استفاده از عدد کوئوردینانسی برابر با ۲ ارایه شده

www.SID.ir

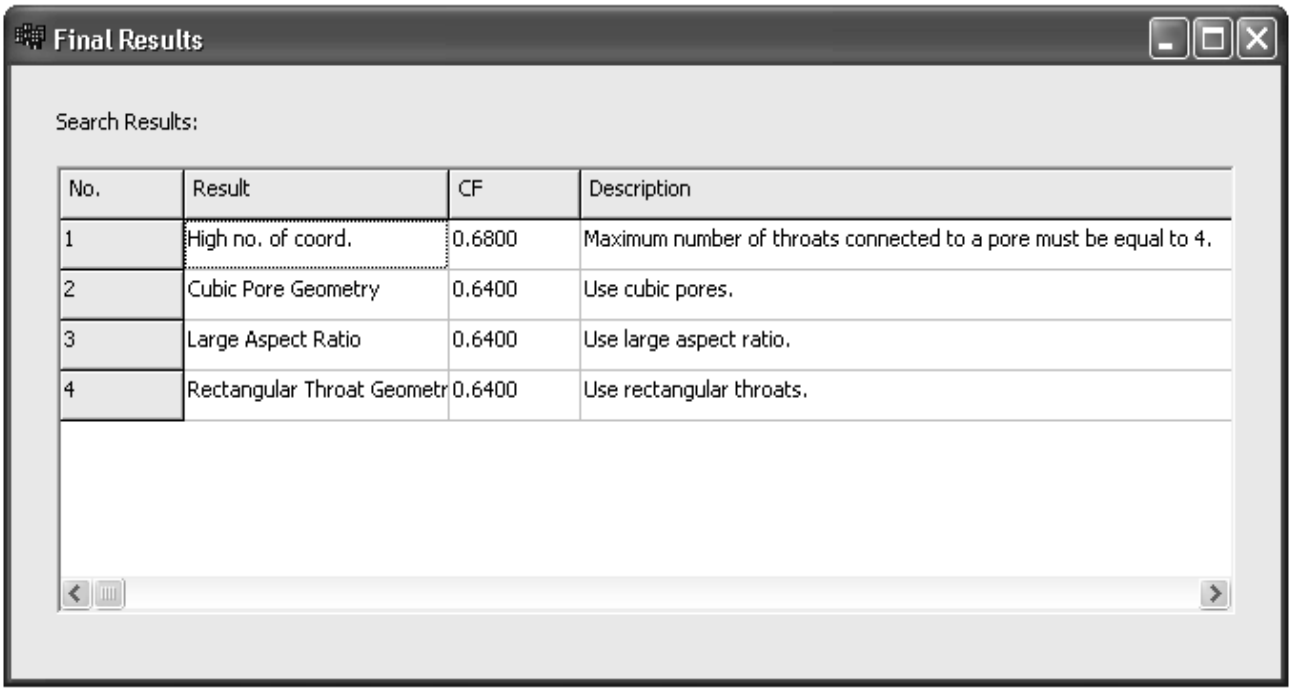
Archive of SID

جدول ۳ـ اطلاعات کیفی آزمایشگاهی موجود برای نمونه سنگ یکی از مخازن ماسه سنگی ایران.

شماره	حقایق (اطلاعات آزمایشگاهی)	میزان قطعیت
۱	آب ترکننده سنگ است	۰/۹۵
۲	تخلخل متوسط	۰/۹
۳	نفوذپذیری متوسط	۰/۸۵
۴	درصد اشباع آب باقیمانده متوسط	۰/۸
۵	درصد اشباع نفت باقیمانده زیاد	۰/۸

جدول ۴ـ اطلاعات کیفی آزمایشگاهی موجود برای نمونه سنگ یکی از مخازن کربناته ایران.

شماره	حقایق (اطلاعات آزمایشگاهی)	میزان قطعیت
۱	نفت ترکننده سنگ است	۰/۹
۲	تخلخل کم	۰/۹۵
۳	نفوذپذیری خیلی کم	۰/۹
۴	درصد اشباع نفت باقیمانده زیاد	۰/۸



شکل ۳ـ نمونه خروجی سامانه‌ی خبره در مورد نمونه سنگ یکی از مخازن ماسه سنگی ایران.

و همانند نمونه پیشی، به دلیل زیاد بودن میزان آب اشباع باقیمانده در سنگ نسبت قطر حفره‌ها به قطر لوله‌های مویین بزرگ مد نظر قرار گرفته است. همچنین سامانه‌ی خبره پیشنهاد استفاده از حفره‌های کروی و لوله‌های مویین با سطح مقطع دایره‌ای را مطرح کرده که با توجه به تخلخل کم سنگ و خاصیت ترشوندگی آن با نفت (و در نتیجه بالا بودن میزان اشباع نفت باقیمانده در سنگ) به طور کامل درست بوده و با توجه به ترکیبی بودن این قانون، خود نشان دهنده قدرت موتور استنتاج سامانه در پردازش اطلاعات پیچیده است.

در نتیجه نهایی که به وسیله‌ی سامانه‌ی خبره اعلام می شود، برای هر نتیجه یک میزان قطعیت مشخص می‌شود که با توجه به میزان قطعیت داده های ورودی و قوانین موجود در بستر دانش نرم افزار محاسبه می شود. هر چه اطلاعات ورودی مطمئن تر باشند و قوانین موجود در بستر دانش هم با قطعیت بیشتری احتمال وقوع داشته باشند، نتیجه میزان قطعیت بالاتری خواهد داشت. همان‌طور که در جدول‌های ۵ و۶ مشاهده می شود، نتیجه‌های خروجی بر اساس میزان قطعیت آنها مرتب شده و گزارش می شوند و در نهایت کاربر می تواند با توجه به میزان قطعیت هر پیشنهاد در مورد استفاده یا عدم استفاده از آن تصمیم‌گیری کند.

www.SID.ir

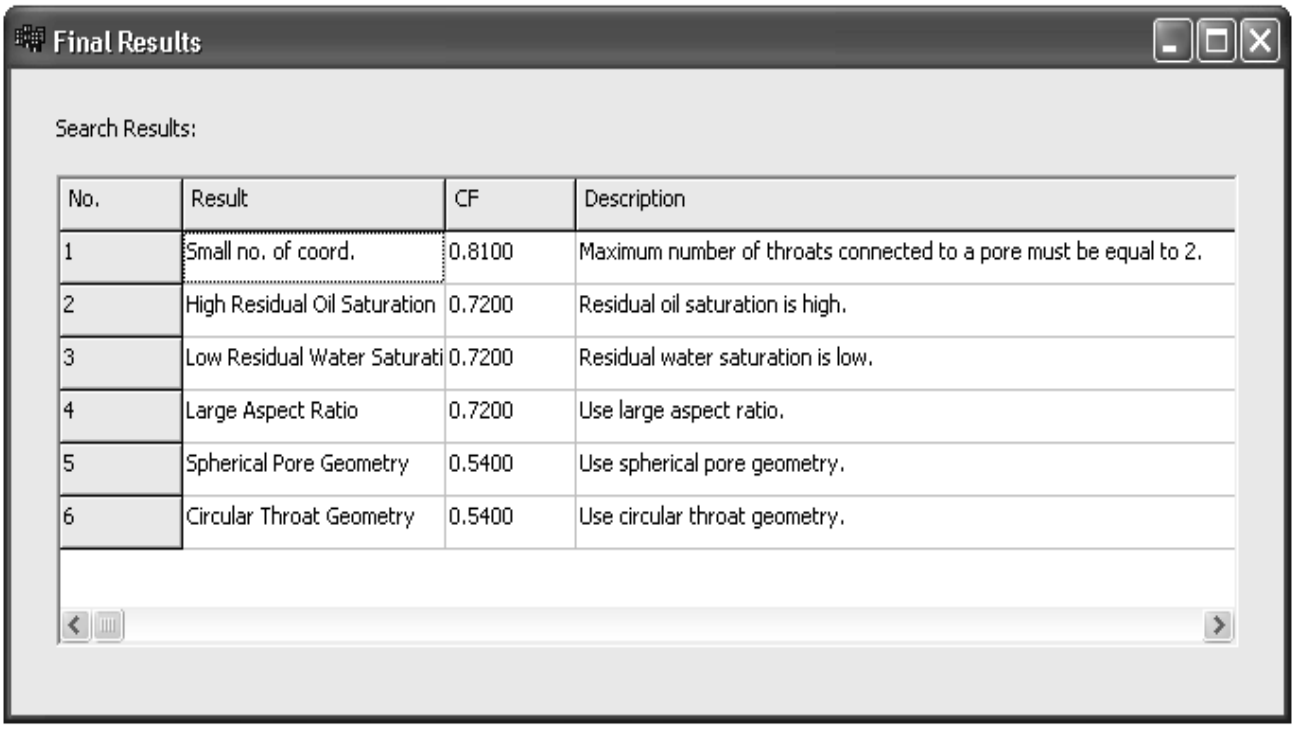
Archive of SID

جدول ۵ـ تفسیر خروجی سامانه‌ی خبره برای نمونه ماسه سنگی.

شماره	نتیجه	میزان قطعیت
۱	از عدد کوئوردینانسی برابر با ۴ استفاده شود	۰٫۶۸
۲	از حفره‌های مکعبی استفاده شود	۰٫۶۴
۳	نسبت قطر حفره ها به قطر لوله های مویین بزرگ انتخاب شود	۰٫۶۴
۴	از لوله های مویین با سطح مقطع مستطیلی استفاده شود	۰٫۶۴

جدول ۶ـ تفسیر خروجی سامانه‌ی خبره برای نمونه کربناته.

شماره	نتیجه	میزان قطعیت
۱	عدد کوئوردینانسی برابر با ۲ در نظر گرفته شود	۰.۸۱
۲	نسبت قطر حفره ها به قطر لوله‌های مویین بزرگ انتخاب شود	۰.۷۲
۳	از حفرات کروی استفاده شود	۰.۵۴
۴	از لوله های مویین با سطح مقطع دایره‌ای استفاده شود	۰.۵۴



شکل ۴ـ نمونه خروجی سامانه‌ی خبره در مورد نمونه سنگ یکی از مخازن کربناته ایران.

سامانه‌های خبره تنها براساس دانش موجود و الگوریتم نتیجه گیری به کار رفته در موتور استنتاج خود عمل می کنند. بنابراین، با فرض درستی اطلاعات ورودی، تنها در صورتی‌که دانش موجود در بستر دانش نرم افزار ناقص باشد یا طراحی موتور استنتاج درست نباشد نتیجه‌های خروجی دچار مشکل می‌شوند. نتیجه‌های به دست آمده برای این دو نمونه بسیار مناسب برای آغاز ساخت شبکه روزنه‌ای برای این دو نمونه سنگ است و همان طور که مشاهده می‌شود در دو حالت توصیه هایی به طور کامل متفاوت ولی از نظر فیزیکی بسیار نزدیک به واقعیت سنگ ارایه شده است و این خود نشان دهنده غنای بستر دانش نرم این سامانه و قدرت موتور استنتاج آن است.

نتیجه گیری

در این پژوهش از یک سامانه‌ی خبره جهت ارایه تخمین مناسب برای پارامترهای مورد نیاز در شبیه‌سازی محیط متخلخل به کمک شبکه روزنه‌ای استفاده شد. بستر دانش مورد نیاز به وسیله‌ی مدیریت پایگاه داده با قابلیت پشتیبانی SQL و موتور استنتاج آن تحت زبان C++ پیاده سازی شدند. بستر دانش این

www.SID.ir

Archive of SID

سامانه‌ی قابل ویرایش و ارتقا بوده و با افزودن پارامترها و قوانین بیشتر می‌توان سامانه را تکمیل کرده و کلیه پارامترهای مورد نیاز در طراحی این گونه سامانه‌ها را پوشش داد. در نهایت این سامانه برای تخمین پارامترهای دو نمونه واقعی سنگ مخزن کربناته و ماسه سنگی به کار گرفته شد و در هر دو مورد تنها با ورود اطلاعات کیفی و بسیار کلی، پیشنهادهایی به طور کامل کاربردی و منطبق با واقعیت سنگ مخزن ارایه کرد.

تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱/۲۴

مراجع

[1] Love, P. J., Maillet, J. B., and Coveney, P. V., Three-Dimensional Hydrodynamic Lattice-Gas Simulations of Binary Immiscible and Ternary Amphiphilic Flow Through Porous Media, *Physical Review E*, **64**, p. 061302 (2001).

[2] S. Bakke and P. E. Øren, 3-D Pore-Scale Modeling of Sandstones and Flow Simulations in the Pore Networks, *SPE Journal*, **2**(2), p. 136 (1997).

[3] P. E. Øren and S. Bakke, Process Based Reconstruction of Sandstones and Prediction of Transport Properties, *Transport in Porous Media*, **46**(2-3), p. 311 (2002).

[4] Bryant, S., Blunt, M.J., Prediction of Relative Permeability in Simple Porous Media, *Physical Review A,* **46**, p. 2004 (1992).

[5] Fatt I., The Network Model of Porous Media. I. Capillary Pressure Characteristics, *Trans. AZME*, **207**, p.144 (1956).

[6] Fatt, I., The Network Model of Porous Media. II. Dynamic Properties of a Single Size Tube Network, *Trans. AIME*, **207**, p. 160 (1956).

[7] Fatt, I., The Network Model of Porous Media. III. Dynamic Properties of Networks with Tube Radius Distribution, *Trans. AlME*, **207**, p. 164 (1956).

[8] Bryant, S. and Blunt, M., Prediction of Relative Permeability in Simple Porous Media., *Phy,s. Rev.*, **A46**, p. 2004-2011 (1992).

[9] Øren, P.E., and Pinczewski, W.V., Fluid Distribution and Pore-Scale Displacement Mechanisms in Drainage Dominated Three-Phase Flow, *Transport in Porous Media,* **20**, p. 105 (1995).

[10] Øren, P.E., Bakke, S., Arntzen OJ. Extending Predictive Capabilities to Network Models, *SPE J*, **3**, p. 324 (1988).

[11] Richard F., "Expert System Principles and Case Studies", Chapman and Hall Computing, Second Edition, (1989).

[12] John Durkin, "Expert System Design and Development", McMillan Publishing Company, (1994).

[13] James F. Brule, "Knowledge Acquisition", McGraw-Hill, 1989.

[14] Robert Shaldon, "A Beginner's Guide to SQL", McGraw-Hill, Second Edition, (2003).

www.SID.ir