



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

مطالعه تجربی عبور جریان نانوسیالات از یک ریزمدل به عنوان محیط متخلخل

چکیده

برای درک بهتر اثر عبور جریان نانوسیال از میان یک محیط رسانای متخلخل^۱، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها بر روی یک ریزمدل شیشه‌ای^۲ افقی برای نانوسیال اکسید آلومینیوم-آب^۳ انجام شد. به منظور توصیف دقیق جریان نانوسیال، آزمایش یکسانی نیز با آب خالص انجام گرفت. در این پژوهش، ریزمدل شیشه‌ای با استفاده از یک روش حکاکی نوری^۴ تولید گردید. نانوسیال مورد استفاده نیز در نسبت‌های حجمی متفاوت، شامل 0/1؛ 0/5؛ و 1٪ ساخته شد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که افت فشار نانوسیال در عبور از ریزمدل در غلظت 0/01 تا 43٪ افزایش می‌یابد. افزون بر این، نانوسیال اکسید آلومینیوم-آب مانند یک سیال نیوتنی رفتار کرده و در اعداد رینولدز پایین از قانون دارسی^۵ پیروی می‌کند. همچنین در این پژوهش، نفوذپذیری^۶ رسانای متخلخل در نسبت‌های حجمی مختلف برای نانوسیال و برای آب خالص مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده آشکار ساخت که نفوذپذیری بدست آمده برای نسبت‌های حجمی متفاوت نانوسیال، تغییر قابل توجهی ندارد. در انتها یک روش نیمه تحلیلی برای محاسبه نفوذپذیری چنین محیط‌های رسانای متخلخلی پیشنهاد گردیده است.

کلیدواژه‌ها: نانوسیال، ریزمدل، رسانای متخلخل، نفوذپذیری، آزمایش

1. مقدمه

-
- 1 . Porous medium
 - 2 . Glass micromodel
 - 3 . Al₂O₃-water
 - 4 . Photolithography
 - 5 . Darcy's law
 - 6 . Permeability

پیشرفت‌های اخیر در نانوفناوری و روش‌های تولید مرتبط با آن، ساخت نانوذراتی در ابعاد کوچکتر از 100 نانومتر را ممکن ساخته است. با وارد کردن چنین ذراتی در سیال‌های متداولی مانند آب، اتیل گلیکول⁷ و روغن موتور، شاخه جدیدی از نانوفناوری تحت عنوان نانوسیالات بوجود آمده است. نانوسیالات بواسطه مزایای بالقوه و کاربردهای گسترده در زمینه‌های مهمی نظیر تولید انرژی، پزشکی، حمل و نقل، ریزسامانه‌های الکترومکانیکی⁸ و ... مورد توجه قرار گرفته‌اند [1]. به سبب ابعاد کوچک نانوذرات، این نانوسیال‌ها می‌توانند در مجراهایی در ابعاد نانو جریان یابند. بنابراین یکی از کاربردهای جذاب نانوسیالات، استفاده از آنها به عنوان سیال کاری در محیط‌های رسانش متخلخل است. جریان سیال در چنین محیط‌های متخلخلی، جنبه‌های علمی و فنی جالبی در بردارد [2-4].

برای توصیف جریان سیال در منافذ، مناسب است که از طرح ساده شده محیط متخلخل، نظیر مدل‌های شبکه‌ای⁹ که به صورت فیزیکی قابل ساخت هستند استفاده نمود که می‌توانند به شکل شبکه‌های دو بعدی تشکیل شوند. این مدل‌ها در واقع شبکه‌ای از منافذ و مجاری هستند که با استفاده از شیوه حکاکی نوری بر روی یک لایه از سیلیکون، پلیمر و یا شیشه ساخته می‌شوند. مدل‌های شبکه‌ای شیشه‌ای، یکی از مهمترین ابزارها برای پژوهش و مطالعه پیرامون جریان سیال در هندسه‌های پیچیده نظیر فیلترها و یا ذخایر نفتی¹⁰ در صخره‌های متخلخل می‌باشند. یکی از مهمترین برتری‌های این مدل‌ها آن است که آنها می‌توانند با منافذی ساخته شوند که از نظر شکل و ابعاد کاملاً قابل مقایسه با هندسه منافذ در محیط واقعی هستند. از طرف دیگر، در مورد شبیه‌سازی ذخایر نفتی زیرزمینی در صخره‌های واقعی، در این مدل‌ها می‌توان هر گونه الگوی ساختاری را پیاده‌سازی کرد. روش‌های مبتنی بر مدل شبکه‌ای، تاکنون برای ترسیم محدوده گسترده‌ای از فرآیندها در محیط‌های متخلخل به کار گرفته شده‌اند [5-6].

7 . Ethylene glycol

8 . Micro and Nano electromechanical systems(MEMS,NEMS)

9 . Network models

10 . Oil reservoirs

امروزه تعدادی از پژوهش‌ها به بحث نانوسیالات به عنوان بخشی از کاربرد نانوفناوری در بهبود بازیابی نفت¹¹ در میادین نفتی اختصاص یافته است. نانوذرات گزینه‌ای مناسب برای حل مشکلات مهندسی در بحث استخراج ذخایر نفتی هستند. محلول‌های درای ذرات معلق¹² که بر پایه مواد یا ذرات نانو ساخته می‌شوند (نانوسیالات)، به منظور بهبود فرآیند تزریق در گلوگاه‌ها استفاده می‌شوند. آنها با تغییر خاصیت ترشدگی¹³ محیط متخلخل، ویسکوزیته جریان عبوری را افزایش داده و تنش تماسی بین سیال تزریقی و سیال هیدروکربنی¹⁴ موجود در ذخایر زیرزمینی را کاهش می‌دهند [7]. یک از چالش‌های موجود در این روش‌های جدید، مربوط به نحوه انتشار این محلول‌های تعلیقی در داخل یک محیط متخلخل است. اگرچه نانوذرات به اندازه کافی کوچک هستند که از میان منافذ و مجاری موجود در ساختار ذخایر زیرزمینی عبور کنند با این حال می‌توانند توسط صخره‌ها به دام بیفتند.

توانایی پیش‌بینی میزان جذب این ذرات با توجه به مسافت طی شده و همچنین پیش‌بینی تأثیر رفتار سطوح مختلف بر فرآیند جذب، برای توسعه کاربردهای میدانی چنین ذراتی ضروری است [8]. در مقایسه با محلول‌های تعلیقی که از ذرات کلوئیدی¹⁵ برای تثبیت خاصیت تعلیق استفاده می‌کنند، نانوسیالات، مشخصه‌های عملکردی بهتری دارند. نانوذرات تا 100 بار کوچکتر بوده و محلول‌های حاوی آنها قادرند که مسافت طولانی‌تری را در میان منافذ و مجاری طی کنند. برخی از انواع منتخب نانوذرات که احتمال بکارگیری بیشتری دارند، شامل اکسید فلزاتی چون آلومینیوم، روی، منگنز، آهن، زیرکونیم، نیکل، تیتانیوم و سیلیکون می‌شوند. بنابراین با توجه به آنکه بازیابی نفت در صنایع نفت و گاز جزو اولویت‌های اصلی است، لزوم درک تأثیر این نانوذرات اکسیدی بر فرآیند بازیابی نفت روشن است [9].

11 . Enhanced oil recovery(EOR)
12 . Suspensions
13 . Wettability
14 . Reservoir fluid
15 . Colloidal particles

بینشان^{۱۶} و همکاران [10] در پژوهش خود به این موضوع اشاره دارند که نانوسیالات بر پایه مواد پلی سیلیکونی^{۱۷} قادرند خاصیت ترشدهگی سطوح متخلخل را تغییر دهند. آنها از یک نوع پلی سیلیکون در محدوده ابعادی 10 تا 500 نانومتر در داخل گلوگاهها استفاده کردند تا با تغییر خاصیت ترشدهگی محیط متخلخل، تزریق آب در داخل آن را بهبود ببخشند. بدین منظور با تغییر خاصیت ترشدهگی از طریق رسوب پلی سیلیکون بر روی سطوح متخلخل سنگ ماسه^{۱۸}، نفوذپذیری نسبی آن برای آب بهبود داده شد.

اما از سوی دیگر، رسوب روی سطوح متخلخل و بسته شدن منافذ و مجاری کوچک می تواند منجر به کاهش تخلخل و کاهش ضریب نفوذپذیری مطلق محیط متخلخل شود. بنابراین میزان موفقیت در به کارگیری این نانوسیالات، با محاسبه میزان بهبود نفوذپذیری مؤثر این محیطها قابل تعیین است. یو^{۱۹} و همکاران [11]، نشان دادند که نانوذرات سیلیکا^{۲۰} می توانند به راحتی از داخل هسته سنگ ماسه عبور کنند بدون آنکه نفوذپذیری هسته سنگ را تغییر دهند.

در عبور نانوذرات سیلیکا از میان هسته های آهکی، اندکی رسوب گزارش شده با این حال، نفوذپذیری هسته آهکی تغییری نکرده است. بنابراین جایگیری و رسوب نانوذرات بر روی منافذ سطحی باعث بسته شدن مجاری محیط متخلخل و کاهش نفوذپذیری آن می شود.

هندرانینگرات^{۲۱} و همکاران [12]، جایگیری و رسوب نانوذرات بر روی ریزمدل شیشه ای و میزان بسته شدن منافذ را مورد بررسی قرار دادند. در مطالعات آنها، نانوذرات آب دوست^{۲۲} و نمک دریای مصنوعی (آب نمک، سدیم کلراید 3٪) به عنوان سیال پایه مورد استفاده قرار گرفته بود.

16 . Binshan

17 . Polysilicon

18 . Sandstone

19 . Yu

20 . Silica

21 . Hendraningrat

22 . Hydrophilic

برای غلبه بر چالش‌های مرتبط با رفتار جریان نانوسیالات در محیط‌های متخلخل، مطالعات بیشتری به خصوص در حیطه تجربی مورد نیاز است. هدف این مقاله، بررسی تجربی رفتار جریان نانوسیال آلومینا-آب در محیط متخلخل است. برای شبیه‌سازی جریان و انتقال سیال در محیط متخلخل، یک مدل مصنوعی از محیط متخلخل در ابعاد کوچک تحت عنوان ریزمدل ساخته شد. سپس آزمایش‌های متعددی بر روی ریزمدل شیشه‌ای در حالت افقی صورت پذیرفت که در آنها از چندین نرخ جریان ثابت استفاده گردیده بود.

تاکنون چنین آزمایش‌هایی برای نانوسیال آلومینا-آب بر روی ریزمدل شیشه‌ای گزارش نشده بود. در طی این پژوهش، نفوذپذیری محیط متخلخل بر پایه داده‌های آزمایش مورد ارزیابی قرار گرفت. افزون بر این، یک راه‌حل تحلیلی برای پیش‌بینی نفوذپذیری چنین محیط‌های متخلخلی به کار گرفته شد.

2 مواد و روش‌ها

2.1 تئوری

برای سیالی که با سرعتی آرام و پایدار حرکت می‌کند ($Re < 1$)، میزان افت فشار (Δp) در گذر از محیط متخلخل و نرخ حجمی جریان در سطح مقطع واحد (U) از طریق قانون تجربی داریسی با هم مرتبط می‌شوند:

$$U = \frac{k \Delta p}{\mu L} \quad (1)$$

که در رابطه فوق، k ضریب نفوذپذیری، μ ویسکوزیته دینامیکی سیال و L ضخامت محیط متخلخل است. با اندازه‌گیری U برای افت فشارهای مختلف و استفاده از رابطه (1)، ضریب نفوذپذیری قابل استخراج است.

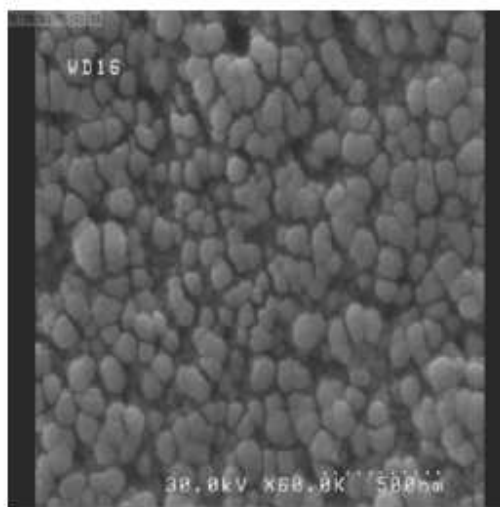
2.2 آماده‌سازی و مشخصات نانوسیال

در پژوهش حاضر، از یک روش دو مرحله‌ای برای ساخت نانوسیال یکنواخت و پایدار استفاده شده که در طی آن، نانوذرات کروم اکسید آلومینیوم (محصول شرکت PlasmaChem) با قطر متوسط 40 نانومتر و چگالی

3.9 g/cm^3 به آب مقطر افزوده شده‌اند. فرآیند آماده‌سازی نانوسیال اکسید آلومینیوم-آب به شرح زیر است:
(1) توزین جرم نانوذرات اکسید آلومینیوم با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی؛ (2) افزودن تدریجی نانوذرات در مقدار معینی آب مقطر و هم زدن مخلوط؛ (3) مرتعش کردن مخلوط به صورت پیوسته برای یک ساعت توسط همزن اولتراسونیک (UP400S, Hielscher GmbH) در توان 400 وات و فرکانس 24 کیلوهرتز تا توزیع یکنواختی از نانوذرات در داخل آب حاصل شود.

نانوسیال در نسبت‌های حجمی مختلفی (0/1، 0/5 و 1) ساخته شده و از هیچ افزونه و یا تغییر pH استفاده نگردید.

شکل 1، تصویری از نانوذرات را بعد از توزیع در داخل آب توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی با تابش میدانی^{۲۳} نشان می‌دهد.



شکل 1 – تصویر FESEM از توزیع نانوذرات اکسید آلومینیوم

چگالی نانوذرات با استفاده از تئوری مخلوط قابل محاسبه است [13]:

23 . Field emission scanning electron microscope (FESEM)

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_n + (1 - \varphi)\rho_{bf} \quad (2)$$

ویسکوزیته سینماتیکی نانوسیال با استفاده از ویسکومتر لوله موئین U شکل (جریان معکوس) (Petrotest®) و ویسکوزیته سینماتیکی نانوسیال، به ویسکوزیته دینامیکی تبدیل گردید.

چگالی و ویسکوزیته دینامیکی نانوسیال برای سه نسبت حجمی مختلف در دمای اتاق در جدول 1 نمایش داده شده است

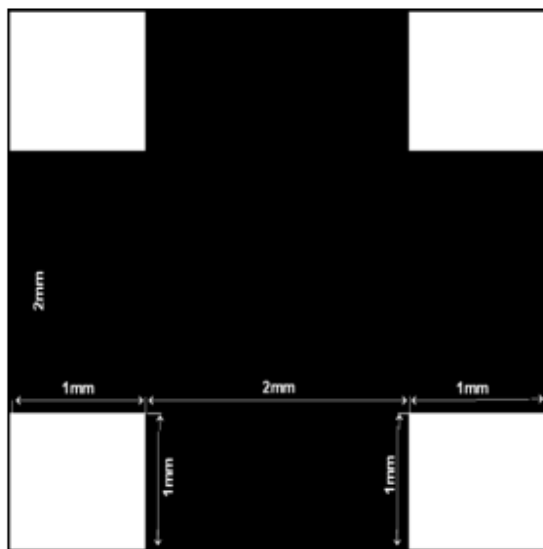
جدول 1 - چگالی و ویسکوزیته دینامیکی سیال کاری در دمای اتاق

Material	Property	Density (kg/m ³)	Dynamic viscosity (Pa.s)
Pure water (base fluid)			
Al ₂ O ₃ -water nanofluid with $\varphi = 0.001$			
Al ₂ O ₃ -water nanofluid with $\varphi = 0.005$			
Al ₂ O ₃ -water nanofluid with $\varphi = 0.01$			

2.3 ساخت ریزمدل

مدلی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، شامل یک لایه شیشه‌ای است که بر روی آن الگوهایی به شکل آرایه‌ای از منافذ موئین مستطیل شکل حک شده است. ابعاد شبکه اصلی منافذ، 96 در 48 میلیمتر بوده و برای ترسیم الگوی شبکه از نرم افزار Corel Draw استفاده شده است. ماتریس شبکه شامل الگویی از یک سلول (شکل 2) است که در مساحتی معین تکرار گردیده است. در این شکل، ناحیه سیاه رنگ، منافذ و نواحی سفید رنگ بلوک‌های جامد هستند.

مدل شیشه‌ای با استفاده از روش استاندارد حکاکی با نور قابل ساخت است. ابتدا الگوی شبکه بر روی یک ماسک چاپ می‌شود (شکل 3 را ببینید). سپس شیشه را با یک پلیمر حساس به نور²⁴ می‌پوشانند و با قرار دادن ماسک بر روی آن، مجموعه را در معرض نور ماورای بنفش قرار می‌دهند. بخش‌هایی از پلیمر که به واسطه طرح روی ماسک، در معرض نور قرار می‌گیرند، تحلیل رفته و از بین می‌روند. سپس با قرار دادن شیشه در اسید هیدروفلوریک²⁵، این بخش‌ها در تماس با اسید حل شده و حفر می‌شوند. الگوی حک شده بر روی شیشه در شکل 4 نمایش داده شده است. عمق حفره‌های ایجاد شده، C، وابسته به مدت زمان واکنش اسید بوده و کنترل آن دشوار می‌باشد. عمق متوسط منافذ با استفاده از یک میکروسکوپ هم‌کانون²⁶ در حدود 0/1 میلیمتر اندازه‌گیری شد. سپس به وسیله حرارت در داخل یک گرم‌کن، شیشه حک شده به یک ورق شیشه بدون منفذ چسبانده شد. دو سوراخ در انتهای مجاری توزیع‌کننده با دریل ایجاد شدند تا نقش ورودی و خروجی را ایفا کنند.

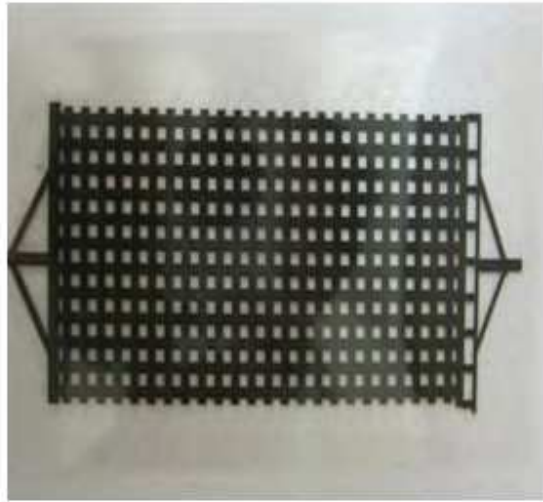


شکل 2- الگوی یک سلول برای تکرار و ساخت شبکه

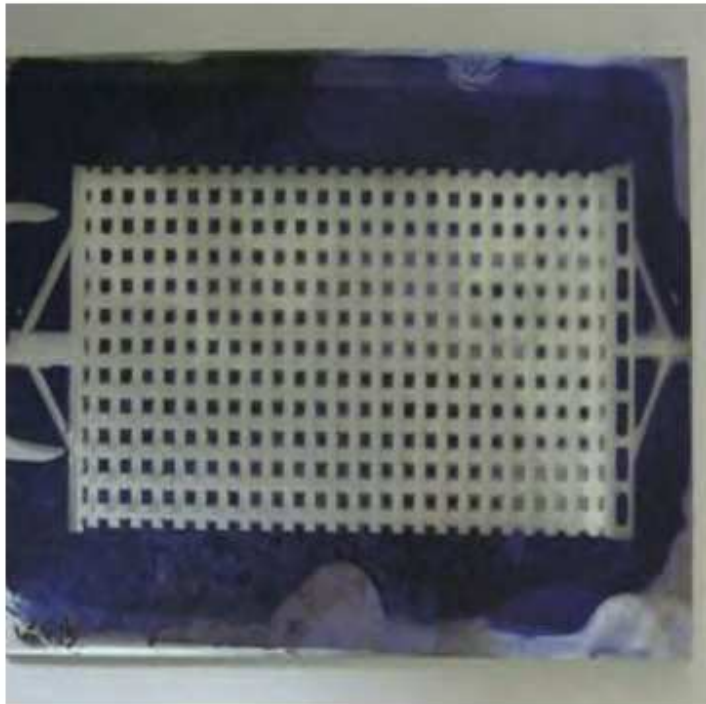
²⁴ . Photo resist polymer

²⁵ . Hydrofluoric acid

²⁶ . Confocal microscope



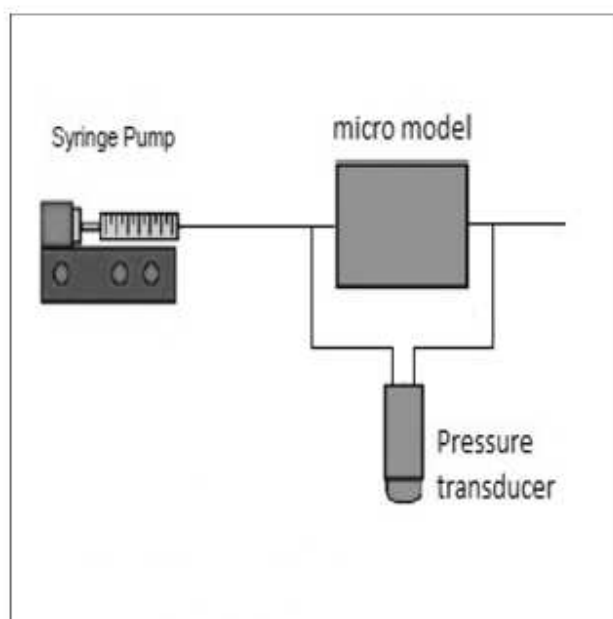
شکل 3- الگوی چاپ شده بر روی ماسک



شکل 4 - الگوی حک شده بر روی لایه شیشه

2.4 تدارک آزمایش

بخش‌های اصلی برای تدارک آزمایش شامل یک پمپ تزریقی²⁷ (JMS-SP500)، یک مبدل فشار اختلافی²⁸ (Smar-LD 301) و یک ریزمدل ساخته شده به عنوان محیط متخلخل می‌باشد. طرح کلی مجموعه آزمایشی در شکل 5 نمایش داده شده است. در تمامی آزمایش‌ها، مدل با احتیاط و بگونه‌ای به سیال کاری اشباع می‌شود که از نفوذ حباب‌های هوا در داخل آن جلوگیری شود. دقت نرخ حجمی جریان سیالی که پمپ تزریقی ایجاد می‌کند، در محدوده $\pm 0.1 \text{ mlit/hr}$ است. این دقت برای مبدل فشار در محدوده 50 پاسکال است. بر این اساس، عدم قطعیت نسبی در محاسبه نفوذپذیری در حدود 0/03 است. این عدم قطعیت در شکل 9 به صورت میله‌های خطا نمایش داده شده است.



شکل 5 - طرح کلی مجموعه آزمایش

3. نتایج و بحث و بررسی

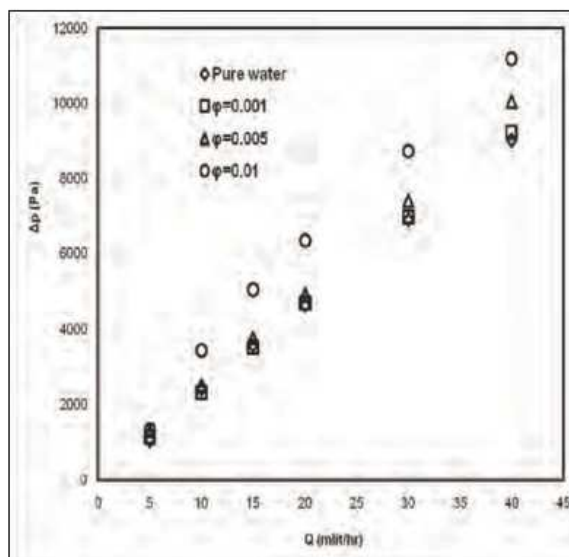
3.1. نتایج تجربی

27 . Syringe pump

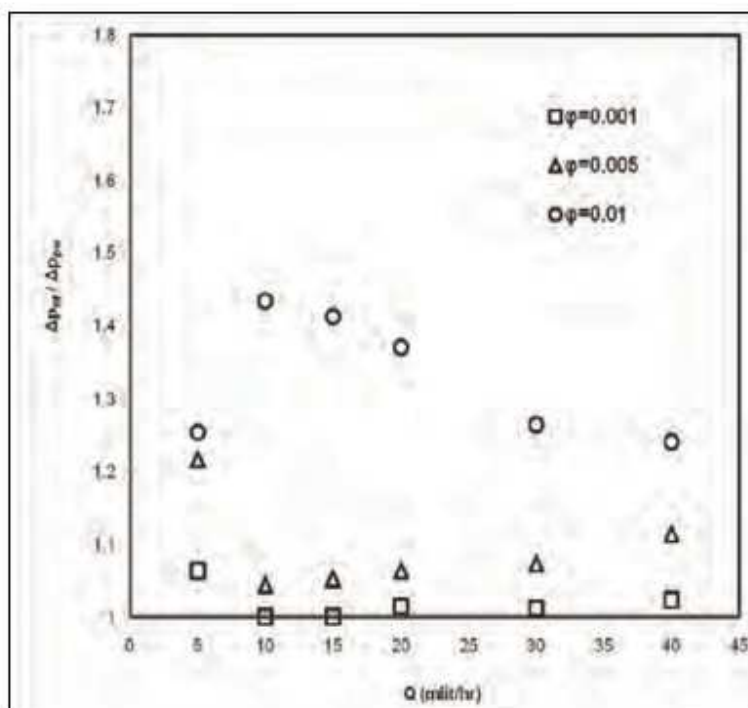
28 . Differential pressure transmitter

تست‌های جریان پایدار برای آب خالص و نانوسیال با نسبت‌های حجمی مختلف صورت پذیرفت. بدین منظور بعد از پر کردن ریزمدل با سیال آزمون و اطمینان از عدم نفوذ حباب هوا، ریزمدل با استفاده از یک لوله رابط کوچک به پمپ تزریق متصل گردید. پمپ بر روی نرخ جریان حجمی معینی تنظیم شده بود. شرایط پایدار جریان هنگامی قابل تضمین است که افت فشار در طول ریزمدل، با گذشت زمان بی تغییر بماند. بر این اساس، در هر تست، حدود 30 دقیقه طول کشید تا جریان سیال پایدار شود. همین فاصله زمانی بین هر دو تست لازم بود.

برای هر نرخ حجمی جریان، افت فشار متناظر در طول ریزمدل ثبت گردید. شکل 6، افت فشار برای آب خالص و نانوسیال با نسبت‌های حجمی مختلف را در ریزمدل نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت نانوذرات، افت فشار افزایش می‌یابد. این نتایج با نتایج کار امین‌زاده و همکاران [14] مطابقت دارد. نسبت افت فشار بین نانوسیال و آب خالص در نسبت‌های حجمی مختلف در شکل 7 نمایش داده شده است. برای نسبت حجمی 0/01، افت فشار تا 43٪ افزایش داشته است. افزون بر این، افت فشار با افزایش غلظت حجمی ذرات، افزایش چشمگیری نداشت.



شکل 6 - افت فشار برای آب خالص و نانوسیال در گذر از ریزمدل برای غلظت‌های حجمی مختلف.

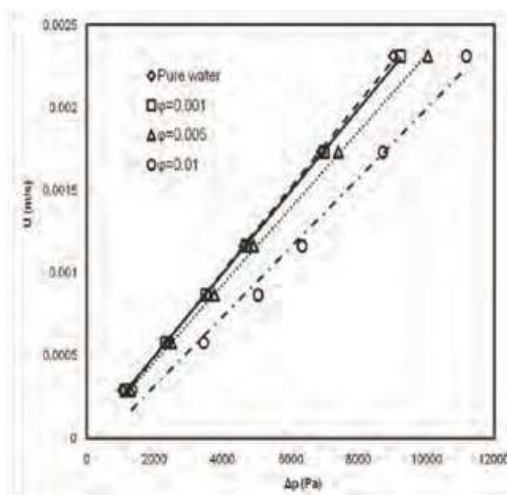


شکل 7 - نسبت افت فشار بین نانوسیال و آب خالص در نرخ‌های جریان مختلف و برای چند غلظت حجمی متفاوت

ویژگی یک محیط رسانای متخلخل که به سیال اجازه عبور از آن را می‌دهد، نفوذپذیری نامیده می‌شود. این پارامتر در حالت کلی توسط ساختار منافذ (یعنی میزان تخلخل، شکل منافذ، ابعاد منافذ و توزیع آنها) تعیین می‌شود [2]. اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری با ثبت نرخ‌های مختلف جریان سیال به صورت تابعی از افت فشار، امکان‌پذیر است. بنابراین ضریب نفوذپذیری با رسم خطی مستقیم بین نقاط داده‌ها و استفاده از معادله (1) بدست می‌آید.

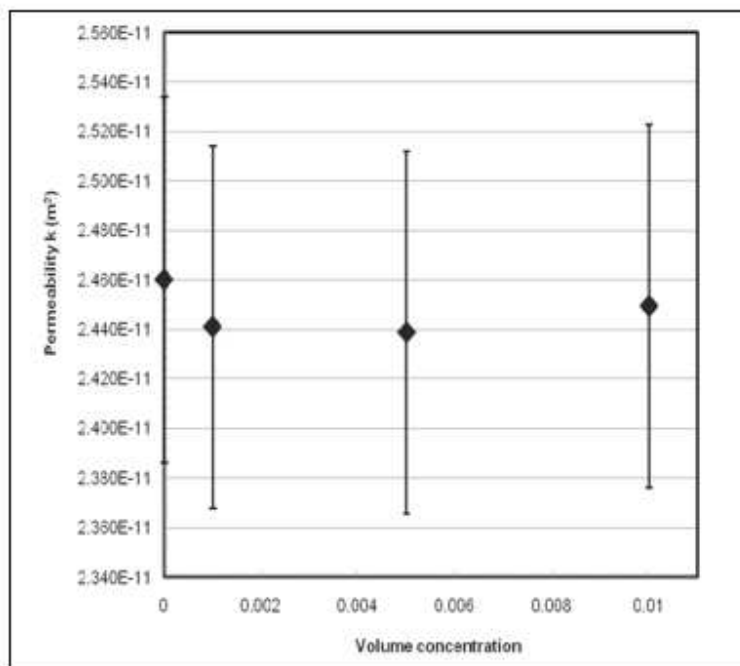
در شکل 8، سرعت متوسط سیال بر حسب افت فشار برای آب و نانوسیال آلومینا-آب در نسبت‌های حجمی مختلف نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که نتایج بدست آمده از آزمایش با دقت معقولی بر روی خطوط راست قرار گرفته‌اند و شیب خطوط متناظر با داده‌ها، برای مجموعه‌های مختلفی از نتایج، تا حد زیادی نزدیک به هم هستند. این موضوع بدین معنی است که نانوسیال اکسید آلومینیوم-آب از قانون درسی (معادله 1) پیروی

کرده و مشابه یک سیال نیوتنی رفتار می‌کند. همچنین مقدار ضریب نفوذپذیری محیط متخلخل با استفاده از داده‌های آزمایش و به کارگیری معادله (1) ارزیابی شده است. نتایج بدست آمده در شکل 9 نمایش داده شده‌اند. به وضوح مشخص است که نفوذپذیری تقریباً ثابت باقی مانده است. این نتیجه در تقابل با نتایج کار هندرانینگر و همکاران [12] و نتایج پژوهش‌های بینشان و همکاران [10] قرار دارد. نتایج آنها نشان می‌دهد که نانوسیال‌ها باعث مسدود شدن منافذ و مجاری محیط متخلخل و کاهش ضریب نفوذپذیری می‌شود. این اختلاف نظر با دقت در هندسه محیط متخلخل قابل تفسیر است. هنگامی که هندسه محیط متخلخل پیچیده می‌شود، نانوذرات ممکن است رسوب کرده و مجاری موجود در محیط را مسدود کنند. به علاوه، واکنش‌های شیمیایی محتمل بین نانوذرات و مواد تشکیل دهنده محیط می‌تواند باعث مسدود شدن منافذ و کاهش نفوذپذیری شود. ساختار شبکه منافذی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت سبب می‌شود که استفاده از نانوسیال با غلظت‌های حجمی مختلف، تغییر قابل توجهی در نفوذپذیری ایجاد نکند. با این حال به وضوح مشخص است که نفوذپذیری به هندسه و ابعاد منافذ وابسته است به ویژه برای اعداد نادسن^{۲۹} پایین ($Kn \leq 0.001$) که فرض پیوستگی جریان اعتبار دارد [15].



شکل 8 - سرعت متوسط سیال در گذر از محیط متخلخل بر حسب افت فشار

29 . Knudsen number



شکل 9 - نفوذپذیری بر حسب غلظت‌های حجمی مختلف

3.2 سنجش نفوذپذیری محیط متخلخل

یک جریان پایدار از سیال غیرقابل تراکم با عدد رینولدز پایین را در نظر بگیرید. ویسکوزیته سیال، μ بوده و در داخل مجرای باریکی با مقطع مستطیلی به عرض $b = 2\text{mm}$ و عمق $c = 0.1\text{mm}$ قرار دارد. با استفاده از معادله پواسون و با شرط مرزی بدون لغزش که منجر به پروفیل سرعت متقارن نسبت به دو محور مقطع عرضی مستطیلی می‌شود، می‌توان جریان را توصیف نمود. در این حالت، نرخ کلی جریان حجمی از رابطه زیر حاصل می‌گردد [16]:

$$Q = -\frac{b}{12\mu} c^3 \left[1 - \frac{6c}{b} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\tanh\left(\frac{\alpha_m b}{c}\right)}{\alpha_m^5} \right] \frac{\Delta p}{L} \quad (3)$$

که $\alpha = (2m - 1) \frac{\pi}{2}$. بنابراین در یک مجرا، ضریب نفوذپذیری k را می‌توان با استفاده از معادله زیر تخمین زد:

$$k = -\frac{b}{12\mu} c^2 \left[1 - \frac{6c}{b} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\tanh\left(\frac{\alpha_m b}{c}\right)}{\alpha_m^5} \right] \quad (4)$$

برای شبکه‌ای از مجاری، سیال با نرخ کلی Q^{net} و تحت تأثیر اختلاف فشار کلی، Δp^{net} در داخل شبکه جریان می‌یابد. اگر نرخ جریان حجمی در مسیر ارتباطی بین دو نقطه i و j را با $Q_{i,j}$ نشان دهیم، آنگاه در نقطه i ، تعادل حجمی به این شکل قابل بیان است:

$$\sum Q_{i,j} = 0 \quad (5)$$

که:

$$Q_{i,j} = \frac{k_{i,j} b c \Delta p_{i,j}}{\mu L_{i,j}} \quad (6)$$

که $\Delta p_{i,j}$ ، $k_{i,j}$ و $L_{i,j} = 2mm$ به ترتیب اختلاف فشار، نفوذپذیری و طول مسیر هستند.

شرایط مرزی برای کل شبکه، وجود فشار یکنواخت p_{in} و p_{out} در ورودی و خروجی است. بنابراین افت فشار کلی در گذر از شبکه به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta p^{net} = p_{in} - p_{out} \quad (7)$$

با قرار دادن معادله (6) در معادله (5) مجموعه‌ای خطی از معادلات فشار حاصل می‌شود که در آن برای هر نقطه از شبکه، یک فشار مجهول است. این دستگاه معادلات را می‌توان حل نمود تا نرخ کلی جریان، Q^{net} و به دنبال آن، نفوذپذیری کلی شبکه با استفاده از قانون دارسی حاصل شود:

$$k = \frac{\mu Q^{net} L^{net}}{b c \Delta p^{net}} \quad (8)$$

که L^{net} طول کلی شبکه است. با انتقال این معادلات به نرم افزار MATLAB، یک راه حل عددی برای محاسبه ضریب نفوذپذیری محیط متخلخل حاصل شد. در نهایت، نتیجه عددی حاصل شده برابر با $0.842 \times 10^{-11} m^2$ بود و یک همبستگی مناسب بین نتایج عددی و تجربی مشاهده گردید. اختلاف مقداری که بین این نتایج مشاهده می شود می تواند با رفتار جریان و افت فشار در ورودی و خروجی ریزمدل مرتبط باشد. بنابراین ضریب تجربی β برای تطبیق نتایج عددی با نتایج تجربی معرفی می شود که برای پژوهش ما، این ضریب، $2/91$ است. در نهایت می توان ضریب نفوذپذیری کلی یک محیط متخلخل را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$k = \beta \frac{\mu Q^{net} L^{net}}{bc \Delta p^{net}} \quad (1)$$

4. نتیجه گیری

ریزمدل، یک مدل مصنوعی از محیط متخلخل در ابعاد کوچک است که برای شبیه سازی جریان و گذر آن در محیط متخلخل مورد استفاده قرار می گیرد. به منظور درک بهتر تأثیر جریان نانوسیال در یک محیط متخلخل، مجموعه ای از آزمایش ها بر روی یک ریزمدل شیشه ای در حالت افقی و با استفاده از نانوسیال اکسید آلومینیوم-آب در نسبت های حجمی مختلف صورت پذیرفت. برای توصیف جریان نانوسیال، آزمایش یکسانی با آب خالص نیز انجام گرفت. در هر آزمایش، ریزمدل ابتدا با سیال کاری اشباع شده و سپس در خط تزریق قرار گرفت. یافته های اصلی که از این پژوهش حاصل شده اند به اختصار به شرح زیر می باشند:

- افت فشار در نانوسیال در غلظت حجمی $0/01$ ، تا 43% افزایش می یابد. افزون بر این، افت فشار در نسبت های حجمی پایین تر ($\varphi < 0.005$) افزایش ناچیزی دارد.
- تغییرات کاهش فشار بر حسب نرخ جریان نانوسیال، ماهیتی خطی داشته و در نتیجه می توان نتیجه گرفت که نانوسیال اکسید آلومینیوم-آب، در اعداد رینولدز پایین مشابه سیالات نیوتنی رفتار کرده و از قانون دارسی پیروی می کند.

- نفوذپذیری محیط متخلخل هنگام عبور نانوسیال تغییر نمی‌کند به ویژه با تغییر نسبت حجمی نانوذرات. برای اعداد نادسن کوچک ($Kn \leq 0.001$) که فرض پیوستگی جریان برقرار است، نفوذپذیری وابسته به هندسه و ابعاد منافذ است. با این حال این گفته ممکن است در خصوص محیط‌های متخلخلی که هندسه پیچیده داشته و یا ابعاد مجاری آنها کوچکتر است، صدق نکند.

- یک مطالعه تحلیلی برای محاسبه نفوذپذیری محیط متخلخل صورت پذیرفت و مشخص شد که محاسبه عددی ضریب نفوذپذیری برای چنین محیط‌های متخلخلی در صورت استفاده از یک ضریب تصحیح امکان‌پذیر است.

این مطالعه تجربی ما را قادر ساخت تا رفتار نانوسیالات در داخل محیط‌های متخلخل را بهتر درک کنیم. در آینده می‌توان مطالعات تجربی بیشتری بر روی انواع مختلف نانوسیالات انجام داد. شبیه‌سازی عددی جریان نانوسیال در یک محیط متخلخل، گام بعدی در مطالعه حاضر است.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی