



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان:

بررسی اثر میدان مغناطیسی بر جریان و انتقال حرارت حول یک استوانه ی پوشیده شده با نوار متخلخل

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نگارش:

سامان رشیدی

استاد راهنما:

دکتر محمد صادق ولی پور

بهمن ماه ۱۳۹۱



دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی مکانیک

عنوان:

بررسی اثر میدان مغناطیسی بر جریان و انتقال حرارت حول یک استوانه ی پوشیده شده با نوار متخلخل

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نگارش:

سامان رشیدی

استاد راهنما:

دکتر محمد صادق ولی پور

بهمن ماه ۱۳۹۱

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه

نام دانشکده: مهندسی مکانیک

نام دانشجو: سامان رشیدی

عنوان پایان‌نامه: بررسی اثر میدان مغناطیسی بر جریان و انتقال حرارت حول یک استوانه‌ی

پوشیده شده با نوار متخلخل

تاریخ دفاع:

رشته: مهندسی مکانیک

گرایش: تبدیل انرژی

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما				
۲	استاد مدعو خارجی				
۳	استاد مدعو داخلی				

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب سامان رشیدی به شماره دانشجویی ۸۹۱۲۱۶۸۰۰۵ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤلیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤلیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی:

سامان رشیدی (۸۹۱۲۱۶۸۰۰۵)

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد

راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تشکر و قدردانی:

نویسنده این سطور بر خود لازم می داند از زحمات و راهنمایی های اخلاقی جناب آقای دکتر ولی پور در کنار راهنمایی های ارزنده ایشان سپاسگزاری نماید. همچنین از اساتید بزرگوار آقایان دکتر شکری، دکتر تمایل و دکتر مسعودی جهت رسیدگی و راهنمایی های علمی صمیمانه قدردانی می نمایم.

سامان رشیدی

زمستان ۹۱

چکیده

در پژوهش حاضر، جریان و انتقال حرارت اطراف یک سیلندر استوانه ای دو بعدی که اطراف آن توسط یک نوار متخلخل اشباع شده از سیال پوشیده شده، به صورت عددی و با استفاده از مدل غیر داریسی مورد مطالعه قرار گرفته است. در بیشتر مطالعات عددی انجام شده از مدل داریسی به دلیل سادگی حل برای مدل سازی انتقال ممنتوم در محیط متخلخل استفاده می گردد، در حالی که این مدل تنها برای حالت هایی که میزان نفوذپذیری محیط متخلخل بسیار پایین و یا سرعت جریان سیال در محیط کوچک باشد، معتبر می باشد. در این پژوهش برای مدل سازی انتقال ممنتوم در محیط متخلخل از مدل داریسی-برینکمان-فرچهایمر که یکی از کامل ترین مدل های ارائه شده می باشد، بهره گرفته شده است. معادلات حاکم بر مسئله متشکل از معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی به همراه شرایط مرزی مربوطه پس از بی بعد سازی با استفاده از پارامترهای بدون بعد مناسب، به روش حجم و به کمک الگوریتم سیمپل به صورت عددی حل شده اند. به علاوه، اثر حضور میدان مغناطیسی خارجی در اطراف سیلندر در حالاتی که سیال رسانای جریان الکتریسیته باشد نیز بر روی مشخصه های جریان و انتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده برای محدوده ی وسیعی از اعداد بدون بعد حاکم از جمله عدد داریسی، عدد رینولدز و عدد استوارت نمایش داده شده اند. در پایان نیز دو فرمول پیشنهادی برای عدد ناسلت میانگین اطراف سیلندر بر حسب عدد داریسی و عدد رینولدز ارائه شده است که اثرات میدان مغناطیسی و هدایت حرارتی ناحیه متخلخل در این دو فرمول لحاظ شده است.

واژه های کلیدی:

میدان مغناطیسی، محیط متخلخل، استوانه با مقطع دایره، روش عددی، مدل داریسی-برینکمان-فرچهایمر، عدد استوارت

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل ۱: مقدمه
۱۶	۱-۱-۱- محیط متخلخل
۱۶	۱-۱-۱-۱- محیط متخلخل از دیدگاه مکانیک محیط های پیوسته
۱۷	۱-۱-۱-۲- تخلخل محیط
۱۸	۱-۱-۱-۳- معادله پیوستگی در محیط متخلخل
۲۰	۱-۱-۱-۴- معادله اندازه حرکت در محیط متخلخل
۲۱	۱-۱-۱-۴-۱- مدل داریسی
۲۱	۱-۱-۱-۴-۲- مدل برینکمان
۲۳	۱-۱-۱-۴-۳- مدل فرچهایمر
۲۴	۱-۱-۱-۴-۴- مدل برینکمن-فرچهایمر
۲۵	۱-۱-۱-۵- معادله انرژی در محیط متخلخل
۲۶	۲-۱- مگنتو هیدرو دینامیک
۲۸	۱-۲-۱- معادلات مگنتو هیدرو دینامیک
۲۹	۱-۲-۱-۱- روش القای مغناطیسی
۳۱	۱-۲-۱-۲- روش پتانسیل الکتریکی
۳۲	
	فصل ۲: مروری بر منابع
۳۵	۱-۲- بدون حضور میدان مغناطیسی
۳۵	۱-۱-۲- مطالعات عددی
۳۷	۲-۱-۲- مطالعات آزمایشگاهی
۳۸	۲-۲- در حضور میدان مغناطیسی
۳۸	۱-۲-۲- مطالعات عددی
۴۰	۳-۲- حالت دو سیلندر قرار گرفته به صورت عمودی
۴۱	۴-۲- ضرورت انجام کار
	فصل ۳: مدل مفهومی و معادلات حاکم
۴۳	۱-۳- مدل مفهومی و فیزیک مساله
۴۳	۲-۳- اثر میدان مغناطیسی بر جریان سیال
۴۴	۳-۳- معادلات حاکم و مدل ریاضی مساله
۴۵	۱-۳-۳- معادلات بعد دار حاکم بر ناحیه سیال خالص
۴۵	۲-۳-۳- معادلات بعد دار حاکم بر ناحیه متخلخل
۴۶	۳-۳-۳- معادلات بی بعد حاکم بر ناحیه سیال خالص
۴۷	

- ۴۸.....۴-۳-۳- معادلات بی بعد حاکم بر ناحیه متخلخل
- ۴۹.....۴-۳- شرایط مرزی
- ۴۹.....۱-۴-۳- صورت بعد دار شرایط مرزی
- ۵۰.....۲-۴-۳- صورت بی بعد شرایط مرزی
- ۵۱.....۵-۳- محاسبه ضریب فشار بر روی دیواره سیلندر
- ۵۱.....۶-۳- محاسبه ضریب پسا بر روی دیواره سیلندر
- ۵۲.....۷-۳- محاسبه عدد ناسلت بر روی دیواره سیلندر

فصل ۴: شیوه حل عددی

- ۵۴.....۱-۴- روش های عددی حل معادلات
- ۵۴.....۱-۱-۴- روش اختلاف محدود
- ۵۵.....۲-۱-۴- روش عناصر محدود
- ۵۵.....۳-۱-۴- روش حجم محدود
- ۵۸.....۲-۴- الگوریتم حل سیمپل
- ۵۸.....۳-۴- استقلال نتایج از شبکه
- ۶۰.....۴-۴- بررسی صحت نتایج
- ۶۱.....۱-۴-۴- بررسی با نتایج بدون حضور میدان
- ۶۱.....۲-۴-۴- بررسی با نتایج در حضور میدان

فصل ۵: ارائه نتایج

- ۶۴.....۱-۵- نتایج در عدم حضور میدان
- ۶۴.....۱-۱-۵- نتایج هیدرودینامیک
- ۷۶.....۲-۱-۵- نتایج انتقال حرارت
- ۸۱.....۲-۵- نتایج در حضور میدان
- ۸۲.....۱-۲-۵- نتایج هیدرودینامیک
- ۸۷.....۲-۲-۵- نتایج انتقال حرارت
- ۹۴.....۳-۵- بررسی جریان اطراف دو سیلندر مشابه کنار هم

فصل ۶: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱۰۱.....۱-۶- نتیجه گیری کلی
- ۱۰۱.....۱-۱-۶- نتایج برای تک سیلندر بدون حضور میدان مغناطیسی
- ۱۰۲.....۲-۱-۶- نتایج برای تک سیلندر با حضور میدان مغناطیسی
- ۱۰۲.....۳-۱-۶- نتایج برای دو سیلندر
- ۱۰۳.....۲-۶- پژوهش پیشنهادی آینده

کتابنامه.....۱۰۴

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) مقایسه ابعاد حجم نماینده با ابعاد حوزه ی جریان و ابعاد منفذها..... ۱۸
- شکل (۲-۱) آرایش مکعبی ذرات کروی با میزان تخلخل ۰,۴۸..... ۱۹
- شکل (۳-۱) آرایش رومیوهدرال ذرات کروی با تخلخل ۰,۲۶..... ۱۹
- شکل (۴-۱) کاهش تخلخل ماده متخلخل بدلیل قرار گرفتن ذرات کوچکتر بین فضاهای ایجاد شده توسط ذرات بزرگتر..... ۱۹
- شکل (۱-۳) دامنه ی محاسباتی و هندسه ی مساله..... ۴۴
- شکل (۱-۴) پارامتر هندسی گردابه سیلندر..... ۵۹
- شکل (۲-۴) نمایش شبکه بندی اطراف سیلندر..... ۵۹
- شکل (۳-۴) تغییرات زاویه جدایش بر حسب عدد رینولدز..... ۶۱
- شکل (۴-۴) تغییرات سرعت بدون بعد بر حسب فاصله از دیواره ها..... ۶۲
- شکل (۱-۵) نمایش خطوط جریان در عددهای رینولدز مختلف و الف- استوانه در محیط سیال ب- استوانه با لایه متخلخل با عدد داریسی 10^{-6} ($\delta=0.1$)..... ۶۵
- شکل (۲-۵) نمایش خطوط جریان در اطراف استوانه پوشیده شده از لایه متخلخل در اعداد داریسی مختلف ($\delta=0.5, Re=20$)..... ۶۶
- شکل (۳-۵) تغییرات زاویه جدایش بر حسب عدد رینولدز در اعداد داریسی مختلف..... ۶۷
- شکل (۴-۵) تغییرات طول و یک بر حسب عدد رینولدز در اعداد داریسی مختلف ($\delta=0.1$)..... ۶۸
- شکل (۵-۵) تغییرات طول گردابه بر حسب عدد داریسی ($Re=20, 40, \delta=0.3$)..... ۶۹
- شکل (۶-۵) تغییرات ضخامت و یک بر حسب عدد رینولدز در اعداد داریسی مختلف..... ۷۰
- شکل (۷-۵) نمایش سرعت های الف) مماسی، ب) عمودی ج) اندازه سرعت روی سطح لایه متخلخل در اعداد داریسی مختلف ($Re=20, \delta=1$)..... ۷۲
- شکل (۸-۵) تغییرات ضریب فشار روی سطح لایه متخلخل بر حسب عدد داریسی ($\delta=10$) و الف) $Re=10$ ب) $Re=20$ ۷۴
- شکل (۹-۵) تغییرات ضریب پسا روی سطح لایه متخلخل الف) بر حسب عدد داریسی در رینولدزهای مختلف ب) بر حسب عدد رینولدز در داریسی های مختلف ($\delta=10$)..... ۷۶
- شکل (۱۰-۵) تغییرات عدد ناسلت میانگین روی سطح لایه متخلخل بر حسب عدد داریسی در ضخامت های مختلف ($Re=40, k_s < k_f$)..... ۷۷
- شکل (۱۱-۵) نمایش خطوط هم دما برای سه حالت سیلندر بدون لایه متخلخل، سیلندر با لایه متخلخل ($k_s < k_f$) و سیلندر با لایه متخلخل ($k_f < k_s$) ($\delta=0.1, Re=40$)..... ۷۸
- شکل (۱۲-۵) ت شعاع بحرانی عایق بر حسب عدد داریسی و در ضخامت های مختلف ($Re=40, k_s < k_f$)..... ۷۹
- شکل (۱۳-۵) تغییرات عدد ناسلت میانگین روی سطح لایه متخلخل بر حسب ضخامت لایه و در اعداد داریسی مختلف ($Re=40, k_f < k_s$)..... ۸۰
- شکل (۱۴-۵) تغییرات پروفیل دمای بدون بعد بر حسب فاصله در زوایای مختلف ($R_c=1, \delta=0.5$) و الف) $Da=1e-4$ ب) $Da=1e-8$ ۸۱
- شکل (۱۵-۵) نمایش خطوط جریان در اعداد استوارت مختلف ($Re=40$) برای دو حالت الف) عدم وجود لایه متخلخل ب) وجود لایه متخلخل با ضخامت بدون بعد ۰,۲۵ و عدد داریسی 10^{-3} ۸۳

شکل (۵-۱۶) تغییرات طول و یک بر حسب الف) عدد استوارت در اعداد دارسی مختلف ($Re=40, \delta=0.25$)
 ب) عدد دارسی ($Re=20, 40, N=2, \delta=0.25$) ج) عدد رینولدز در اعداد دارسی مختلف
 ($N=2, \delta=0.25$) ۸۴

شکل (۵-۱۷) تغییرات عدد استوارت بحرانی برای محو گردابه بر حسب عدد دارسی در دو عدد رینولدز برابر ۲۰
 و ۴۰ ($\delta=0.25$) ۸۵

شکل (۵-۱۸) تغییرات ضریب پسا بر حسب عدد دارسی و در اعداد استوارت مختلف ($\delta=10$) برای دو حالت:
 الف) $Re=20$ ب) $Re=40$ ۸۷

شکل (۵-۱۹) تغییرات عدد ناسلت میانگین اطراف سیلندر بدون لایه متخلخل بر حسب عدد استوارت
 ($Re=40$) ۸۸

شکل (۵-۲۰) تغییرات عدد ناسلت میانگین اطراف سیلندر بر حسب عدد دارسی و در اعداد استوارت مختلف
 ($Re=40$) برای الف) $\delta=1$ ب) $\delta=20$ ۹۰

شکل (۵-۲۱) تغییرات شعاع بحرانی عایق بر حسب عدد دارسی در ضخامت های بدون بعد مختلف ($Re=40$)
 و برای الف) $N=1$ ب) $N=5$ ۹۱

شکل (۵-۲۲) تغییرات عدد ناسلت میانگین اطراف سیلندر بر حسب عدد دارسی در اعداد استوارت مختلف
 ($Re=40, \delta=1$) ۹۲

شکل (۵-۲۳) مقایسه بین مقادیر عددی و فرمول های پیشنهادی برای عدد ناسلت میانگین اطراف سیلندر بر
 حسب عدد دارسی در اعداد استوارت مختلف ($Re=40, \delta=1$) و دو حالت الف) $k_s < k_f$ و ب) $k_s > k_f$
 ۹۴

شکل (۵-۲۴) دامنه محاسباتی در حالت دو سیلندر ۹۵

شکل (۵-۲۵) نمایش خطوط جریان در فواصل بدون بعد مختلف دو سیلندر بدون لایه متخلخل در عدم حضور
 میدان مغناطیسی ($Re=150$) ۹۶

شکل (۵-۲۶) نمایش خطوط جریان در اعداد دارسی مختلف در عدم حضور میدان مغناطیسی ($Re=150$)
 ($S/D=1.6$) ۹۷

شکل (۵-۲۷) تغییرات سرعت افقی در حضور و عدم حضور میدان مغناطیسی و در فاصله افقی ۵ برابر قطر از
 مرکز سیلندر ($S/D=2, Re=100$) ۹۸

شکل (۵-۲۸) تغییرات ضریب پسا بر حسب عدد استوارت ($S/D=2, Re=100$) ۹۸

شکل (۵-۲۹) تغییرات ضریب پسا بر حسب فاصله بدون بعد و در اعداد دارسی مختلف
 ($Re=100$) ۹۹

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) میزان تخلخل مواد متخلخل معمولی..... ۲۰
- جدول (۲-۱) میزان تراوایی مواد متخلخل معمولی..... ۲۲
- جدول (۱-۳) مجموعه پارامترهای بدون بعد استفاده شده برای بی بعد کردن معادلات حاکم بر مسئله..... ۴۷
- جدول (۱-۴) مقایسه ی نتایج حل عددی به ازای شبکه های با اندازه ی مختلف..... ۶۰

فهرست علائم و نشانه ها

$(T) B$	شدت میدان مغناطیسی
$(-) C_D$	ضریب پسا
$(-) C_F$	ضریب فرچه‌ایمر
$(J/kgK) c_p$	گرمای ویژه سیال
$(-) C_L$	ضریب برا
$(-) C_p$	ضریب فشار
$(m) d$	ضخامت لایه متخلخل
$(m) D$	قطر سیلندر
$(-) Da$	عدد دارسی
$(m) D_p$	پارامتر قطر ذرات
$(N) F_D$	نیروی پسای کل
$(W/m^2K) h$	ضریب انتقال حرارت جابجایی
$(-) Ha(=BD(\sigma/\rho\nu))$	عدد هارتمن
$(A/m^2) j$	چگالی جریان الکتریکی
$(W/mK) k$	ضریب رسانش حرارتی
$(m^2) K$	تراوایی
$(-) N(=\sigma BD^2/\rho U_\infty)$	عدد استوارت
$(-) Nu(=hD/k)$	عدد ناسلت موضعی
$(-) Nu_{ave}$	عدد ناسلت میانگین
$(Pa)p$	فشار
$(-) Pr(=\nu/\alpha)$	عدد پرانتل
$(m) r$	مختصات شعاعی
$(m) R$	شعاع سیلندر
$(-) Rc(=k_{eff}/k_f)$	ضریب رسانش نسبی
$(-) Re(=\rho U_\infty D/\mu)$	عدد رینولدز
$(m) S$	فاصله بین مراکز سیلندرها
$(K) T$	دما
$(m/s) u$	مولفه سرعت ظاهری در راستای شعاعی
$(m/s) v$	مولفه سرعت ظاهری در راستای مماسی
$(m/s) V$	بردار سرعت ظاهری
$(m) x, y$	مختصات کارتزین
علائم یونانی	
$(m^2/s) \alpha$	نفوذ حرارتی
$(1/\Omega m) \sigma$	رسانش الکتریکی سیال
$(kg/ms) \mu$	لزجت دینامیکی سیال

(m^2/s) v لزجت سینماتیکی سیال
 (kg/m^3) ρ چگالی سیال
 (m) θ مختصات مماسی
 $(-)$ ε میزان تخلخل محیط
 $(-)$ $\delta(=d/D)$ ضخامت بدون بعد لایه متخلخل
 $(1/s)$ ω ورتیسیتی
زیر نویس ها

$(-)$ ave میانگین
 $(-)$ cr بحرانی
 $(-)$ eff موثر
 $(-)$ f فاز سیال
 $(-)$ p نیروی فشاری
 $(-)$ s فاز جامد
 $(-)$ v نیروی لزجت
 $(-)$ w دیوار
 $(-)$ ∞ جریان بالا دست
 $(-)$ 1 ناحیه سیال خالص
 $(-)$ 2 ناحیه محیط متخلخل

فصل اول

مقدمه

۱-۱- محیط متخلخل

تحقیقات در زمینه ی جریان سیال و انتقال حرارت در محیط های متخلخل^۱ در دهه های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است و دلیل آن به کاربرد گسترده محیط های متخلخل در صنعت از جمله تولید نفت خام، عایق کاری بهینه ساختمان ها، خنک کاری فلاسک های سوخت هسته ای و مبدل های حرارتی بازیاب بر می گردد. در ادامه به پاره ای از کاربردهای مواد متخلخل در صنایع مختلف اشاره می گردد.

شیمیایی:

مواد متخلخل در راکتورهای کاتالیستی فشرده، خشککن ها، فرآیندهای فیلتراسیون، انتقال جرم درون غشاها، بسترهای کروماتوگرافی فشرده کاربرد دارند.

زیست محیطی:

مواد متخلخل در مطالعات مربوط به جریان های آب زیر زمینی، حرکت آلودگی های زیر زمینی، مدیریت انرژی های زمین گرمایی، فرایند تمیزکاری خاک با تزریق بخار کاربرد دارند.

مکانیکی:

مواد متخلخل در سیستمهای خنک کاری جذبی تک فاز و دو فاز، لوله های گرمایی فتیله ای، عایقکاری ساختمان ها، جمع آوری انرژی های زیر زمینی، بهبود انتقال حرارت از طریق افزایش سطح تماس، خنک کاری راکتورهای هسته ای، فرآیندهای رطوبت زدایی کاربرد دارند.

صنعت نفت و گاز:

مواد متخلخل در جریان نفت و گاز در مخازن، فرآیندهای تولید نفت، فرآیندهای تولید گاز طبیعی کاربرد دارند.

¹Porous media

در ابتدای این فصل خلاصه ای از تئوری جریان و انتقال حرارت در بسترهای متخلخل به همراه مفاهیم مربوطه آورده می شود.

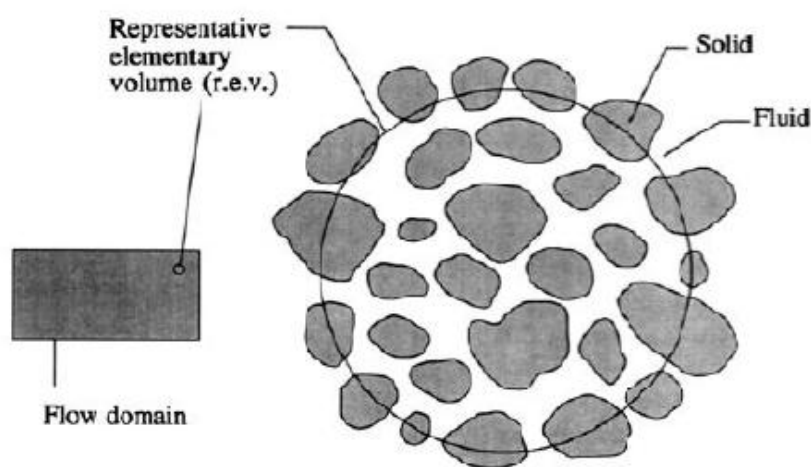
۱-۱-۱- محیط متخلخل از دیدگاه مکانیک محیط های پیوسته

منظور از محیط متخلخل ماده ای است متشکل از یک شبکه جامد که توسط فضاها یا منفذهای^۱ خالی بین آنها به هم متصل شده اند. فضاهای خالی موجود بین شبکه جامد امکان جاری شدن سیال در این شبکه را فراهم می آورند. در یک محیط متخلخل طبیعی توزیع منفذها از نظر شکل و اندازه به صورت بیقاعده و نامنظم می باشند. شن ساحل، سنگ آهک و ریه ی انسان نمونه هایی از مواد متخلخل طبیعی می باشند. در مقیاسهای کوچک و قابل قیاس با اندازه ی منفذها کمیت های جریان مانند سرعت و فشار نیز کاملاً بی قاعده و نامنظم خواهند بود، اما مشاهدات تجربی نشان داده اند که در ناحیه هایی متشکل از تعداد زیادی منفذ متوسط کمیات جریان رفتارهایی با قاعده نسبت به زمان و مکان داشته و بنابراین می توان بحث های تئوریک برای آن ها ابداع نمود. این که بتوان اجزاء سیال را به صورت ناحیه هایی متشکل از تعداد زیادی منفذ در نظر گرفت یا خیر به فاصله ی ناظر از محیط متخلخل بستگی دارد. در صورتی که فاصله ناظر کم باشد، ناظر تنها یک یا دو مجرا را مشاهده خواهد کرد. در این صورت به شیوه های سنتی مکانیک سیالات میتوان رفتار سیال را توصیف کرد، اما چنانچه فاصله ی ناظر از محیط زیاد باشد، تعداد زیادی مجرا و حفره در دید ناظر قرار خواهد گرفت. در این صورت روش های متوسط گیری حجمی برای توصیف رفتار سیال و ساده سازی مسئله بسیار مفیدتر و کارآمدتر خواهد بود. ([۱])

روش معمول برای بدست آوردن معادلات حاکم بر مسئله این است که از معادلات سنتی حاکم بر مسئله شروع کرده و با متوسط گیری روی ناحیه هایی متشکل از تعداد زیادی منفذ، معادلات حاکم بر جریان سیال در محیط متخلخل بدست آورده می شوند. این روش به روش متوسط گیری

^۱pores

حجمی محلی^۱ مشهور می باشد. در این روش کمیت های ماکروسکوپیک به صورت یک مقدار متوسط مناسب بر روی یک حجم نماینده^۲ تعریف می شوند. مقدار متوسط کمیت های جریان باید از اندازه ی حجم نماینده ی انتخابی مستقل باشند، همچنین ابعاد حجم نماینده باید بسیار بزرگتر از ابعاد منفذها و بسیار کوچکتر از ابعاد حوزه حل انتخاب گردد. در شکل ۱-۱ یک حجم نماینده به صورت نمونه نمایش داده شده است. این روش به صورت مبسوط توسط بیر و بچمت^۳ بحث [۲] شده است.



شکل (۱-۱) مقایسه ابعاد حجم نماینده با ابعاد حوزه ی جریان و ابعاد منفذها [۱]

۲-۱-۱- تخلخل محیط

تخلخل^۴ یک محیط متخلخل به صورت کسری از حجم کل محیط که توسط سیال اشغال می شود، تعریف شده و با نماد ϵ نمایش داده می شود. بنابراین $\epsilon = 1 - \phi$ برابر با کسری از محیط خواهد بود که توسط ماده ی جامد اشغال شده است. مقدار تخلخل محیط برای محیط های متخلخل

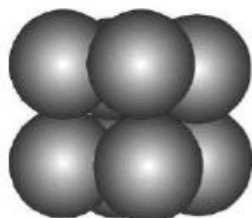
¹Local volume averaging technique

²Representative elementary volume

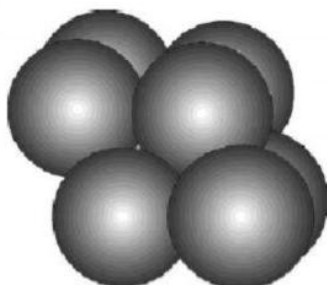
³Bear and Bachmat

⁴Porosity

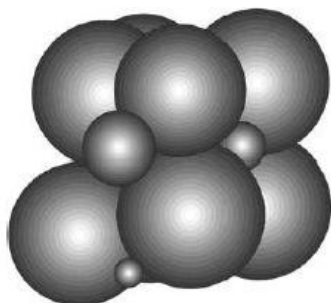
طبیعی رایج از مقدار ۰/۶ تجاوز نمی کند. برای بسترهای متخلخل متشکل از ذرات کروی جامد با قطر یکنواخت مقدار تخلخل از ۰/۲۵۹۵ برای آرایش رومبوهدرال^۱ تا ۰/۴۷۶۴ برای آرایش مکعبی ذرات تغییر می کند (شکل های ۱-۲ تا ۱-۴).



شکل (۱-۲) آرایش مکعبی ذرات کروی با میزان تخلخل ۰,۴۸ [۱]



شکل (۱-۳) آرایش رومبوهدرال ذرات کروی با میزان تخلخل ۰,۲۶ [۱]



شکل (۱-۴) کاهش میزان تخلخل ماده متخلخل به دلیل فرار گرفتن ذرات کوچکتر بین فضاهای ایجاد شده توسط

ذرات بزرگتر [۱]

مقدار تخلخل برای مواد متخلخل متشکل از ذرات غیر یکنواخت کوچکتر از مواد تشکیل شده از ذرات یکنواخت خواهد بود، زیرا در این حالت ذرات کوچکتر می توانند فضاهای خالی ایجاد شده توسط ذرات بزرگتر را پر کنند. برای مواد متخلخل مصنوعی مانند فوم های فلزی مقدار تخلخل را

^۱Rhombohedral

می توان به اندازه ی دلخواه به یک نزدیک کرد. در جدول ۱-۱ مقادیر تخلخل برای مواد متخلخل رایج آورده شده است.

جدول (۱-۱) میزان تخلخل مواد متخلخل معمولی به نقل از شیدگر^۱ [۳]

تخلخل	مواد
۰/۹۸	فوم فلزی و سایر فوم ها
۰/۸۸-۰/۹۳	فایبر گلاس
۰/۶۸-۰/۷۶	سیم چین ها
۰/۶۵	دانه های سیلیکا
۰/۵۷-۰/۶۶	پودر سنگ سیاه
۰/۵۶-۰/۵	چرم
۰/۴۵	کاتالیست
۰/۴۴-۰/۴۵	گرانول
۰/۴۳-۰/۵۴	خاک
۰/۳۷-۰/۵۰	ماسه
۰/۳۷-۰/۴۹	پودر سیلیکا
۰/۰۲-۰/۰۷	بتون

۱-۱-۳- معادله ی پیوستگی در محیط های متخلخل

با استفاده از روش متوسط گیری حجمی محلی معادله ی پیوستگی در محیط متخلخل به صورت زیر بدست می آید:

$$\varepsilon \frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f V) = 0 \quad (1-1)$$

که در آن چگالی سیال می باشد. این معادله با انتخاب یک حجم معرف مناسب و مساوی قرار دادن آهنگ افزایش جرم سیال داخل حجم در نظر گرفته شده $(\frac{\partial \varepsilon \rho_f}{\partial t})$ ، با شار جرمی از حجم

¹Scheidegger