

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

**بررسی عددی پارامترهای هیدرودینامیکی و انتقال حرارت نانوسیالات در
چاه های گرمایی میکروکانال به وسیله آنالیز CFD**

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

زهرا یاری قلعه

استاد راهنما

دکتر مسعود حق شناس فرد

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی خانم زهرا یاری قلعه
تحت عنوان

**بررسی عددی پارامترهای هیدرودینامیکی و انتقال حرارت نانوسیالات در چاه های
گرمایی میکروکانال به وسیله آنالیز CFD**

در تاریخ ۹۳/۶/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر مسعود حق شناس فرد

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر محسن نصر اصفهانی

۳- استاد داور دکتر نسرين اعتصامي

۴- استاد داور دکتر محمد رضا سلیم پور

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر مرتضی صادقی

سپاس خدای بزرگ را که یاریم نمود تا برگی دیگر از زندگی علمی خود را با موفقیت و ورق زخم...
سپاس و قدردانی عمیق خود را نشانار خانواده ام می نمایم که اگر زحمت ها و حمایت های آنها نبود، نمی توانستم به این
مرحله از زندگیم برسم. از استاد گرامیم آقای دکتر حق شناس فرد کمال شکر را دارم به خاطر تمامی حمایت ها و
راهنمایی های ارزشمندشان. از استاد مشاور گرامیم آقای دکتر نصر شکر میکنم به خاطر راهنمایی های ارزنده ای که به
اینجانب عرضه داشتند. از داوران گرامی، خانم دکتر اعصامی و آقای دکتر سلیم پور ساکزارم که زحمت
بازخوانی پایان نامه من را قبول کردند. لازم میدانم که مراتب قدردانی خود را از استادان و ابراز نمایم به جهت
حمایت هایی که کار اینجانب به عمل آوردند. از خانم مهندس مریم بابایی و آقای مهندس روح الله صادقی
ساکزاری می کنم که بنده را در طول انجام کارم از راهنمایی های خودشان بی بهره نگذاشتند و در آخر برای تمامی
جویندگان دانش آرزوی موفقیت می نمایم.

زهرا یاری قلعه

تابستان ۹۳

... تقدیم بہ داستان پر مہر مادرم ...

چکیده

با رشد تکنولوژی کوچک سازی وسایل الکترونیکی و کاهش اندازه ی آن ها در دهه های اخیر، میزان بار حرارتی تولیدی در این وسایل بسیار افزایش یافته است که سبب آسیب زدن به این وسایل می شود. بنابراین تلاش برای حذف هر چه بیشتر این گرما، به یکی از مهم ترین دغدغه های عصر حاضر تبدیل شده است. یکی از مناسب ترین سیستم هایی که برای حذف گرمای اضافی تولید شده در طی چند دهه اخیر گسترش یافته است، سیستم چاه گرمایی میکروکانالی می باشد. این سیستم ها شامل مجموعه ای از میکروکانال ها است که در آرایه ای موازی قرار گرفته اند و نیز سیالی است که به عنوان خنک کننده از داخل این میکروکانال ها جریان یافته و حرارت تولید شده در قطعه الکترونیکی را با خود حمل می کند. هندسه میکروکانال ها و نیز نوع سیال عامل، دو فاکتور مهم هستند که بر روی عملکرد حرارتی سیستم های چاه گرمایی تأثیر می گذارند. از این رو مطالعات صورت گرفته بر روی این سیستم های حذف گرما، بر روی این دو عامل معطوف هستند تا اینکه با بهبود شرایط هریک، عملکرد حرارتی سیستم هر چه بیشتر افزایش یابد. کار حاضر، یک بررسی عددی است که با استفاده از CFD انجام شده است و به مطالعه پارامترهای هیدرودینامیکی و حرارتی جریان آب و نانوسیالات آلومینا-آب می پردازد. شبیه سازی انجام شده بر روی جریان آرام آب و نانوسیالات ۱٪ و ۲٪ حجمی آب/آلومینا در داخل میکروکانالی مستقیم می باشد. دیواره های کانال تحت شار حرارتی ثابت بوده و توان کل سیستم ۱۰۰ وات می باشد. مطالعه صورت گرفته به دو بخش تقسیم شده است. در بخش اول شبیه سازی آب و نانوسیالات به روش یک فازی و دوفازی مخلوط در داخل میکروکانال مستقیم انجام شده است و نتایج بدست آمده با داده های تجربی موجود در منابع کتابخانه ای مقایسه شده است. نتیجه مقایسه ها نشان داد که هردو شبیه سازی قادرند پارامترهای هیدرودینامیکی را تقریباً به طور یکسان و با دقت خوبی پیش بینی نمایند. در رابطه با پارامترهای حرارتی نظیر ضریب انتقال حرارت باید گفت که روش دوفازی دقیق تر می باشد و تطابق بیشتری با داده های تجربی داشت به طوری که متوسط خطای حاصل از شبیه سازی دوفازی برای نانوسیال ۱٪ و ۲٪ به ترتیب ۱۱/۳۹٪ و ۲٪ بود. در بخش دوم، به منظور بهره گیری از اثر پره ها در افزایش انتقال حرارت، در داخل میکروکانال مستقیم، دندانه هایی به عنوان پره در مسیر جریان قرار داده شد. با بررسی عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و نیز فاکتور بهبود حرارتی، تأثیر حضور این دندانه ها بر روی عملکرد میکروکانال و نیز عملکرد سیال عامل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، اثر اندازه و تعداد دندانه ها نیز بررسی شد و در نتیجه آن، کانال دارای ۵ دندانه با نسبت ظاهری ۲/۸۵۷ دارای بهترین عملکرد حرارتی بود.

کلمات کلیدی: چاه گرمایی میکروکانالی، نانوسیال، شبیه سازی دوفازی مخلوط، پارامترهای هیدرودینامیکی، انتقال حرارت، میکروکانال دندانه دار

فهرست مطالب

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
فهرست مطالب.....	هشت
فهرست اشکال.....	ده
فهرست جداول.....	سیزده
فهرست نمادها.....	چهارده
چکیده.....	۱
فصل اول-مقدمه	
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ میکروکانال.....	۳
۱-۲ طبقه بندی میکروکانال ها بر اساس اندازه آن ها.....	۳
۲-۲ دسته بندی رژیم جریان در میکروکانال ها.....	۳
۳-۱ نانوسیال.....	۶
۱-۳ تفاوت نانوسیال با سایر سوسپانسیون ها.....	۶
۲-۳ کاربردهای شناخته شده برای نانوسیالات [۱۹].....	۶
۳-۳ چالش های موجود در ارتباط با نانوسیالات.....	۷
۴-۳ روش های تولید نانوسیالات [۱۹].....	۷
۴-۱ اهمیت و اهداف کار حاضر.....	۸
۵-۱ محتوای فصل های پایان نامه.....	۸
فصل دوم- مروری بر پژوهش های صورت گرفته	
۱-۲ مقدمه.....	۱۰
۲-۲ پژوهش های تجربی صورت گرفته.....	۱۱
۳-۲ مطالعات عددی.....	۱۱
۴-۲ اهمیت و نوآوری های کار حاضر.....	۱۷
فصل سوم- شبیه سازی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی	
۱-۳ مقدمه.....	۱۹
۲-۳ مدل سازی با CFD.....	۲۰
۳-۳ مدل سازی یک فازی.....	۲۱
۴-۳ مدل سازی جریان های چند فازی [۵۷].....	۲۱
۱-۴-۳ جریان های گاز-مایع یا مایع-مایع.....	۲۲
۲-۴-۳ جریان های گاز- جامد.....	۲۲
۳-۴-۳ جریان های مایع- جامد.....	۲۲
۴-۴-۳ روش اولر [۵۸].....	۲۳
۵-۴-۳ روش حجم سیال (VOF) [۵۸].....	۲۵

۲۷	۳-۴-۶ روش مخلوط [۵۸].....
۲۹	۳-۴-۷ مدل فاز گسسته (DPM) [۴۲].....
	فصل چهارم - شبیه سازی یک فازی و دوفازی آب و نانوسیالات آلومینا-آب در داخل یک میکروکانال مستقیم
۳۳	۴-۱ مقدمه.....
۳۴	۴-۲ توصیف مسئله.....
۳۴	۴-۳ هندسه ی مسئله و دامنه ی محاسباتی.....
۳۶	۴-۴ مش بندی هندسه و بررسی استقلال از مش داده ها.....
۳۷	۴-۵ معادلات حاکم.....
۳۷	۴-۵-۱ مدل یک فازی.....
۳۷	۴-۵-۲ مدل دوفازی مخلوط.....
۳۹	۴-۶ خواص فیزیکی نانو سیالات.....
۴۰	۴-۷ شرایط مرزی.....
۴۱	۴-۸ روابط مورد استفاده.....
۴۲	۴-۹ الگوریتم حل.....
۴۲	۴-۱۰ بحث و نتایج.....
۴۲	۴-۱۰-۱ افت فشار و ضریب اصطکاک.....
۴۷	۴-۱۰-۲ تخمین ضریب انتقال حرارت جابه جایی و عدد ناسلت.....
	فصل پنجم - بررسی مشخصه های جریان آب و نانوسیالات آلومینا/آب در داخل میکروکانال دندان دار
۵۸	۵-۱ مقدمه.....
۵۹	۵-۲ توصیف مسئله و هندسه ی کانال.....
۶۰	۵-۳ مش بندی هندسه ی کانال.....
۶۰	۵-۴ روابط مورد استفاده.....
۶۱	۵-۵ بحث و نتایج.....
۶۲	۵-۵-۱ بررسی کانتورها و بردارهای جریان.....
۶۴	۵-۵-۲ تأثیر حضور دندانها در داخل کانال.....
۷۰	۵-۵-۳ عملکرد میکروکانال دندان دار در حضور نانوسیال.....
۷۳	۵-۵-۴ تأثیر سیال عامل بر عملکرد حرارتی میکروکانال دندان دار.....
۷۷	۵-۵-۵ تأثیر تعداد دندانها در عملکرد میکروکانال.....
	فصل ششم - نتیجه گیری
۸۱	۶-۱ جمع بندی کلی نتایج.....
۸۲	۶-۲ پیشنهاد کار برای آینده.....
۸۴	مراجع.....

فهرست شکل ها

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۱-۱) برخی از انواع میکروکانال ها [۲۵,۳].....	۵
شکل ۱-۴ سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده توسط لی ومدور [۵۹].....	۳۴
شکل ۲-۴ دامنه ی محاسباتی میکروکانال مورد بررسی [۵۹].....	۳۵
شکل ۳-۴ بررسی استقلال از مش داده ها برای آب خالص در رینولدز ۶۳۹ و توان ۳۰۰W.....	۳۶
شکل ۴-۴ مقایسه افت فشار حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی [۵۹] و مقادیر تئوری [۶۳] برای آب خالص ...	۴۲
شکل ۵-۴ مقایسه افت فشار حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی [۵۹] و مقادیر تئوری [۶۳] برای نانوسیال ۱٪	۴۳
حجمی آلومینا.....	۴۳
شکل ۶-۴ مقایسه افت فشار حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی [۵۹] و مقادیر تئوری [۶۳] برای نانوسیال ۲٪	۴۳
حجمی.....	۴۳
شکل ۷-۴ مقایسه ضریب اصطکاک بدست آمده از شبیه سازی با داده های تجربی [۵۹] و مقادیر تئوری [۶۳] برای آب خالص.....	۴۴
شکل ۸-۴ مقایسه ضریب اصطکاک حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی [۵۹] و مقادیر تئوری [۶۳] برای نانوسیال ۱٪	۴۴
حجمی آلومینا.....	۴۴
شکل ۹-۴ مقایسه ضریب اصطکاک حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی [۵۵] و مقادیر تئوری [۵۹] برای نانوسیال ۲٪	۴۵
حجمی آلومینا.....	۴۵
شکل ۱۰-۴ مقایسه افت فشار حاصل از شبیه سازی یک فازی برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف.....	۴۵
شکل ۱۱-۴ مقایسه افت فشار حاصل از شبیه سازی دو فازی برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف.....	۴۶
شکل ۱۲-۴ مقایسه ضریب اصطکاک حاصل از شبیه سازی یک فازی برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف.....	۴۶
شکل ۱۳-۴ مقایسه ضریب اصطکاک حاصل از شبیه سازی دوفازی برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف.....	۴۷
شکل ۱۴-۴ ضریب انتقال حرارت جابه جایی حاصل از شبیه سازی یک فازی برای آب خالص در توان های مختلف.....	۴۸
شکل ۱۵-۴ ضریب انتقال حرارت جابه جایی برای نانوسیال ۲٪ حجمی در توان های مختلف.....	۴۸
شکل ۱۶-۴ تغییرات اختلاف دمای متوسط دیواره کانال و نانوسیالات بر حسب رینولدز در توان های حرارتی مختلف.....	۴۹
شکل ۱۷-۴ مقایسه عدد ناسلت حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی و مقادیر تئوری بر حسب رینولدز برای نانوسیال ۱٪ حجمی.....	۵۰
شکل ۱۸-۴ مقایسه عدد ناسلت حاصل از شبیه سازی با داده های تجربی و مقادیر تئوری بر حسب رینولدز برای نانوسیال ۲٪ حجمی.....	۵۰
شکل ۱۹-۴ تغییرات ضریب انتقال حرارت با رینولدز برای نانوسیالات با غلظت های مختلف.....	۵۱
شکل ۲۰-۴ تغییرات ضریب انتقال حرارت در طول کانال برای نانوسیالات با غلظت های مختلف در $Re=۵۶۰$	۵۳

- شکل ۴-۲۱ کانتور دمایی ناحیه نزدیک خروجی کانال برای نانوسیال ۱٪ در $Re=760$ ۵۴
- شکل ۴-۲۲ کانتور دمایی ناحیه نزدیک خروجی کانال برای نانوسیال ۲٪ در $Re=760$ ۵۴
- شکل ۴-۲۳ پروفایل دما در عرض کانال برای نانوسیالات با غلظت های مختلف..... ۵۵
- شکل ۴-۲۴ پروفایل سرعت در عرض کانال برای نانوسیالات با غلظت های مختلف..... ۵۶
- شکل ۴-۲۵ پروفایل سرعت در طول کانال برای سیالات با غلظت های مختلف در رینولدز برابر 760 ۵۶
- شکل ۵-۱ هندسه ی میکروکانال دارای سه دندان با نسبت ظاهری 4 ۶۰
- شکل ۵-۲ کانتور سرعت جریان نانوسیال ۱٪ حجمی در $Re=560$ در داخل کانال با دندان $\alpha=4$ ۶۲
- شکل ۵-۳ کانتور فشار برای نانوسیال ۱٪ حجمی در $Re=560$ در داخل کانال با دندان $\alpha=4$ ۶۲
- شکل ۵-۴ بردارهای سرعت جریان نانوسیال ۱٪ حجمی در $Re=560$ برای $\alpha=4$ ۶۳
- شکل ۵-۵ اثر تغییرات عرضی موانع بر روی نسبت عدد ناسلت آب خالص..... ۶۴
- شکل ۵-۶ اثرات تغییر عرض موانع بر روی نسبت ضریب اصطکاک آب خالص..... ۶۴
- شکل ۵-۷ اثرات تغییر عرض موانع بر روی فاکتور بهبود حرارتی کانال..... ۶۵
- شکل ۵-۸ اثر تغییر ارتفاع دندان بر روی نسبت عدد ناسلت آب خالص..... ۶۶
- شکل ۵-۹ اثر تغییر ارتفاع بر روی نسبت ضریب اصطکاک برای آب خالص..... ۶۶
- شکل ۵-۱۰ اثر تغییر ارتفاع دندان بر روی فاکتور بهبود حرارتی آب خالص..... ۶۷
- شکل ۵-۱۱ تغییر نسبت عدد ناسلت بر حسب رینولدز در مقادیر مختلف α برای آب خالص..... ۶۸
- شکل ۵-۱۲ تغییر نسبت ضریب اصطکاک بر حسب رینولدز در مقادیر مختلف α برای آب خالص..... ۶۸
- شکل ۵-۱۳ تغییرات ضریب افزایش حرارتی بر حسب رینولدز در نسبت های ظاهری مختلف برای آب خالص..... ۶۹
- شکل ۵-۱۴ اثر تغییرات عرض دندان بر روی نسبت عدد ناسلت نانوسیال ۱٪..... ۷۰
- شکل ۵-۱۵ اثر تغییرات عرض دندان بر روی نسبت ضریب اصطکاک نانوسیال ۱٪..... ۷۰
- شکل ۵-۱۶ اثر تغییرات عرض دندان بر روی فاکتور بهبود حرارتی نانوسیال ۱٪..... ۷۱
- شکل ۵-۱۷ اثر تغییر ارتفاع دندان بر روی نسبت عدد ناسلت نانوسیال ۱٪..... ۷۱
- شکل ۵-۱۸ اثر تغییر ارتفاع دندان بر روی نسبت ضریب اصطکاک نانوسیال ۱٪..... ۷۲
- شکل ۵-۱۹ اثر تغییر ارتفاع دندان بر روی فاکتور بهبود حرارتی نانوسیال ۱٪..... ۷۲
- شکل ۵-۲۰ تغییرات ضریب افزایش حرارتی بر حسب رینولدز در مقادیر مختلف نسبت ظاهری برای نانوسیال ۱٪ حجمی..... ۷۳
- شکل ۵-۲۱ مقایسه تغییرات نسبت عدد ناسلت بر حسب رینولدز برای سیالات با غلظت های مختلف در نسبت $\alpha=2/857$ ۷۴
- شکل ۵-۲۲ مقایسه تغییرات نسبت ضریب اصطکاک بر حسب رینولدز برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف در نسبت ظاهری $\alpha=2/857$ ۷۴
- شکل ۵-۲۳ مقایسه تغییرات فاکتور بهبود حرارت بر حسب رینولدز برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف در نسبت ظاهری $\alpha=2/857$ ۷۵
- شکل ۵-۲۴ مقایسه ی عدد ناسلت بر حسب رینولدز برای سیالات با غلظت های حجمی مختلف در نسبت ظاهری $\alpha=2/857$ ۷۶
- شکل ۵-۲۵ مقایسه ضریب اصطکاک سیالات با غلظت های حجمی مختلف در نسبت ظاهری $\alpha=2/857$ ۷۷

- شکل ۲۶-۵ تغییرات نسبت عدد ناسلت بر حسب رینولدز در تعداد مختلف دندان‌ها برای آب خالص..... ۷۸
- شکل ۲۷-۵ نسبت ضرایب اصطکاک بر حسب رینولدز در تعداد مختلف دندان‌ها برای آب خالص..... ۷۸
- شکل ۲۸-۵ تغییرات فاکتور بهبود حرارتی بر حسب رینولدز در تعداد مختلف دندان‌ها برای آب خالص..... ۷۹

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

- جدول ۱-۱: طبقه بندی کانال‌ها [۲]..... ۲
- جدول ۱-۲: طبقه بندی رژیم جریان بر اساس محدوده‌های مختلف عدد نودسن..... ۳
- جدول ۱-۴: ابعاد بخش‌های مختلف دامنه محاسباتی میکروکانال [۵۹]..... ۳۴
- جدول ۲-۴: مقادیر توان و شارهای رسیده به محفظه و دیواره‌های کانال..... ۳۵
- جدول ۳-۴: خواص ترموفیزیکی محاسبه شده برای نانوسیالات در دمای 30°C و فشار 100kPa ۴۰
- جدول ۴-۴: خواص نانوذرات آلومینا..... ۴۰
- جدول ۱-۵: مشخصات هندسی دندانه‌های نصب شده در میکروکانال، ابعاد به mm می‌باشند..... ۵۹
- جدول ۲-۵: مشخصات دندانه‌های میکروکانال..... ۶۰

فهرست نمادها

λ	متوسط مسیر پویش آزاد مولکولی (m)
L	بعد مشخصه جریان (m)
R	ثابت جهانی گازها ($\text{Pa}\cdot\text{m}^3\text{Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$)
V	سرعت سیال (m/s)
k	هدایت حرارتی (w/m.K)
Cp	گرمای ویژه ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)
ΔP	افت فشار در طول کانال (Pa)
u	سرعت ورودی سیال (m/s)
h	ضریب انتقال حرارت ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
Q	توان حرارتی کل (W)
	<u>نشانه‌های اختصاری</u>
CFD	دینامیک سیالات محاسباتی
EXP	تجربی
Theoretical	نتایج تئوری
1-phase	نتایج شبیه سازی یک فازی
2-phase	نتایج شبیه سازی دوفازی
	<u>حروف یونانی</u>
μ	ویسکوزیته سیال
ρ	دانسیتة سیال
φ	کسر حجمی نانوذرات

اعداد بدون بعد

Kn	عدد نودسن
St	عدد استوکس
Re	عدد رینولدز
Nu	عدد ناسلت
Pr	عدد پرائتل
α	نسبت ظاهری
f	ضریب اصطکاک
η	فاکتور بهبود حرارتی

زیرنویس ها

m	مخلوط سیال
nf	نانوسیال
bf	سیال پایه
eff	موثر
P	ذرات
f	سیال
w	دیواره
avg	متوسط
b	توده سیال

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

پیشرفت های صورت گرفته در صنایع الکترونیکی در دهه های اخیر سبب شده است تا قطعات الکترونیکی با ابعاد میکرون تولید شوند. از جمله ی این وسایل می توان به میکرو سیستم های الکترونیکی و مکانیکی^۱ (MEMS) اشاره کرد. کاهش اندازه در وسایل الکترونیکی سبب شده است تا میزان حرارت تولیدی در این وسایل ونیز در مدارهای الکترونیکی بالا رود ، بنابراین استفاده از روش های قدیمی نظیر به کار بردن فن یا پره های فلزی کارایی چندانی ندارد، از این رو نیاز است تا از تکنولوژی های جدیدتری برای حذف حرارت تولید شده استفاده شود. سیستم های چاه گرمایی میکروکانالی^۲ (MCHS) یکی از تکنولوژی هایی است که در زمینه های مختلف از جمله زیست پزشکی، شیمی و الکترونیک استفاده می شود. کاربرد آن در الکترونیک خنک سازی MEMS ها ، مدارهای بزرگ- مقیاس ونیز تراشه های کامپیوتری می باشد. در ابتدای تولید این سیستم ها از جریان جابه جایی اجباری هوا جهت خنک سازی استفاده می شد اما بعدها پیشرفت بیشتر وسایل الکترونیکی و افزایش حرارت تلف شده در این وسایل، سبب شد تا از خنک کننده ی مایع استفاده شود. در بین خنک کننده های مایع تک فاز، آب به دلیل گرمای ویژه و نیز هدایت گرمایی بالا ، فراوانی در طبیعت و نیز سازگاری با محیط بهترین گزینه محسوب می شود. ذرات جامد به طور کلی هدایت حرارتی بهتری را به نسبت سیالات از خود نشان داده اند، از این رو پراکنده کردن این ذرات جامد در یک سیال، قادر است تا هدایت حرارتی خالص محلول را افزایش دهد. پیشرفت های اخیر در نانو تکنولوژی تولید ذرات نانو-اندازه را میسر کرده است.

یکی از مهم ترین انواع سیال های خنک کننده نانو سیال ها هستند که امروزه جایگاه ویژه ای در زمینه خنک کنندگی سیستم های MCHS پیدا کرده اند. نانو سیال ها سوسپانسیون های کلونیدی هستند که شامل ذرات نانو اندازه

¹ Micro-Electro mechanical system

² Micro-channel heat sink

می باشند (قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر) که در داخل یک سیال پایه پراکنده شده اند. جالب ترین قابلیت و مشخصه ای که نانو سیالات دارند این است که ذرات پراکنده شده به ندرت باعث مسدود شدن و یا ساییدگی سطح می شوند که این خصوصاً برای جریان های داخل میکرو کانال یک نکته ی مثبت است. [۱]

۲-۱ میکرو کانال

۱-۲-۱ طبقه بندی میکرو کانال ها بر اساس اندازه آن ها

طبقه بندی های مختلفی برای کانال ها وجود دارد اما یکی از ساده ترین طبقه بندی ها، دسته بندی صورت گرفته توسط کندلیکار و گرنده (۲۰۰۳) [۲] است که بر اساس ابعاد میکرو کانال صورت گرفته است. بر طبق این طبقه بندی کانالی را که کوچکترین بعد آن بین ۱۰ تا ۲۰۰ میکرون باشد، می توان میکرو کانال نامید.

جدول ۱-۱ طبقه بندی کانال ها [2]

Nanochannels	$D \leq 0.1 \mu\text{m}$
Transitional Microchannels	$1 \mu\text{m} < D < 10 \mu\text{m}$
Microchannels	$10 \mu\text{m} < D < 200 \mu\text{m}$
Minichannels	$200 \mu\text{m} < D < 3 \text{mm}$
Conventional channels	$3 \text{mm} < D$

در اینجا D کوچکترین بعد کانال است.

طبقه بندی ساده تری که وجود دارد، توسط ایت (۲۰۰۳) [۳] ارائه شده است که بر اساس قطر هیدرولیکی است. بر طبق این دسته بندی، کانال هایی با قطر هیدرولیکی کمتر از یک میلی متر را می توان میکرو کانال نامید. این دسته بندی برای کار حاضر مناسب تر است. طبقه بندی فوق توسط تعدادی دیگر از محققان نظیر بهرامی و جوانویچ (۲۰۰۶) [۴] و بایرکتارو پیدوگو (۲۰۰۶) [۵] پذیرفته شده است.

۲-۲-۱ دسته بندی رژیم جریان در میکرو کانال ها

دسته بندی رژیم جریان در میکرو کانال ها بر اساس عدد بدون بعد ناسن^۱ صورت می گیرد. این عدد نسبت متوسط مسیر پویش آزاد مولکولی را به بعد مشخصه جریان بیان می کند.

$$Kn = \frac{\lambda}{L} \quad (1-1)$$

که در اینجا λ همان متوسط مسیر پویش آزاد مولکولی است و L بعد مشخصه جریان است که در مورد کانال ها همان قطر هیدرولیکی می باشد.

یکی از دسته بندی های که در مورد رژیم جریان موجود در کانال ها صورت گرفته است، دسته بندی صورت گرفته توسط کندلیکار و گرنده (۲۰۰۳) [۲] است.

¹ Knudsen number

جدول ۱-۲ طبقه بندی رژیم جریان بر اساس محدوده های مختلف عدد نودسن

نوع رژیم جریان	محدوده عدد نودسن
جریان پیوسته	$Kn < 0.001$
جریان لغزشی	$0.001 < Kn < 0.1$
جریان انتقالی	$0.1 < Kn < 10$
جریان آزاد مولکولی	$Kn > 10$

بر طبق دسته بندی فوق، چنانچه عدد نودسن سیال کمتر از ۰/۰۰۱ باشد، می توان جریان را پیوسته فرض کرد. برای رژیم جریان پیوسته، معادلات حرکت ناویر-استوکس^۱ برای جریان صادق است و شرایط مرزی عدم لغزشی سرعت و عدم پرش دمایی برای دیواره ها برقرار است.

$0/1 < Kn < 0/001$ محدوده جریان لغزشی را شامل می شود. معادلات حرکت ناویر-استوکس با انجام اصلاحاتی بر روی آن ها قابل استفاده است و شرایط مرزی سرعت لغزشی و پرش دمایی به کار می رود.

$10 < Kn < 0/1$ برای رژیم جریان گذرا به کار می رود. این رژیم مابین جریان آزاد مولکولی و جریان لغزشی است که معادلات ناویر-استوکس برای این نوع جریان قابل استفاده نیست.

$Kn > 10$ جریان آزاد مولکولی است و باید جریان هر کدام از مولکول ها به صورت انفرادی مدل سازی شود. کوچک بودن عدد نودسن در دو صورت امکان پذیر است، یکی در صورت کوچک بودن مسیر پویس آزاد مولکول ها و دیگری در صورت بزرگ بودن بعد مشخصه کانال. در داخل میکروکانال ها به دلیل کوچک بودن قطر هیدرودینامیکی، عامل کوچک بودن عدد نودسن، کوچک بودن مسیر پویس آزاد مولکولی می باشد. برای پی بردن به این مطلب که آیا جریان داخل کانال پیوسته است یا خیر، باید عدد نودسن را برای آب محاسبه نمود. همانطور که در فصل های بعدی بیان می شود، قطر هیدرولیکی کانال های مورد بررسی در کار حاضر، برابر ۰/۳۴ میلی متر می باشد و از طریق رابطه زیر می توان عدد نودسن جریان را محاسبه نمود.

$$\lambda = \frac{\mu\sqrt{\pi}}{\sqrt{2\rho^2RT}} \quad [6](2-1)$$

بنابر رابطه فوق، مقادیر عدد نودسن بدست آمده برای جریان آب در محدوده تغییر دمایی داخل کانال، از 10^{-5} تا $9/61 \times 10^{-6}$ تغییر می کند. چون این محدوده بسیار کمتر از مقدار ۰/۰۰۱ می باشد، بنابراین با اطمینان می توان گفت که برای تمام سیالات بررسی شده و در همه محدوده های دمایی، جریان پیوسته است. بنابراین معادلات ناویر استوکس برای حرکت صادق است و شرط عدم لغزش برای سرعت و نیز عدم پرش دمایی در دیواره ها برقرار است.

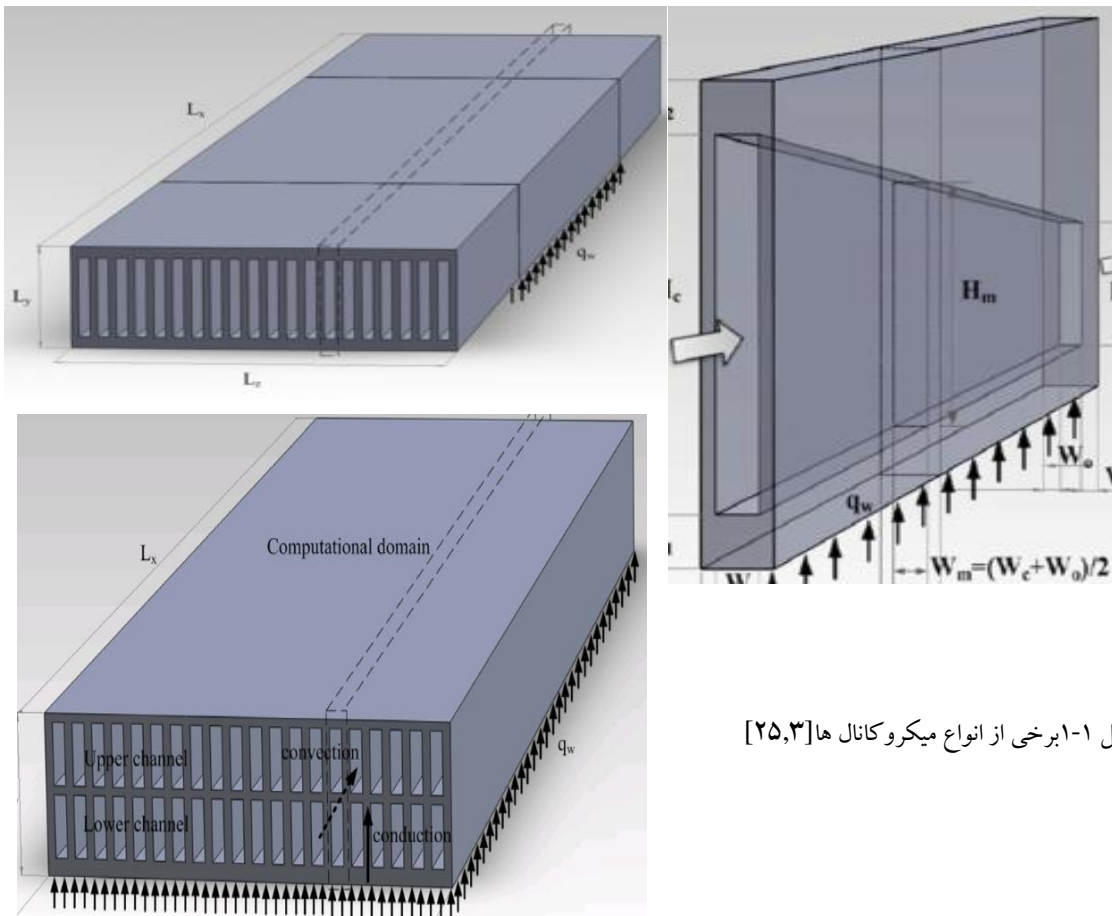
¹ Navier-stokes motion equation

میکرو کانال ها به سبب مزیت هایی که دارند در دهه های اخیر به عنوان سیستم های خنک کننده بسیار مورد توجه هستند، از جمله ی این ویژگی ها می توان به نسبت سطح به حجم بالای آن ها و حجم کوچک (که سبب انتقال جرم و حرارت با سرعت بالا می شود)، نیاز به خنک کننده ی کم و هزینه ی عملیاتی پایین اشاره کرد.[۷]

امروزه انواع مختلفی از میکرو کانال ها تولید می شوند، میکرو کانال های با مقاطع عرضی مختلف به شکل مدور، مستطیل، دوزنقه و... که کاربردهای خاصی دارند. گاهی شکل میکرو کانال متفاوت است، برخی از این اشکال عبارتند از: استوانه ای، مستطیلی، زیگزاگی، منحنی شکل، پلکانی، مارپیچی و دندانه دار، که همگی آن ها با هدف بررسی تأثیر هندسه ی میکرو کانال ها بر روی عملکرد سیستم های چاه گرمایی صورت گرفته است. یکی از ابتدایی ترین انواع میکرو کانال ها میکرو کانال یک لایه است که اولین بار توسط پیس و تاکرمن مورد استفاده قرار گرفته است.[۸]

این نوع از میکرو کانال جدای از مزایای کلی که بین تمام میکرو کانال ها عمومیت دارد، به دلیل ساختار هندسی یک لایه ای که دارد، سبب بروز برخی از مشکلات می شود مانند توزیع بالا و غیر یکنواخت دما در طول کانال، که باعث می شود در داخل چیپ های الکترونیکی تنش حرارتی ایجاد شده و همین سبب کاهش کارایی الکتریکی قطعه می شود. یکی از راه های رفع این توزیع دمایی دولایه در نظر گرفتن کانال است.[۷]

در شکل ۱-۱ برخی از انواع میکرو کانال ها نشان داده شده است.



شکل ۱-۱ برخی از انواع میکرو کانال ها [۲۵،۳]

۳-۱ نانوسیال

نانوسیالات گروه جدیدی از سیالات هستند که اگر چه ماهیت آن ها نخستین بار توسط ماکسول (۱۸۸۱) [۹] مطرح شد، اما معرفی آن به عنوان کلوئیدی پایدار که قادر است به عنوان خنک کننده استفاده شود، نخستین بار در آزمایشگاه ملی آرگون در ایالات متحده آمریکا توسط چوی و همکاران (۱۹۹۵) [۱۰] ارائه شد. نانوسیالات از دو بخش ساخته شده اند. یکی سیال پایه که می تواند هر کدام از انواع سیالات حامل انرژی مانند آب، اتیلن گلیکول و یا روغن موتور باشد و بخش دیگر شامل نانوذراتی است که می توانند اکسید فلزی باشند مانند انواع ذرات تیتانیا^۱ (TiO₂)، آلومینا^۲ (Al₂O₃)، سیلیکا^۳ (SiO₂) و یا اکسید مس و یا نانو ذرات فلزی مانند مس باشند. نانو لوله های کربنی نیز می توانند مورد استفاده قرار گیرند. همانطور که از نام نانوذرات پیداست اندازه ذرات در ابعاد نانو است (کمتر از 100nm). آنچه که باعث شده تا مورد استفاده واقع شوند این است که این نانوذرات به دلیل بالابودن هدایت گرمایی شان قادرند که میزان انتقال حرارت را افزایش داده و عملکرد سیال پایه را بهبود بخشند [۱۱-۱۸]. از نانو سیالات می توان به منظور توسعه سیستم های کنترل حرارت در بسیاری کاربردها از جمله وسایل نقلیه سنگین استفاده نمود. کنترل حرارت یکی از عوامل کلیدی در فناوری های مربوط به محصولات پیل سوختی و وسایل نقلیه دو گانه سوز - الکتریکی می باشد که بیشتر آنها تحت دماهای عموماً کمتر از دمای موتورهای احتراقی متداول، عمل می کنند و هم چنین به کارگیری نانوسیالات در چاه های حرارتی میکروکانال از جمله کاربردهایی است که در سال های اخیر به میزان زیادی مورد توجه قرار گرفته است. [۱۹]

۱-۳-۱ تفاوت نانوسیال با سایر سوسپانسیون ها

نانوسیال با سوسپانسیون های عادی متفاوت است، از جمله این تفاوت ها می توان به موارد زیر اشاره کرد: [۱۹]

- سطح ویژه ی بالا و در نتیجه انتقال حرارت بیشتر بین سیال ها و ذرات
- پراکندگی پایدار به وسیله ی حرکت براونی^۴ غالب ذرات
- توان پمپ کنندگی کمتر در مقایسه با سیال پایه، برای رسیدن به یک مقدار مساوی از افزایش انتقال حرارت
- ایجاد انسداد کمتر نسبت به سایر محلول ها، در نتیجه برای سیستم های کوچک اندازه مناسب هستند.
- قابلیت بدست آوردن خواصی نظیر هدایت گرمایی و ترکندگی سطح، از طریق تغییر غلظت های ذرات پراکنده شده در سیال پایه برای اینکه مناسب کاربردهای مختلف شوند.

۲-۳-۱ کاربردهای شناخته شده برای نانوسیالات [۱۹]

- خنک کنندگی موتور
- سرمایش و گرمایش ساختمان ها
- خنک کنندگی وسایل الکترونیکی
- خنک کردن جوشکاری

¹ Titania

² Alumina

³ silica

⁴ Brownian motion