

بهبود انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی با استفاده از جریان نانوسیال

علیرضا محمدی قهدریجانی^۱، علی حقیقی‌اصل^{۲*}، فرامرز هرمزی^۱

۱- ایران، سمنان، دانشگاه سمنان، کارشناسی ارشد، مهندسی شیمی

۲- ایران، سمنان، دانشگاه سمنان، استاد، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

۳- ایران، سمنان، دانشگاه سمنان، دانشیار، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

* نویسنده مسئول، ایمیل:

ahaghighi@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۲۵

چکیده

در کاربردهای مهندسی، انتقال حرارت سیالات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین مهندسان و پژوهشگران روش‌های متعددی را به منظور افزایش انتقال حرارت پیشنهاد نموده‌اند و در سال‌های اخیر روش‌های نوینی به همین منظور به کار گرفته شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از نانوسیال می‌باشد. نانوسیال‌ها دارای خواص حرارتی مطلوبی نسبت به سیال پایه هستند. در این مقاله آخرین پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه استفاده از نانوسیال در مبدل‌های حرارتی دولوله‌ای و پوسته لوله با شرح سیستم آزمایش و خلاصه نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان نیز نتایج استفاده از مبدل پوسته لوله به عنوان بستری برای انجام واکنش‌های گرمازا در فرایند سنتز فیشر تروپش با استفاده از نانوسیال ارائه شده است. در همه کارهای انجام‌شده با افزایش کسر حجمی نانوذرات و با افزایش عدد رینولدز ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی و بازده فرایند افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: انتقال حرارت، نانوسیال، سنتز فیشر تروپش، ضریب انتقال حرارت، مبدل حرارتی دولوله‌ای

۱- مقدمه

انتقال حرارت سیال عامل حاصل نگردیده است. بنابراین نیاز روزافزونی به سیالاتی که دارای خواص انتقال حرارتی مطلوب‌تر و به خصوص ضریب انتقال حرارت بالاتری نسبت به سیالات معمولی باشند به وجود آمده است. به همین منظور در سال‌های اخیر روش‌های نوینی به کار گرفته شده است. یکی از این روش‌ها استفاده از تکنولوژی نانو در مبدل‌هاست. ضریب انتقال حرارت در سیالاتی مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن‌موتور در برابر بیشتر فلزات بسیار ناچیز می‌باشد. در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی، ذرات فلزی و غیرفلزی در ابعاد نانومتر تولید شده‌اند که با افزودن این نانوذرات به سیال می‌توان ضریب انتقال حرارت سیال پایه را افزایش داد. چنین ترکیبات دوجزئی متشکل از نانوذرات و سیال پایه، نانوسیال نامیده می‌شوند. با توجه به نیاز فراوان به بهبود ضریب انتقال حرارت سیال در صنایع امروزی، پتانسیل زیادی برای پژوهش در این زمینه و به‌طور کلی در زمینه

با توجه به لزوم بهینه‌سازی مصرف انرژی در عصر نوین و مصرف قابل‌توجه انرژی در بخش انتقال حرارت صنعت، بررسی این بخش از مکانیک سیالات و انتقال حرارت بیشتر جلب توجه می‌کند. انتقال حرارت در کاربردهای مهندسی از اهمیت فراوانی برخوردار است. به همین منظور محققان علوم گرمایی و مهندسان روش‌های متعددی را برای افزایش انتقال حرارت پیشنهاد نموده‌اند. در همین راستا افزایش کارایی مبدل‌ها یکی از دغدغه‌های مهندسان و پژوهشگران بوده است. سیالات عادی مانند آب، روغن و اتیلن گلیکول به‌طور گسترده به‌عنوان سیالات خنک‌کننده استفاده می‌شوند و برای اغلب واحدهای صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. با وجود تحقیقات گسترده‌ای که بر روی نیازهای موجود در صنعت و در زمینه انتقال حرارت صورت گرفته است، پیشرفت‌های قابل‌ملاحظه‌ای در قابلیت

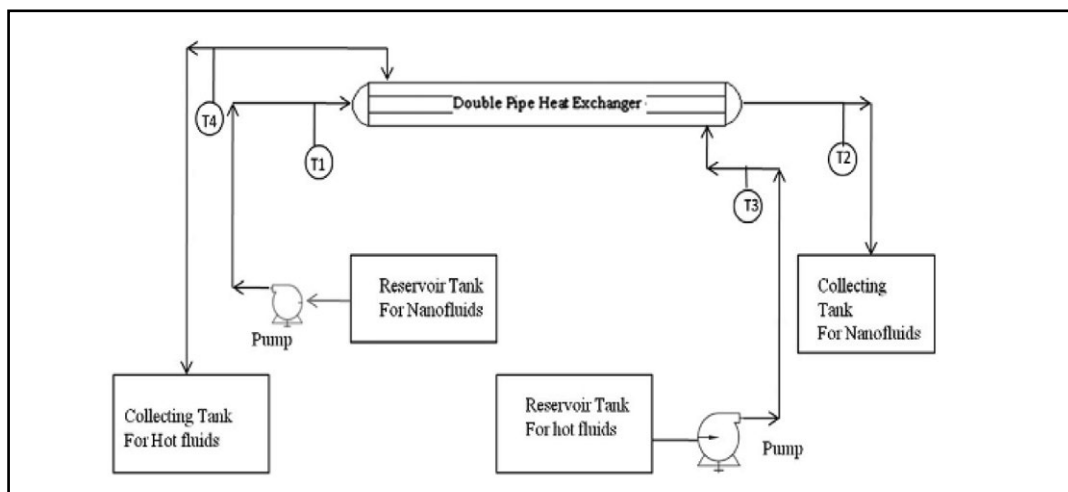
بهبود انتقال حرارت وجود دارد. تحقیقات زیادی نیز با استفاده از سامانه‌های آزمایشگاهی با ساختارهای مختلف برای تعیین میزان افزایش انتقال حرارت صورت گرفته است. در ادامه چند نمونه از جدیدترین کارهای انجام شده در مورد مبدل‌های حرارتی و سیستم‌های خنک‌کننده با استفاده از نانوسیالات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- نانوسیال در مبدل‌های دولوله‌ای

در سال ۴۱۰۲ مشخصات انتقال حرارت نانوسیال تیتانیوم‌دی‌اکسید-آب به‌عنوان خنک‌کننده در مبدل حرارتی لوله‌ای هم‌مرکز توسط روهیت^۱ و همکاران [۱] مورد بررسی قرار گرفت. مبدل حرارتی ساخته شده با نانوسیال‌های ترکیبی از آب به‌عنوان سیال پایه و ذرات تیتانیوم‌دی‌اکسید

سمت پوسته و ۱-۱,۰ لیتر بر دقیقه نرخ جریان نانوسیال لوله داخلی است. ترموکوپل‌ها برای اندازه‌گیری دمای توده در داخل و خارج مبدل حرارتی استفاده شده‌اند. سیال کاری (نانوسیالات) از مخزن نانوسیال پمپ می‌شود و میزان جریان با استفاده از روماتر اندازه‌گیری می‌شود.

داده‌های آزمایشگاهی برای محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی و عدد ناسلت و اعداد رینولدز نانوسیالات با غلظت‌های حجمی مختلف نانوذرات استفاده شده است. خواص حرارتی فیزیکی از مدل‌های تحلیلی بر مبنای دمای متوسط توده نانوسیالات محاسبه شده است.



شکل ۱- شماتیک سامانه آزمایشگاهی برای مطالعه انتقال حرارت جابه‌جایی مبدل حرارتی لوله‌ای هم‌مرکز

در محدوده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از

نانوسیالات خنک‌کننده در مبدل حرارتی لوله‌ای هم‌مرکز با سیال پایه آن‌ها به‌عنوان خنک‌کننده مقایسه شد. نانوسیالات با غلظت‌های حجمی ۲ درصد و ۳ درصد در سامانه آزمایشگاهی ساخته شده (شکل ۱) مورد بررسی قرار گرفتند. دستگاه‌های آزمایشی شامل چرخه اصلی آزمایش، یک چرخه آب گرم و چرخه خنک‌کننده است. ابعاد مبدل حرارتی لوله‌ای هم‌مرکز عبارت‌اند از: طول ۱۰۰۰ mm، قطر لوله داخلی ۸ mm، قطر لوله خارجی ۱۶ mm، ضخامت لوله داخلی ۱ mm و جنس آن از مس می‌باشد. ۳ mm عایق پشم‌شیشه در برابر پوسته استفاده شده و ۱-۳ لیتر بر دقیقه نرخ جریان حجمی سیال

میزان انتقال حرارت نانوسیال عبارت است از رابطه ۱:

$$Q = mC_{pnf}(T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

که m شدت جریان جرمی نانوسیال است و T_{out} و T_{in} به ترتیب دماهای ورودی و خروجی نانوسیال است. دانسیته مؤثر نانوسیال از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_f + \phi\rho_p \quad (2)$$

C_{pnf} گرمای ویژه مؤثر نانوسیال است که می‌تواند از رابطه Xuan و Roetzel (رابطه ۳) محاسبه شود [۲].

$$(\rho C_p)_{nf} = (1-\phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_p \quad (3)$$

1. Rohit

زیرنویس‌های f ، p و fn به ترتیب به سیال پایه، نانوذرات و نانوسیال اشاره دارد. v_{ϕ} غلظت حجمی نانوذرات است.

ضریب انتقال حرارت سیال مورد آزمایش، h_i و h_o با استفاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۳].

$$\frac{1}{u_i} = \frac{1}{h_i} + \left(\frac{D_i \ln D_o / D_i}{2k_w + D_o (D_i h_o)} \right) \quad (4)$$

که D_o و D_i به ترتیب قطر داخلی و خارجی لوله‌ها هستند، u_i ضریب انتقال حرارت کلی بر مبنای سطح داخلی لوله، h_i و h_o ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی به ترتیب مربوط به سیالات داخل و خارج از لوله‌ها و k_w هدایت حرارتی دیواره لوله است. u_i از رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$Q = u_i A_i \text{LMTD} \quad (5)$$

که $A_i = \pi D_i L$ و ΔT_{lm} اختلاف دمای متوسط لگاریتمی است.

ضریب انتقال حرارت بیرونی نیز توسط روش Bell قابل محاسبه است [۴].

عدد ناسلت نانوسیالات به صورت $Nunf = (h_i D) / knf$ تعریف می‌شود.

هدایت حرارتی مؤثر نانوسیالات (knf) به وسیله مدل ماکسول قابل تعیین است [۵] و از رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$k_{nf} = \frac{(k_p + 2k_f - 2(k_f - k_p))}{(k_p + 2k_f + (k_f - k_p))} k_f \quad (6)$$

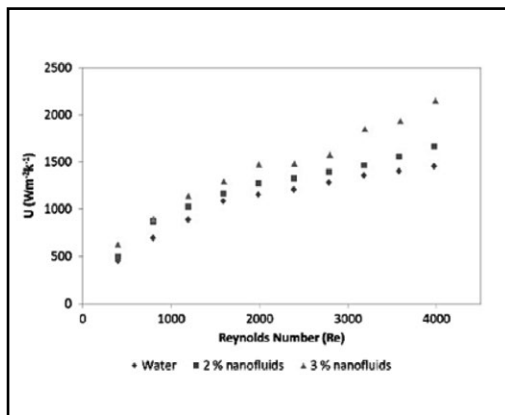
معادله مدل ماکسول نشان می‌دهد که هدایت حرارتی مؤثر نانوسیالات (knf)، به هدایت حرارتی ذرات کروی (k_p)، هدایت حرارتی سیال انتقال گرما (k_f) و غلظت حجمی ذرات جامد (ϕ) بستگی دارد.

عدم قطعیت کلی در اندازه‌گیری ضریب کلی انتقال حرارت با محاسبه مربع میانگین ریشه عدم قطعیت‌های همه مقادیر اندازه‌گیری شده مرتبط مثل نرخ جریان سیالات، دما و ابعاد مبدل حرارتی ۳/۳۷ به دست آمده است.

بر اساس نتایج به دست آمده، ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیالات به طور قابل توجهی با عدد رینولدز افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیالات در عدد رینولدز ثابت در مقایسه با سیال پایه با غلظت نانوذرات افزایش می‌یابد. همان‌طور که به وضوح در شکل ۲ نشان

داده شده است حداکثر افزایش ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال دی‌اکسیدتیتانیوم/آب در غلظت حجمی ۳ درصد اتفاق می‌افتد و افزایش در عدد رینولدز حدود ۳۹۹۲ تقریباً ۷۴/۶۳ درصد است.

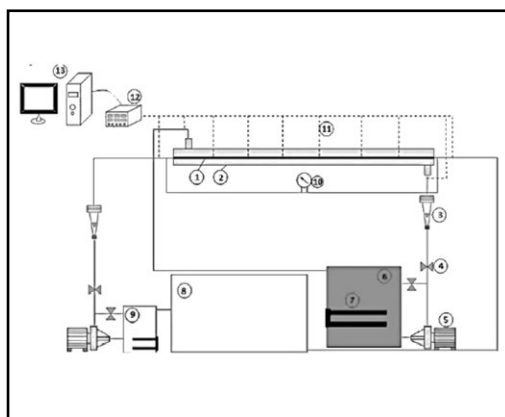
خواص سطحی نانوذرات و بار ذره، عوامل کلیدی برای افزایش خواص انتقال حرارت نانوسیال است. این افزایش



شکل ۲- تغییرات ضریب کلی انتقال حرارت برای اعداد رینولدز مختلف سیال خنک‌کننده (شرایط: غلظت نانوذرات در سیال پایه ۲ و ۳ درصد محدوده عدد رینولدز ۳۰۰-۴۰۰۰)

ضرایب انتقال حرارت ممکن است به واسطه غلظت بالای نانوذرات به سمت اطراف دیواره با مهاجرت ذرات و نیروی جاذبه ایجاد شود.

در سال ۲۰۱۳ نیز درزی^۱ و همکاران [۶] در یک سامانه آزمایشگاهی (شکل ۳) مشابه با کار رویت و همکاران، در



شکل ۳- ۱- لوله داخلی؛ ۲- لوله بیرونی؛ ۳- روتامتر؛ ۴- حجم کنترل؛ ۵- پمپ آب؛ ۶- تانک گرم؛ ۷- گرمکن الکتریکی؛ ۸- واحد خنک‌کننده؛ ۹- تانک سرد؛ ۱۰- فشارسنج؛ ۱۱- ترموکوپل؛ ۱۲- دیتا لاگر؛ ۱۳- کامپیوتر.

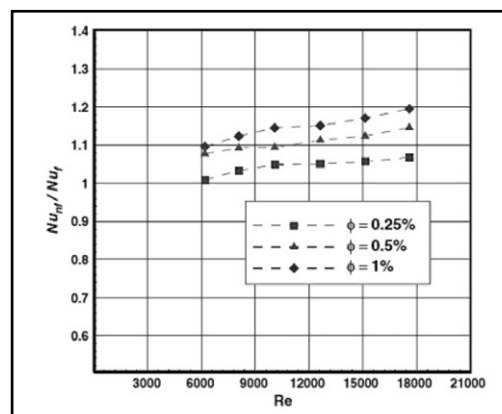
1. Darzi

یک مبدل حرارتی دولوله‌ای انتقال حرارت را با استفاده از نانوسیال اکسید آلومینیوم گاما با قطر ۰.۲ نانومتر مورد بررسی قرار دادند.

آزمایش‌ها در اعداد رینولدز مختلف، به‌طور تقریبی در محدوده‌ای از ۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ و در غلظت‌های مختلف نانوذرات تا ۱ درصد حجمی انجام شده است. در شکل ۴ به‌وضوح مشخص است که با افزایش غلظت نانوسیال و عدد رینولدز میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد. یک رابطه تجربی نیز برای محاسبه عدد ناسلت بر اساس اعداد رینولدز، پرانتل و کسر حجمی نانوسیال به دست آمده است.

(۷)

$$Nunf=1.25(Re-1500)^{0.357} Pr_f^{0.07} (1+2.5\phi^{0.54})$$



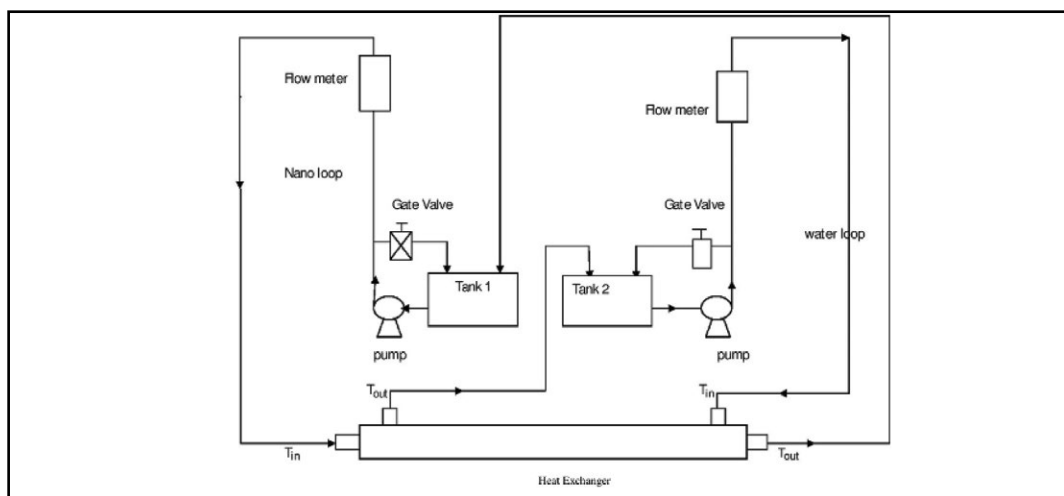
شکل ۴

تغییرات عدد ناسلت نسبی در برابر عدد رینولدز

۳- نانوسیال در مبدل‌های پوسته لوله

البدرا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری و مشخصات جریانی از نانوسیال شامل آب و غلظت‌های حجمی مختلفی از نانوسیال اکسید آلومینیوم (۳،۰-۲ درصد) انجام دادند. جریان نانوسیال در یک مبدل حرارتی پوسته لوله افقی با جریان متقابل تحت شرایط جریان آشفته مورد بررسی قرار گرفته است [۷]. نانوذرات اکسید آلومینیوم با قطر حدود ۰.۳ نانومتر استفاده شده است. آن‌ها با قراردادن یک مبدل پوسته لوله از جنس استیل ضدزنگ در مسیر جریان (شکل ۲) میزان انتقال حرارت از آب گرم به نانوسیال را، با تغییر غلظت نانوسیال و رینولدز، مورد بررسی قرار دادند. مبدل مورد استفاده ۲۴۸ mm طول داشته و شامل ۳۷ لوله به قطر ۲/۴ mm و ضخامت ۰/۲۵ mm بوده و دارای سطح انتقال حرارتی به اندازه ۰/۵۰ m² می‌باشد.

در غلظت حجمی ذره ۲ درصد استفاده از نانوسیال آب-اکسید آلومینیوم افزایش قابل توجه مشخصات انتقال حرارت را نتیجه داده است. به‌عنوان مثال در غلظت حجمی ۲ درصد ذرات، ضریب کلی انتقال حرارت برای شدت جریان جرمی ۷۰۰/۲۴۲ W/m²k و برای آب ۱۲۵/۰ W/m²k و ۱۵/۳۹۹ می‌باشد، بنابراین افزایش نسبت ضریب کلی انتقال حرارت ۷۵۴/۱ است، این بدان معناست که مقدار ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال ۵۷ درصد بزرگ‌تر از آب مقطر است. همچنین برای عدد ناسلت، مقدار عدد ناسلت برای غلظت حجمی ۲ درصد، ۵۸۷ است و برای آب مقطر ۷۵۹/۳۶۷.



شکل ۵- شماتیک سامانه آزمایشگاهی برای بررسی مبدل پوسته لوله

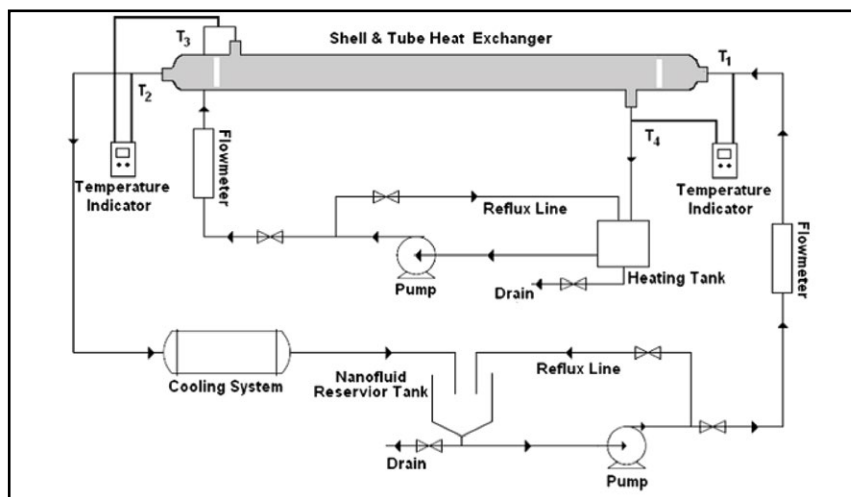
1. Albdr

بنابراین حداکثر نسبت افزایش در L/S برابر با $0/0125$ است، این به این معنی است که عدد ناسلت نانوسیال $596/1$ و $6/62$ درصد بزرگتر از آب مقطر است.

فرج‌الهی و همکاران [۸] نیز در سال ۲۰۱۰ با استفاده از نانوذرات اکسید تیتانیوم و اکسید آلومینیوم تأثیر اندازه ذره و تراکم حجمی ذره روی خواص حرارتی نانوسیال را در یک مبدل حرارتی پوسته لوله مورد بررسی قرار دادند. (شکل ۵) دستگاه آزمایش مورد استفاده آن‌ها که به‌طور شماتیک در شکل ۶ نشان داده شده است، به‌طور کلی شامل دو حلقه جریان نانوسیال و آب می‌باشد. مبدل حرارتی پوسته لوله از جنس استیل ضدزنگ بوده و تجهیزات دیگری همچون مخزن گرمایشی ۵۱ لیتری، سیستم سرمایشی نانوسیال، مخزن ۵ لیتری جمع‌آوری نانوسیال، خط لوله کنارگذر، ترموکوپل‌ها، دو جریان‌سنج و دو پمپ که جهت تأمین دبی لازم به کار می‌روند، در این سیستم به کار گرفته شده است. قسمت اصلی آزمایش یک مبدل پوسته لوله است که نانوسیال از درون ۱۶ لوله که قطر خارجی هر کدام از آن‌ها $6/1$ mm بوده و دارای ضخامت 1 mm و طول 815 mm می‌باشند، عبور می‌کند. آب نیز درون پوسته با قطر داخلی $55/6$ mm جریان دارد. گام لوله‌ها 8 mm بوده و از بافل‌های

$$\frac{1}{U_i} = \frac{1}{h_i} + \frac{D_i \ln \frac{D_o}{D_i}}{2k_w} + \frac{D_i}{D_o} \times \frac{1}{h_o}$$

(۸)

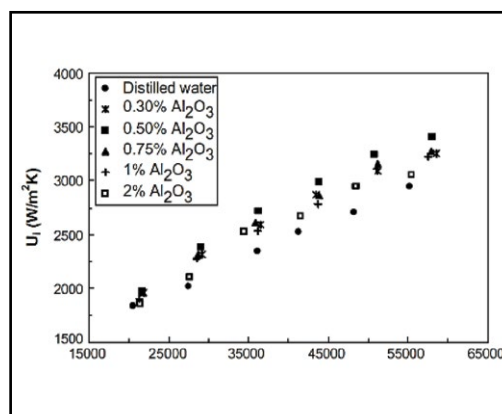


شکل ۶- سیستم دستگاه آزمایش

شکل ۷ و ۸ ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیالات آب-اکسید آلومینیوم گاما و آب-اکسید تیتانیوم را نسبت به عدد Pe برای تراکم‌های مختلف حجمی ذرات نشان می‌دهند. از نتایج برمی‌آید که ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیالات با افزایش عدد Pe افزایش می‌یابد. برای هر دو نانوسیال

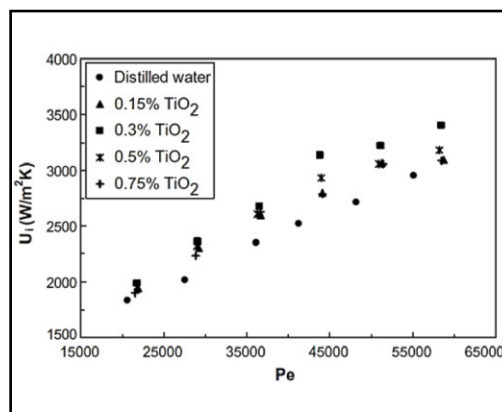
ضریب کلی انتقال حرارت در عدد Pe ثابت با تراکم ذرات نسبت به سیال پایه افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۷ به خوبی مشاهده می‌شود، حداکثر افزایش در ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال آب-اکسید آلومینیوم گاما در تراکم حجمی 50 درصد اتفاق می‌افتد.

در این حالت با افزایش عدد Pe تا مقدار ۵۰۰۰۰، میزان بهبود ضریب کلی انتقال حرارت حدود ۲۰ درصد خواهد بود. در همین مقدار عدد Pe، افزایش ضریب کلی انتقال حرارت در تراکم حجمی نانوذرات ۳،۰ درصد، ۷۵،۰ درصد، ۱ درصد و ۲ درصد به ترتیب مقادیر ۱۴ درصد، ۱۶ درصد، ۱۵ درصد و ۹ درصد را نشان داده است.



شکل ۷- ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال آب-اکسید آلومینیوم گاما نسبت به عدد پکلت برای تراکم‌های حجمی گوناگون ذرات

برای نانوسیال آب-اکسید تیتانیوم، حداکثر افزایش در تراکم حجمی ذرات ۰/۳ درصد مشاهده شده است (شکل ۸). در یک Pe معین (۴۴۰۰۰) میزان افزایش ضریب کلی انتقال حرارت در تراکم حجمی ذرات ۰/۵۱ درصد، ۰/۳ درصد، ۰/۵ درصد و ۰/۵۷ درصد به ترتیب برابر ۱۱ درصد، ۲۴ درصد، ۱۶ درصد و ۱۳ درصد بوده است.



شکل ۸- ضریب کلی انتقال حرارت نانوسیال آب-اکسید تیتانیوم نسبت به عدد پکلت برای تراکم‌های حجمی گوناگون ذرات

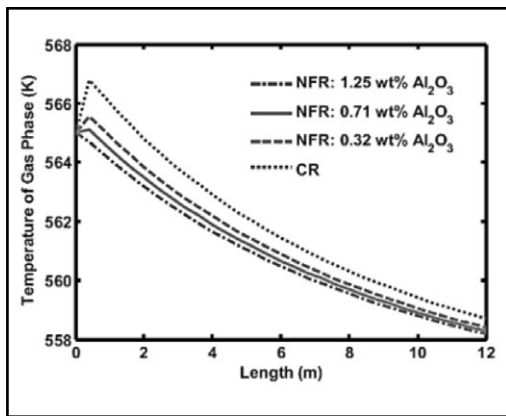
بر اساس داده‌های آزمایشگاهی تراکم حجمی بهینه ذرات اکسید آلومینیوم گاما و ذرات اکسید تیتانیوم در آب به ترتیب ۵،۰ درصد و ۳،۰ درصد می‌باشد. اگرچه هدایت حرارتی نانوذرات اکسید آلومینیوم گاما نسبت به نانوذرات اکسید تیتانیوم بیشتر است، اما تراکم حجمی بهینه نانوذرات اکسید تیتانیوم در آب کمتر از نانوذرات اکسید آلومینیوم گاما می‌باشد. این تفاوت می‌تواند ناشی از اختلاف بین قطر میانگین دو نانوذره باشد؛ چون قطر میانگین نانوذره اکسید تیتانیوم کمتر از نانوذره اکسید آلومینیوم گاما می‌باشد.

۴- رآکتور در قالب مبدل پوسته لوله

در سال ۲۰۱۲ ساختار جدیدی برای سیستم خنک‌کننده در فرایند سنتز فیشر تروپش (FTS) پیشنهاد شد (جیحونی و همکاران [۹]). گونه متداول یک رآکتور FTS اساساً یک مبدل حرارتی پوسته لوله عمودی است. لوله‌های عمودی به وسیله کاتالیست پر شده و توسط آب در حال جوش احاطه شده است. واکنش‌های FTS بر روی کاتالیست‌ها انجام می‌شوند. حرارت واکنش‌های گرمازا به آب در حال جوش منتقل می‌شود و بخار تولید می‌شود. شکل ۹ نمای شماتیکی از رآکتور FTS چندلوله‌ای بستر ثابت را نشان می‌دهد. از آنجایی که در این فرایند، واکنش‌های گرمازا اتفاق می‌افتد، افزایش انتقال حرارت منجر به بهبود انجام فرایند می‌شود. در ساختار جدید به جای استفاده از آب در حال جوش به عنوان خنک‌کننده (CR)، از نانوسیال Al_2O_3 با غلظت‌های مختلف استفاده شده است، که در اصطلاح NFR نامیده می‌شود. در این فرایند با مصرف CO و H_2 میزان تولید بنزین و CO_2 حاصل مقایسه می‌شود. نانوسیالات مختلف با غلظت‌های متفاوت امتحان شده و تأثیرشان بر روی عملکرد رآکتور بررسی شده است. انتقال حرارت از لوله‌ها در رآکتور NFR به دلیل استفاده از نانوسیال پایه آب شامل نانوذرات اکسید آلومینیوم بهبود می‌یابد. بنابراین لوله‌ها در رآکتور NFR در مقایسه با CR افزایش می‌یابد.

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش غلظت نانوذرات Al_2O_3 انتقال حرارت بهبود می‌یابد؛ زیرا نانوسیال ضریب انتقال حرارت بالاتر و ظرفیت جذب حرارت بیشتری از واکنش‌های گرمازا در لوله‌ها دارد. بنابراین می‌توان با افزایش غلظت نانوذرات Al_2O_3 تعداد لوله‌های RFN را افزایش داد. به هر حال افزایش غلظت نانوذرات Al_2O_3 تأثیر زیادی بر روی محصول تولیدی GTL در رآکتور NFR ندارد، اما

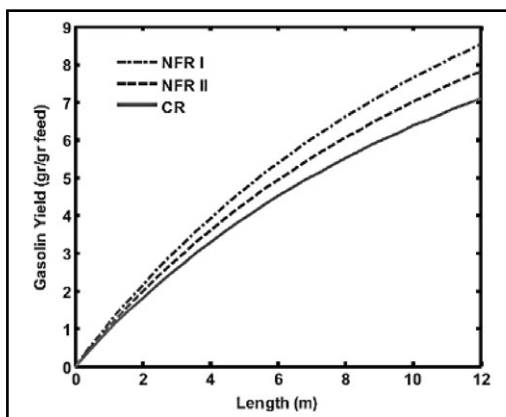
افزایش تعداد لوله‌ها محصول تولیدی GTL را در NFR افزایش می‌دهد. نتایج در NFR ۱ (۷۱٪) درصد وزنی نانوذرات Al_2O_3 در آب و NFR ۲ (۳۲٪) درصد وزنی نانوذرات Al_2O_3 در آب مقایسه شده است. معیارهایی مثل بنزین حاصل، CO_2 حاصل و پروفایل دمایی برای شناسایی بهترین ساختار در نظر گرفته شده است.



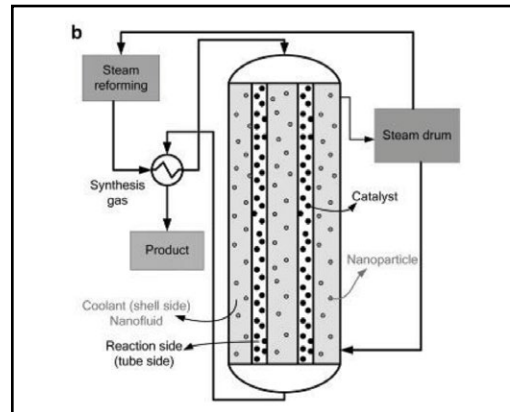
شکل ۱۰- پروفایل دمایی فاز گاز ساختارهای NFR و CR

یک دلیل افزایش بازده بنزین در NFR خنک کردن بخش واکنش به وسیله نانو سیال است. این سردسازی جدید، انتقال حرارت از سمت گرمازا به سمت پوسته را بهبود می‌بخشد. به دلیل کاهش دمای سمت گرمازا، محصولات هیدروکربنی سنگین افزایش می‌یابد. بنابراین نرخ تولید بنزین در دماهای کمتر به دلیل انرژی فعال سازی پایین افزایش می‌یابد. علاوه بر این دلیل دیگر افزایش بازده بنزین در NFR افزایش تعداد لوله‌ها می‌باشد. بازده بنزین به طور تقریبی ۱۲ درصد در NFR ۱ و ۱۰ درصد در NFR ۲ در مقایسه با CR افزایش می‌یابد.

همچنین مصرف هیدروژن یک افزایش ۱۸ درصدی را در NFR ۱ و افزایش ۱۲ درصدی را در NFR ۲ در مقایسه با CR نشان می‌دهد. نسبت CO_2 حاصل به بنزین حاصل نیز به میزان ۲/۱۲ درصد در NFR ۱ و ۱/۵۱ درصد در NFR ۲ در مقایسه با CR کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱- مقایسه بین بازده بنزین در NFR ۱ و NFR ۲ و CR



شکل ۹- شماتیکی از رآکتور FTS چندلوله‌ای بستر ثابت

شکل ۱۰ پروفایل دمایی فاز گاز ساختارهای NFR و CR مختلف را نشان می‌دهد. پیک دمایی در ناحیه‌ای نزدیک به ورودی رآکتور مشاهده می‌شود. در هر رآکتوری که واکنش‌های گرمازای زیادی اتفاق می‌افتد یک پیک دمایی وجود دارد. جهش دمایی در ۵/۰ متر اول همه رآکتورها به وضوح دیده می‌شود که به خاطر گرمای زیاد واکنش در FTS ایجاد می‌شود. وقتی که غلظت نانوذرات افزایش می‌یابد، یک پروفایل دمایی گاز مطلوبی وجود دارد. کوچک‌ترین جهش دمایی مربوط به استفاده از نانو سیال با غلظت وزنی ۷۱٪ در Al_2O_3 در NFR است. زمانی که غلظت نانوذرات تا ۲۵٪ درصد وزنی افزایش می‌یابد، ناپدید می‌شود.

این پدیده (کاهش جهش دمایی) یک خاصیت جالب است زیرا نانو سیال لوله‌های رآکتور را سریع‌تر خنک می‌کند، بنابراین دمای متوسط در NFR پایین‌تر از آن در CR است که می‌تواند ماندگاری فعالیت کاتالیست را بالا ببرد. مشاهده می‌شود که کنترل دما در NFR آسان‌تر از CR است.

بنزین تولیدی در CR، NFR ۱ و NFR ۲ در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. بازده بنزین به عنوان محصول اصلی در سمت گرمازا در NFR در مقایسه با CR افزایش می‌یابد.

- [7] Albadr, J., S. Tayal, M. Alasadi, "Heat transfer through heat exchanger using Al₂O₃ nanofluid at different concentrations", *Case Studies in Thermal Engineering* 1, 2013, pp. 38–44.
- [8] Farajollahi, B., S. Gh. Etemad, M. Hojjat, "Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53, 2010, pp. 12–17.
- [9] Jayhooni, S. M. H., A. Mirvakili, M. R. Rahimpour, "Nanofluid concept for enhancement of hydrogen utilization and gasoline production in fixed bed reactor Fischer-Tropsch synthesis of GTL (gas to liquid) technology", *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 9, 2012, 172e183.
- [1] Khedkar, Rohit S., Shriram S. Sonawane, "Heat transfer study on concentric tube heat exchanger using TiO₂-water based nanofluid", *International Communications in Heat and Mass Transfer* 57, 2014, pp. 163–169.
- [2] Xuan, Y., W. Roetzel, "Conceptions for heat transfer correlations of nanofluids", *Int. J. Heat Mass Transfer* 43, 2000, pp. 3701–3707.
- [3] Xuan, Y. and Q. Li, "Investigation on convective Heat transfer and flow features an nanofluids", *J. Heat transfer* 125, 2003, pp. 151.
- [4] Bell, K. J., "Final report of the cooperative research program on shell-and-tube heat exchangers", *Eng. Expt. Sta, BullUniversityof Delaware*, 1963.
- [5] Maxwell, J. C., *A Treatise on Electricity and Magnetism*, second ed. Clarendon Press, Oxford University, UK, 1881.
- [6] Darzi, A. A., M. Farhadi, K. Sedighi, "International Communications in Heat and Mass Transfer", *International Communications in Heat and Mass Transfer* 47, 2013, pp. 105–112.



Heat Transfer Improve in Heat Exchangers using Flow of Nanofluids

Alireza Mohammadi Ghahdarijani¹, Dr. Ali Haghighi Asl² *, Dr. Faramarz Hormozi¹
1- Iran, Semnan, Semnan Univercity, Department of Chemical Engineering
ahaghighi@semnan.ac.ir

Abstract

Heat transfer has a crucial importance in the engineering applications; therefore, various methods for enhancing the heat transfer have been proposed by the researchers and new methods have been developed in recent years. One of these methods is using nanofluids. Nanofluids have enhanced thermal properties in compare with the base fluid. In this paper, the latest studies on the use of nanofluids in the double tube heat exchangers and shell and tube heat exchangers with description of the test system has been evaluated and the results have been summarized. In the end, the results of using shell and tube heat exchangers as a bed for exothermic reactions in the process of Fischer-Tropsch synthesis using nanofluids is provided. In all of the work done by increasing the nanoparticles volume fraction and the Reynolds number, the heat transfer coefficient and process efficiency have increased.

Keywords: Nanofluid, Double tube heat exchanger, Heat transfer, Shell and tube heat exchangers

