بسم الله الرحمن الرحيم

**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران مرکزی**

**دانشکده فنی مهندسی**

**پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد"M.Sc"**

**مهندسی مکانیک –گرایش تبدیل انرژی**

**عنوان:**

# مطالعه‌ی عددی جریان آشفته ی عبوری در دسته لوله با آرایش شطرنجی با ویژگی های متغیر نانوسیالات

**استاد راهنما :**

**دکتر موسی فرهادی**

**استاد مشاور:**

**دکتر آرش میر عبدالله لواسانی**

**پژوهشگر :**

**سید سجاد تاجداران**

**خرداد ۹۲**

Islamic Azad University

Central Tehran Branch

Faculty of Engineering and Technology

Department of Mechanical Engineering

(M. Sc) Thesis

Mechanical Engineering-Energy Conversion

Subject:

# Numerical Investigation of Turbulent Cross-flow Over Staggered Tube Bundle Considering Variable Characteristics of Nanofluids

Supervisor:

Dr. Mousa Farhadi

Advisor:

Dr. A. M. Lavasani

By:

Seyyed Sadjad Tajdaran

June 2013

**با تشکر و قدردانی**

از استاد فرهیخته و گرامی جناب آقای دکتر موسی فرهادی که در طول انجام این پژوهش همواره من را راهنمایی و یاری فرمودند.

**تقدیم به**

پدر و مادر عزیزم برای یک عمر تلاش بی‌دریغشان

فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**

فهرست مطالب.....و

فهرست جداول.....ط

فهرست اشکال.....ی

فهرست علائم.....م

چکیده..... ۱

فصل اول: مقدمه ..... ۳

۱-۱ مقدمه..... ٤

۱-۲روشهای افزایش انتقال حرارت..... ٤

۱-۲-۱ روش غیر فعال..... ٤

۱-۲-۲روش های فعال..... ٥

۱-۲-۳ روشهای تلفیقی..... ٦

۱-۲-٤ مکانیزم افزایش انتقال حرارت..... ٦

۱-۳ روش های تولید نانوسیالات..... ۷

۱-٤ تاریخچه..... ۹

۱-٤-۱ استفاده از نانوسیالات..... ۹

۱-٤-۲ جریان آشفته در دسته لوله..... ۱۲

فصل دوم: مدلسازی ریاضی و معادلات حاکم..... ۱۸

۲-۱ فرضیات..... ۱۹

۲-۲ خواص ترموفیزیکی نانوسیالات ..... ۱۹
۲-۲-۱ لزجت ..... ۱۹
۲-۲-۲ هدایت حرارتی ..... ۲۰
۲-۲-۳ چگالی و ظرفیت گرمایی ..... ۲۰
۲-۲-٤ مشخصات نانوسیالات بکار برده شده ..... ۲۱
۲-۳ معادلات حاکم ..... ۲۲
۲-٤ اعداد بی بعد ..... ۲۳
۲-٥ مدل آشفتگی ..... ۲٤
۲-٦ هندسه ی دسته لوله ..... ۲٦
۲-۷ شرایط مرزی ..... ۲٦
۲-۸ تابع دیواره ..... ۲٦
۲-۸-۱ مدل دو لایه ای ..... ۲۷
۲-۸-۲ توابع بهبود یافته ی دیواره ..... ۲۷
فصل سوم: روش حل ..... ۲۸
۳-۱ تعریف مساله ..... ۲۹
۳-۲ تولید شبکه ..... ۲۹
۳-۳ حل عددی ..... ۳۰
۳-۳-۱ روش حجم محدود ..... ۳۱
۳-٤ انتخاب اندازه و بررسی حساسیت شبکه ..... ۳۲
۳-٥ تنظیمات نرم افزار FLUENT ..... ۳۸

فصل چهارم: نتایج و بحث ..... ۳۹
٤-۱ اعتبارسنجی ..... ٤۰
٤-۲ تاثیرات حرارتی و هیدرولیکیِ افزایش عدد رینولدز و نسبت های گام به قطر عرضی و طولی. ..... ٤۹
٤-۳ تاثیر افزودن نانوذرات به سیال پایه ..... ۵۵
٤-۳-۱ بررسی تأثیر غلظت حجمی نانوذرات حل شده در نانوسیال و عدد رینولدز بر عدد ناسلت ..... ۵۹
٤-۳-۲ بررسی تأثیر غلظت حجمی نانوذرات حل شده در نانوسیال و عدد رینولدز بر افت فشار میانگین روی لوله..... ٦۳
٤-۳-۳ نسبت عملکرد کلی حرارتی هیدرولیکی..... ٦٦
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۷۰
۵-۱ نتیجه گیری ..... ۷۱
۵-۲ پیشنهاد برای کارهای آینده..... ۷۳
مراجع ..... ۷٤
**Abstract**..... ۸۱

**فهرست جداول**

**عنوان** **صفحه**

جدول ۲-۱ ویژگی های ترموفیزیکی سیال پایه..... ۲٤
جدول ۲-۲ مقادیر ظرفیت حرارتی، ضریب هدایت حرارتی، و چگالی مواد مختلف استفاده شده در این مطالعه به عنوان ذرات معلق در نانوسیالات..... ۲۵
جدول ۲-۳ ویژگی های نانوسیالات بکار رفته در این شبیه سازی..... ۲۵
جدول ۲-٤ مشخصات هندسی دسته لوله..... ۳۱
جدول ۳-۱ جزئیات شبکه های استفاده شده در تست عدم وابستگی به شبکه..... ۳۹
جدول ۳-۲ تنظیمات نرم افزار فلوئنت برای مدلسازی دوبعدی جریان عبوری از دسته لوله..... ٤٤
جدول ٤-۱ آرایش های مختلف دسته لوله های بررسی شده در این تحقیق..... ۵۹
جدول ٤-۲ مقادیر عدد ناسلت حاصل از بررسی های انجام شده با اعداد رینولدز و غلظت های حجمی نانوذرات مختلف..... ۷۱

## فهرست اشکال

**عنوان** **صفحه**


شکل۲-۱ هندسه ی حوزه محاسباتی..... ۳۱

شکل۳-۱ شبکه ی ایجاد شده در گمبیت برای دسته لوله ی مورد مطالعه؛ شبکه ی C..... ۳۵

شکل ۳-۲ حجم کنترل استفاده شده برای توضیح روش حجم محدود..... ۳۷

شکل ۳-۳ بزرگنمایی شبکه های ایجاد شده؛ الف) شبکه ی B؛ ب) شبکه ی C..... ٤۰

شکل۳-٤ خطوط جریان و مکان $x_r$، مقطع انتخاب شده برای تست عدم وابستگی به شبکه ٤۱

شکل ۳-۵ تست عدم وابستگی به شبکه؛ الف) نمونه پروفایل سرعت محوری در $X_r$؛
ب) نمونه پروفایل سرعت عرضی در $X_r$..... ٤۳

شکل٤-۱ حوزه ی محاسباتی در نظر گرفته شده برای اعتبارسنجی، که نمایشگر مکان هایی
است که نتایج از آن استخراج شده است..... ٤۷

شکل ٤-۲ پروفایل های تهیه شده از سرعت محوری در مقاطع: الف) $X = X_i$،
ب) $X = X_r$، ج) $Y = Y_{wake}$، د) $Y = Y_{impact}$..... ۵۰

شکل ٤-۳. پروفایل های تهیه شده از سرعت عرضی در مقاطع: الف) $X = X_i$،
ب) $X = X_r$، ج) $Y = Y_{wake}$..... ۵۲

شکل ٤-٤. نمایش خطوط سرعت جریان در نواحی انتخاب شده برای اعتبار سنجی؛
هندسه ی سیمونین و بارکودا..... ۵۳

شکل ٤-۵ حوزه ی محاسباتی اعتبار سنجی؛ هندسه ی بررسی شده توسط وانگ و
همکاران..... ۵٤

شکل ٤-٦. نمایش کانتور دما حاصل از شبیه سازی حاضر در نواحی انتخاب شده جهت
اعتبارسنجی؛هندسه‌ی بررسی شده توسط وانگ وهمکاران..... ۵۵

شکل ٤-٧. پروفیل های میانگین دما در مقاطع: الف) $X = X_i$، ب) $X = X_r$..... ٥٦

شکل ٤-٨ تغییرات پارامترهای دما و فشار در اعداد رینولدز مختلف. الف) کانتور دما، ب) کانتور فشار..... ٥٨

شکل ٤-٩ کانتور فشار برای دسته لوله های با مدول های مختلف؛ الف) مدول A، ب)مدول B، ج) مدولC..... ٦٠

شکل ٤-١٠ کانتور دما برای دسته لوله های با مدول های مختلف؛ الف) مدول A، ب) مدول B، ج) مدول C..... ٦٢

شکل ٤-١١ تغییرات عدد ناسلت برای دسته لوله های با مدول های مختلف بررسی شده در این تحقیق همراه با افزایش عدد رینولدز..... ٦٣

شکل ٤-١٢ کانتور دمای جریان سیال در مقایسه با نانوسیال های مختلف. عدد رینولدز$^{4}$۱۰×۱/۸..... ٦٥

شکل ٤-١٣ کانتور فشار جریان سیال در مقایسه با نانوسیال های مختلف. عدد رینولدز$^{4}$۱۰×۳..... ٦٧

شکل٤-١٤ تغییرات عدد ناسلت بی بعد نانوسیال$CuO$-اتیلن گلیکول/آبدر اعداد رینولدزمختلف با غلظت های حجمی مختلف نانوذرات..... ٦٨

شکل٤-١٥ تغییرات عدد ناسلت بی بعد نانوسیال$Al_2O_3$-اتیلن گلیکول/آب در اعداد رینولدز مختلف با غلظت های حجمی مختلف نانوذرات..... ٦٩

شکل٤-١٦ تغییرات عدد ناسلت بی بعد نانوسیال $TiO_2$-اتیلن گلیکول/آب در اعداد رینولدز مختلف با غلظت های حجمی مختلف نانوذرات..... ٧٠

شکل٤-١٧ تغییرات ضریب فشار میانگین روی لوله؛ نانوسیال $CuO$-اتیلن گلیکول/آب در اعداد رینولدز مختلف با غلظت های حجمی مختلف نانوذرات..... ٧٣

شکل٤-١٨ تغییرات ضریب فشار میانگین روی لوله؛ نانوسیال $Al_2O_3$-اتیلن گلیکول/آب در اعداد رینولدز مختلف با غلظت های حجمی مختلف نانوذرات..... ٧٤

شکل٤-١٩ تغییرات ضریب فشار میانگین روی لوله؛ نانوسیال $TiO_2$-اتیلن گلیکول/آب در اعداد رینولدز مختلف با غلظت های حجمی مختلف نانو..... ٧٥

شکل٤-٢٠ عملکرد کلی حرارتی-هیدرولیکی برای نانوسیالات بررسی شده با غلظت حجمی ۲٪..... ٧٦

شکل٤-٢١ عملکرد کلی حرارتی-هیدرولیکی برای نانوسیالات بررسی شده با غلظت حجمی ٤٪ ..... ٧٧
شکل٤-٢٢ عملکرد کلی حرارتی-هیدرولیکی برای نانوسیالات بررسی شده با غلظت حجمی ٦٪ ..... ٧٨

# فهرست علائم

| | | | |
|---|---|---|---|
| $C_p$ | ضریب فشار | $P_T$ | گام عرضی |
| $c_p$ | ظرفیت گرمایی ویژه | $q''$ | شار حرارتی |
| D | قطر لوله | $\vec{r}$ | بردار مکان |
| H | ضریب انتقال حرارت | Re | عدد رینولدز |
| K | هدایت حرارتی | T | دما |
| Nu | عدد ناسلت | u | سرعت |
| P | فشار | $V_0$ | سرعت مرجع |
| $P_L$ | گام طولی | | |

**علائم یونانی**

| | |
|---|---|
| $\alpha$ | ضریب پخش گرمایی |
| $\eta$ | نسبت عملکرد کلی حرارتی هیدرولیکی |
| $\mu$ | ویسکوزیته ی دینامیکی سیال |
| $\rho$ | چگالی |
| $\varphi$ | غلظت حجمی |

**زیرنویس ها**

| | |
|---|---|
| Bm | مقدار متوسط توده ی سیال |
| Nf | نانوسیال |
| Np | نانوذره |
| W | دیواره ی لوله |
| In | ورودی |

چکیده

هدف اصلی این پایان نامه بررسی همزمان جریان آشفته ی عبوری از دسته لوله و استفاده از نانوسیالات، در یک دسته لوله با هندسه ی معین و مشاهده ی رفتار حرارتی و هیدرولیکی جریان، است. هندسه ی مورد بررسی شامل هفت ردیف لوله‌ی افقی با آرایش شطرنجی و مقطع دایره ای و قطر خارجی ۲۱/۷ mm ، گام طولی ۲۲/۵ mm، و گام عرضی ۴۵ mm است. مطالعه ی عددی با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی(CFD) FLUENT صورت گرفته است. مدل‌سازی جریان به صورت دو بعدی بوده و از معادلات متوسط زمانی ناویر استوکس (RANS) با بکارگیری مدل آشفتگی Realizable k-ε در بررسی عددی جریان استفاده شده است. ابتدا شبیه‌سازی جریان برای جریان آشفته سیال خالص عبوری از دسته لوله جهت اعتبارسنجی و مقایسه ی حل عددی حاضر و کارهای پیشین، صورت گرفته است. سپس جریان آشفته‌ی عبوری نانوسیالات از دسته لوله مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه از سه نانوسیال ($CuO, Al_2O_3, TiO_2$) در مخلوط آب و اتیلن-گلیکول، با خواص ترموفیزیکی مختلف استفاده شده است. شبیه سازی عددی در سه عدد رینولدز $1/8\times10^4$، $2/3\times10^4$ و $3\times10^4$ انجام شده و نتایج حاصل از آنها با هم مقایسه شده است. همچنین با تغییر گام های طولی و عرضی بین لوله ها تاثیر تغییر این پارامتر بر جریان و انتقال حرارت بررسی شده است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی انجام شده حاکی از مطابقت بسیار خوب نتایج مطالعه‌ی حاضر و مطالعات عددی پیشین و اندازه گیری‌های انجام شده است. شبیه‌سازی عددی جریان نشان می دهد با افزایش گام‌های طولی و عرضی عدد ناسلت میانگین روی لوله ۸/۱% کاهش و با افزایش عدد رینولدز از $1/8\times10^4$ به $3\times10^4$ عدد ناسلت ۴۸% افزایش می یابد. پیش‌بینی جریان نانوسیالات نیز نشان دهنده‌ی افزایش انتقال حرارت با افزایش عدد رینولدز است. نانوسیال CuO-اتیلن گلیکول/آب با غلظت حجمی نانوذرات ۶% بیش از بقیه نانوسیالات تحت تاثیر عدد رینولدز قرار دارند، به طوریکه عدد ناسلت، با افزایش عدد رینولدز از $1/8\times10^4$ به $3\times10^4$، حدود ۴۹/۵% رشد، نشان می‌دهد. با افزودن نانوذرات به سیال پایه نیز عدد ناسلت افزایش می‌یابد، چنانکه بیشترین افزایش برای $Al_2O_3$-اتیلن گلیکول/آب با غلظت حجمی نانوذرات ۶%، در عدد رینولدز $3\times10^4$ مشاهده شده است که نسبت به سیال پایه ۱/۱۳ برابر می شود، همچنین با افزایش غلظت حجمی نانوذرات عملکرد حرارتی نانوسیالات بهبود می یابد به طوریکه نتایج نشان دهنده ی بیشترین تاثیر افزایش غلظت حجمی بر عدد ناسلت، برای $Al_2O_3$-اتیلن گلیکول/آب، در عدد رینولدز $3\times10^4$ (۸/۴%) است. افت فشار روند مشخصی نسبت به میزان غلظت حجمی نشان نمی دهد اما برای همه‌ی نانوسیالات با افزایش عدد رینولدز افت فشار افزایش می‌یابد و این افزایش با تغییر عدد رینولدز از $1/8\times10^4$ به $3\times10^4$ برای نانوسیال CuO-اتیلن گلیکول/آب، با غلظت حجمی ۴%، ۱۴/۲% می‌باشد که بیشترین تغییر در افت فشار میان نانوسیالات استفاده شده با غلظت‌های حجمی متفاوت است. در نهایت نتایج نشان می دهد که نسبت عملکرد حرارتی هیدرولیکی همه ی نانوسیالات بالاتر از یک است که حاکی از عملکرد مناسب تر همه ی نانوسیالات نسبت به سیال پایه است. نتایج

حاصل از شبیه‌سازی نشان می دهد که نانوسیال $Al_2O_3$-اتیلن گلیکول/آب با غلظت حجمی ٦% در عدد رینولدز $۱/۸\times۱۰^{٤}$ بهترین عملکرد حرارتی هیدرولیکی را نسبت به دیگر نانوسیالات بررسی شده در اعداد رینولدز مختلف دارند.

کلمات کلیدی: دسته لوله، آرایش شطرنجی، لوله‌های دایره ای، جریان آشفته، نانوسیالات، نانوذرات، مدل آشفتگی Realizable k-ε.

# فصل اول

# مقدمه

**۱-۱ مقدمه**

مبدل های حرارتی تجهیزاتی هستند که برای انتقال حرارت از یک رسانه به رسانه ی دیگر مورد استفاده ساخته شده اند. یکی از انواع مبدل های حرارتی ، شامل سلسله لوله هایی است که دما یا شار حرارتی مشخصی دارند و سیالی از روی آنها جهت سرمایش یا گرمایش عبور می کند. به این سلسله لوله ها دسته لوله گفته می شود. مبدل ها به طور گسترده در گرمایش و سرمایش محیط، تهویه مطبوع، نیروگاه ها، کارخانه های مواد شیمیایی ،کارخانه های پتروشیمی، پالایشگاه های نفتی، فرآوری گاز طبیعی، و بازیافت فاضلاب مورد استفاده هستند. از این رو است که مطالعات زیادی در زمینه بررسی جریان و انتقال حرارت دسته لوله ها جهت بهبود پارامترهای انتقال حرارت و جریان صورت گرفته است .

**۱-۲روشهای افزایش انتقال حرارت**

انتقال حرارت را با تکنیک های تقویتی مختلفی که در زیر می آید می توان افزایش داد. به طور کلی این تکنیک ها اینگونه دسته بندی می شوند:

۱) روش های غیر فعال
۲) روش های فعال
۳) روش های تلفیقی

**۱-۲-۱ روش غیر فعال**

در این تکنیک ها به طور کلی از اصلاحات سطح یا هندسی کانال جریان توسط ابزارهای اضافی یا افزودنی ها ، استفاده می شود. این روشها ضرایب انتقال حرارت بالاتری را با آشفته کردن یا تغییر رفتار جریان تولید میکنند که البته منجر به افزایش افت فشار نیز می شود. اگر سطوح گسترش یافته داشته باشیم ، انتقال حرارت مؤثر اطراف سطح گسترش یافته افزایش می یابد. روش های غیر فعال این مزیت را نسبت به روش های فعال دارند که به طور مستقیم به ورود نیروی خارجی نیازمند نیستند.

این روشها به ورود مستقیم نیروی خارجی نیازمند نیستند؛ بلکه ازخود سیستم نیروی لازم را تأمین می کنند که نهایتاً منجر به افزایش افت فشار سیال خواهد شد. این تکنیک ها به طور کلی با اصلاح سطح یا هندسه ی کانال جریان با ترکیب یا یکی کردن ابزارهای اضافی با کانال ، اعمال می شود. این روشها ضرایب انتقال حرارت بالاتری را با آشفته کردن یا تغییر

رفتار جریان تولید میکنند که البته منجر به افزایش افت فشار نیز می شود. تقویت انتقال حرارت توسط این روشها از طرق مختلفی که در ادامه ذکر می شود انجام می گیرد:

۱)سطوحی که روی آنها عملیاتی انجام شده است: این سطوح به دلیل پرداخت یا پوشش دهی خوبشان، از مقیاس تغییر خوبی برخوردار هستند که ممکن است ممتد یا غیر ممتد باشد. این ها معمولاً در مصارف چگالیدن و جوشیدن استفاده می شوند.

۲)سطوح خشن: اصطلاحاً به سطوحی گفته می شود که آشفتگی را در میدان جریان را در نواحی دیواره و نه در نواحی سطوح انتقال حرارت، افزایش می دهند. از این روش اغلب در جریان‌های تک فاز استفاده می‌شود.

۳)سطوح گسترش یافته: این سطوح افزایش انتقال حرارت مؤثر را فراهم می کنند. پیشرفت های اخیر منتج به سطوح پره‌دار اصلاح شده ای است که علاوه بر افزایش سطح، ضرایب انتقال حرارت بهتری را با توزیع میدان جریان تولید می کنند.

۴)ابزارهای جابه‌جا کننده: این‌ها ابزارهایی هستند که مخصوصا برای انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری محدود استفاده می شوند، و به طور غیر مستقیم انتقال انرژی را در سطوح تبادل انتقال حرارت بهبود می بخشند. اینکار از طریق جابه جایی سیال از سطح گرم یا سرد شده‌ی مجرا، با توده ی سیال در هسته ی جریان، انجام می گیرد.

۵)ابزارهای چرخش جریان: این ابزارها به جریان محوری درون کانال ، جریان چرخشی یا بازچرخش ثانویه را اعمال میکنند. اینها شامل،ابزارهای الحاقی لوله مانند تسمه ی خورشیدی یا نوار پیچ خورده است. این ابزار قابل استفاده برای جریان‌های تک‌فاز و دو فاز است.

۶)لوله های فنری شکل:اینها نسبتاً مبدل های حرارتی منسجم تری را تولید می کنند.این باعث می شود که جریان های ثانویه و گردابه هایی بوجود می آورد که ضرایب انتقال حرارت را در جریان های تک فاز مانند بسیاری از نواحی در حال جوشش افزایش می دهد.

۷)ابزارهای تنش سطح: اینها شامل سطوحی با شیار یا برجستگی است، که جریان مایع را به سطوح جوش آورنده و از سطوح چگالنده هدایت می کند و بهبود می دهد.

۸)مواد افزودنی به مایعات: این روش شامل اضافه کردن ذرات جامد، مقادیری محلول مواد افزودنی، و حباب های گاز در جریان های تک فاز است که اغلب از تنش سطحی مایع در سیستم های غلیانی می کاهد.

۹)مواد افزودنی برای گازها: اینها شامل قطرات مایع و ذرات جامد می شود که به عنوان جریان گاز تک فاز شناخته شده است چه با عنوان فاز رقیق(محلول گاز-جامد) و یا فاز متراکم( بسترهای سیال شده).

### ۱-۲-۲روش های فعال

این روشها به لحاظ استفاده و طراحی بسیار پیچیده است، چنانکه نیازمند نیروی ورودی خارجی است تا اصلاحات مطلوب جریان و بهبودی نرخ انتقال حرارت را نتیجه دهد. این روش به دلیل نیاز به نیروی خارجی در بسیاری از کاربردهای عملی، استفاده‌ی محدودی دارد . بر

خلاف روش های غیر فعال، این روش ها پتانسیل بالایی را نشان نداده اند، چنان که فراهم کردن نیروی ورودی خارجی در موارد زیادی مشکل است.
در این موارد، نیروی خارجی برای اصلاح جریان و به طور همزمان بهبود نرخ انتقال حرارت استفاده می شود. افزایش انتقال حرارت در این روش به وسیله‌ی شیوه های زیر قابل دستیابی است:
۱)کمک های مکانیکی: این آلات، جریان را با استفاده از وسایل مکانیکی یا چرخاندن سطح تحریک می‌کنند و به حرکت درمی‌آورند. این‌ها شامل مبدل های حرارتی با لوله ها دوار و مبدل های حرارتی و جرمی با صفحه های تکه ای می شود.
۲)به لرزش در آوردن صفحه: این روش به جریان های تک فاز اعمال می شود تا ضرایب انتقال حرارت بالاتری را نتیجه دهد.
۳)به لرزش در آوردن سیال: این روش بیشتر برای جریان های تک فاز استفاده می شود که از کاربردی ترین روش های افزایش انتقال حرارت با تکنیک لرزش می‌باشد.
۴)میدان های الکترواستاتیک: این روش می تواند به شکل میدان های الکتریکی یا مغناطیسی و یا ترکیبی باشد که از منابع dc یا ac تولید می شود و قابل اعمال به سیستم های مبدل حرارتی است که حاوی سیالات دی الکتریک هستند. بر اساس کاربرد، حتی می تواند توده های مخلوط بزرگتری تولید کند و انتقال حرارت جا به جایی اجباری یا پمپ کردن الکترومغناطیسی را تحریک کند تا انتقال حرارت بهتری انجام دهند.
۵)تزریق: این تکنیک برای جریان تک فاز استفاده می شود و به روشی گفته می شود که سیال مشابه یا متفاوتی از طریق بالادست ناحیه ی انتقال حرارت و یا با استفاده از سطوح انتقال حرارت متخلخل، به جریان توده ی سیال تزریق شود.
۶)مکش: شامل بخار زدایی در غلیان فیلمی یا هسته دار از طریق سطح متخلخل گرم شده، و یا خروج سیال از سطح متخلخل حرارت یافته در جریان تک فاز است.
۷)برخورد جت: به معنی جهت گرمایش یا سرمایش سیال ، عمود یا مورب بر سطح انتقال حرارت است.

### ۱-۲-۳ روشهای تلفیقی

روش افزایش تلفیقی به روشی گفته می شود که بیش از یکی از روش های بالا در آن استفاده می شود تا بهبود بیشتری در کارکرد ترموهیدرولیکی یک مبدل حرارتی داشته باشیم. این روش طراحی پیچیده ای دارد و البته کاربردهایش محدود است.

### ۱-۲-٤ مکانیزم افزایش انتقال حرارت

حداقل یکی از مکانیزم های بهبود انتقال حرارت به یکی از صورت های زیر است:

۱) استفاده از سطح انتقال حرارت ثانویه
۲) آشفته کردن سرعت افزایش نیافته سیال
۳) آشفته کردن زیر لایه آرام در لایه مرزی آشفته

۴) وارد کردن جریان های ثانویه
۵) گسترش جدایش لایه مرزی
۶) افزایش پیوست/دوباره پیوست جریان
۷) افزایش هدایت حرارتی مؤثر سیال در شرایط استاتیک
۸) افزایش هدایت حرارتی مؤثر سیال در شرایط دینامیک
۹) به تعویق انداختن گسترش لایه مرزی
۱۰)انتشار حرارتی
۱۱) افزایش مرتبه ی مولکول های سیال
۱۲) بازتوزیع جریان
۱۳) اصلاح خاصیت تابشی رسانه ی همرفتی
۱۴) افزایش اختلاف دمای سطح و سیال
۱۵) افزایش هدایت حرارتی فاز جامد با استفاده از ساخته های خاص نانوتکنولوژی.
۱۶) افزایش نرخ جریان به طور غیر فعال

**۱-۳ روش های تولید نانوسیالات**

آماده کردن نانوسیالات مرحله ی کلیدی برای بررسی انتقال حرارت و جریان نانوسیالات است. نانوسیلات، تنها ترکیبی از سیال و نانوذرات جامد نیستند. در تولید نانوسیالات ضرورت هایی مانند تعلیق پایدار و با عمر طولانی، کلوخگی کم نانوذرات، عدم تغییر شیمیایی سیال باید رعایت شوند. نانوسیالات با پراکنده کردن ذرات جامد در مقیاس نانو در سیالاتی مانند آب، اتیلن گلیکول، یا روغن ها تولید می شوند. موادِ نانوساختار ویژگی های جدید و افزایش یافته ای ارائه می دهند. دو روش عمده برای تهیه ی نانوسیالات وجود دارد:

الف) روش دو مرحله‌ای گسترده ترین روش مورد استفاده برای آماده سازی نانوسیالات است. نانوذرات، نانوفیبرها، نانولوله ها یا هر نانوماده ای که در این روش بکار برده می شود، ابتدا به صورت پودر خشک با استفاده از روش های فیزیکی یا شیمیایی تولید شده اند. سپس در دومین مرحله ی فرآیند این پودر که در مقیاس نانو است، با استفاده از روش های متعددی مانند آشفته کردن به وسیله ی نیروی زیاد مغناطیسی، نوسانات ما فوق صوت، مخلوط کردن با تنش برشی زیاد، همگن کردن و آسیاب توپی، در سیال پایه، پراکنده می شود. روش دو مرحله ای به لحاظ اقتصادی بهترین روش برای تهیه ی نانوسیالات در مقیاس بسیار بزرگ است، زیرا تکنیک های اختلاط نانوپودر قبلاً به سطوح تولید صنعتی رسیده اند. به جهت فعالیت سطحی و مساحت زیاد سطحی، نانوذرات تمایل به کلوخه شدن دارند. تکنیک مهمی که جهت افزایش پایداری نانوذرات در سیالات بکار می رود، استفاده از سورفوکتانت‌ها است. هر چند کارایی سورفوکتانت ها به ویژه در کاربردهایی با درجه حرارت بالا نیز چالش بزرگی است. باید اشاره کرد که انتخاب سورفورکتانت‌ها، باید بر اساس خواص ذرات باشد. ژوان و لی از نمک و اسید چرب به عنوان پراکنده کننده جهت افزایش پایداری نانوسیلات روغن-مس و آب-مس استفاده کرد. سولفات