

انتقال حرارت در جریان پیوسته دوگانه دو مایع امتزاج ناپذیر

هجیر کریمی^{۱*}، میلاد بوستانی^۲، محمودرضا رحیمی^۳

^۱ دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

Hakar@yu.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

Milad.boostani@std.yu.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

Mrrahimi@yu.ac.ir

چکیده: در این بررسی، ضرایب انتقال حرارت برای جریان دوفازی گازوئیل-آب در یک لوله افقی برای الگوهای جریان پیوسته دوگانه، نفت پراکنده در آب و آب پراکنده در نفت اندازه گیری شد. الگوهای جریان به وسیله عکس برداری سرعت بالا برای مخلوط گازوئیل-آب مشاهده شد و داده های انتقال حرارت دوفازی تحت شرط مرزی شار حرارتی یکنواخت به دست آمد. قسمت آزمایش یک لوله با قطر داخلی ۱/۱ میلی متر و با طول ۱/۸ متر بود. عدد رینولدز از حدود ۳۵۰ تا ۳۷۰۰ برای گازوئیل و از حدود ۱۳۰۰ تا ۱۳۷۰۰ برای آب تغییر یافت. نتایج نشان داد که ضریب انتقال حرارت الگوی پیوسته دوگانه بزرگتر از ضریب انتقال حرارت الگوی آب پراکنده در نفت است.

واژه های کلیدی: دوفازی، مایع-مایع، انتقال حرارت، الگوی جریان، پیوسته دوگانه.

دو فاز، گرانبوی، چگالی، کشش بین سطحی، هندسه جریان، دما و فشار وابسته است.

الگوی جریان پیوسته دوگانه^۱ یا آب پراکنده در نفت و نفت پراکنده در آب^۲ (به اختصار Do/w & w/o)، یکی از الگوهای متداول در جریان مایع-مایع به حساب می‌رود که محققان زیادی تاکنون آن را مشاهده و گزارش کرده‌اند [۸-۱۳].

از اولین کارهای آزمایشگاهی که در زمینه انتقال حرارت مایع-مایع انجام شده، می‌توان به کار گراون و نادسن [۱۴] در سال ۱۹۵۵ اشاره کرد. آن‌ها مشاهده کردند که ضریب انتقال حرارت جریان مایع-مایع به سرعت جرمی جریان وابسته است، اما مستقل از جزء حجمی فاز پراکنده و دمای ورودی است.

هابلر و پالوگنیوک [۱۵] ضریب انتقال حرارت را برای پراکنندگی مایع-مایع در جریان آشفته درون یک لوله بررسی کردند و فرض کردند که ضریب انتقال حرارت مخلوط، به‌طور خطی به کسر حجمی فاز پراکنده وابسته است. در این کار، از چهار سیال نفت سفید، روغن انتقال‌دهنده، نفت پارافینی و روغن موتور به‌عنوان فاز نفت، استفاده شد و برای هر یک از سیالات، یک نقطه وارونگی^۳ ارائه شد.

سامر و همکاران [۱۶] انتقال حرارت مخلوط دو مایع امتزاج‌ناپذیر را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها فرض کردند که همه قطرهای قطر یکسانی دارند و به‌صورت یکنواخت در آب پراکنده می‌شوند و همچنین سطح انتقال حرارت به‌طور جزئی، با آب و نفت تر شده است. در این صورت، مقاومت کل در برابر انتقال حرارت فیلم داخلی را مقاومت‌های فیلم‌های درونی آب و نفت تشکیل می‌دهند. به‌وسیله این دو فرض، یک رابطه تجربی برای محاسبه ضریب انتقال حرارت ارائه شد.

لنگ و اوراچر [۱۷] توزیع فاز و ضریب انتقال حرارت موضعی جریان رو به بالای آب و نرمال هپتان را در یک لوله عمودی با قطر ۱۶ میلی‌متر اندازه‌گیری کردند. این آزمایش در سرعت‌های مخلوط بین ۰/۵ تا ۲/۳ متر بر ثانیه و در دمای بین ۳۰ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت و توزیع فاز در شعاع‌های مختلف اندازه‌گیری شد. آن‌ها ضریب انتقال حرارت دوفازی را به‌صورت تابعی از کسر حجمی مایعات، در سرعت‌های مختلف مخلوط ارائه کردند و دریافتند که ضریب انتقال حرارت به‌شدت به توزیع فاز به خصوص در نزدیکی جداره لوله وابسته است.

۱. مقدمه

انتقال حرارت جابه‌جایی سیالات، یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی محققین در سال‌های اخیر بوده است. بهینه‌سازی مصرف انرژی در تجهیزاتی که انتقال حرارت جابه‌جایی در آن‌ها مطرح است، اهمیت ویژه‌ای دارند. در بیشتر موارد، در این تجهیزات، جریان‌های چندفازی جریان دارند. یکی از دسته‌های جریان‌های چندفازی، جریان مایع-مایع است. به جریان شامل دو مایع امتزاج‌ناپذیر، جریان دوفازی مایع-مایع گفته می‌شود. انتقال حرارت جریان دوفازی مایع-مایع، کاربردهای زیادی در صنایع مختلف دارد.

انتقال حرارت مایع-مایع به‌طور عملی در صنعت انتقال نفت، فرایندهای پتروشیمی، پالایشگاهی و کربوشیمیایی، در فرایندهای استخراج یا در تغلیظ حرارتی مواد کاربرد دارد. در این فرایندها انتقال حرارت دوفازی به‌طور معمول در خطوط لوله انتقال نفت، دستگاه فرایند غشا، در جریان پیوسته رآکتورهای لوله‌ای با سیستم‌های گرمایشی یا سرمایشی، استخراج‌کننده‌ها یا در مبدل‌های حرارتی پیوسته و لوله مشاهده می‌شود [۱].

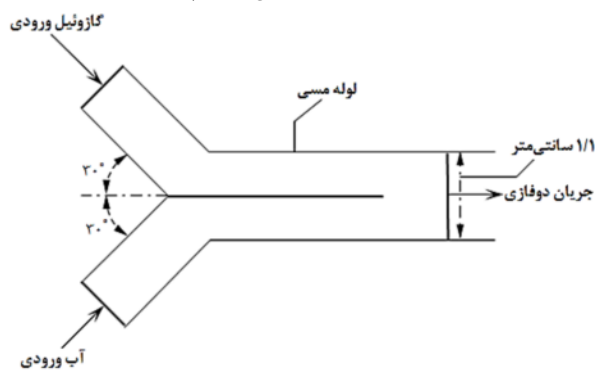
در تولید نفت از چاه‌های زیر دریا که به‌طور معمول، این جریان حاوی مقداری آب می‌باشد، هیدروکربن‌ها ممکن است چاه را با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد ترک کنند. این در حالی است که دما در اعماق دریا ممکن است به ۴ درجه سانتی‌گراد هم برسد. به‌دلیل وجود این گرادیان دما بین آب دریا و جریان سیال، آگاهی از انتقال حرارت برای جلوگیری از انسداد بر اثر تشکیل موم، ضروری است. انباشته شدن موم می‌تواند منجر به مشکلاتی مانند کاهش قطر داخلی لوله و در نتیجه انسداد لوله، افزایش زبری لوله، کاهش تولید و مشکلات مکانیکی فراوان شود [۲].

یکی از پارامترهای اساسی برای طراحی یک فرایند شامل جریان دوفازی، الگوی (یا رژیم) جریان حاکم بر آن جریان است که اثر چشمگیری بر روی پارامترهای جریان، از جمله انتقال حرارت می‌گذارد. با توجه به اهمیت ویژه الگوی جریان و تأثیرپذیری تمامی خصوصیات جریان دوفازی از الگوی جریان، کارهای آزمایشگاهی زیادی در این زمینه انجام شده است.

در سال ۱۹۹۵، ترالرو [۳] دسته‌بندی الگوهای جریانی را پیشنهاد داد که شامل شش الگوی جریان بود و آن‌ها را به دو دسته اصلی الگوهای مجزا و الگوهای پراکنندگی تقسیم کرد. در سال‌های اخیر نیز برخی از محققان، دسته‌بندی‌های مختلفی را ارائه کرده‌اند [۴-۸]. به‌طور کلی، تشکیل الگوی جریان به عواملی همچون سرعت هر یک از

۲. تجهیزات آزمایشگاهی

در ابتدا، آب از طریق پمپ از دو جریان سنج کالیبره شده (۰-۱ و ۰-۱۰ لیتر بر دقیقه) عبور کرده و دبی آن اندازه‌گیری می‌شود. به‌طور مشابه، گازوئیل نیز پس از پمپ‌شدن از دو جریان‌سنج کالیبره شده (۰-۱ و ۰-۱۰ لیتر بر دقیقه) عبور می‌کند. دقت جریان‌سنج‌های استفاده شده $\pm 1\%$ است. حجم مخزن‌های آب و گازوئیل به ترتیب، ۱۰۰ و ۳۰۰ لیتر است. جنس مخزن آب از فولاد ضد زنگ و جنس مخزن گازوئیل از پلی‌اتیلن است. گازوئیل از لوله بالایی و آب از لوله پایینی وارد مخلوط‌کننده می‌شود (شکل ۱ را ببینید) و در آنجا دو سیال با هم مخلوط می‌شوند. مخلوط‌کننده از لوله مسی ساخته شده و برای جلوگیری از برخورد مستقیم دو سیال، یک صفحه درون آن قرار داده شده است (همان‌طور که توسط آمون‌سن [۱۳] پیشنهاد شده است).



شکل (۱): مخلوط‌کننده

طرح‌واره دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل (۲) نشان داده شده است. پس از خروج سیال از مخلوط‌کننده، دمای جریان دوفازی توسط یک حسگر دما اندازه‌گیری می‌شود. سپس جریان وارد قسمت مشاهده (یک لوله شفاف به طول ۸۰ سانتی‌متر) می‌شود که قبل از قسمت آزمایش قرار دارد. این قسمت برای اطمینان از توسعه یافتگی سیال، اطمینان از پایدار شدن الگوی جریان و همچنین مشاهده الگوی جریان به کار رفته است. در نهایت، جریان دوفازی توسعه یافته وارد قسمت آزمایش می‌شود.

قسمت آزمایش یک لوله مسی به قطر داخلی ۱/۱ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۸۵ میلی‌متر و طول ۱/۸ متر است. این قسمت توسط یک المان برقی از جنس آلیاژ نیکروم^۲ گرم می‌شود. شار حرارتی که این المان تولید می‌کند، بین ۱۶۰۰۰ تا 23000 W.m^{-2} است. برای اندازه‌گیری دمای سطح لوله، ۷ حسگر در بالا و ۷ حسگر در پایین لوله قرار داده شده و فاصله بین حسگرها ۲۵ سانتی‌متر است. در این آزمایش، ۱۴ حسگر برای اندازه‌گیری دمای سطح لوله و دو حسگر

دیگ و همکاران [۱۸] در یک لوله افقی به طول ۱ متر و قطر ۱۰ میلی‌متر که به‌صورت الکتریکی گرم می‌شود، انتقال حرارت مخلوط آب و روغن ماشین را بررسی کردند. آن‌ها سرعت جریان را برای تولید دو نوع الگوی جریان آب پراکنده در نفت و نفت پراکنده در آب تنظیم کردند. در این کار، با استفاده از اندازه‌گیری اختلاف دمای میانگین (اختلاف بین دمای دیواره و دمای جریان دوفازی) در یک شار حرارتی ثابت، ضریب انتقال حرارت در الگوهای مختلف پراکندگی محاسبه شد.

هپانویچس و پولاسزک [۱] روابط تجربی انتقال حرارت تک‌فازی را که قابل استفاده برای انتقال حرارت سیستم‌های پراکندگی مایع-مایع نیز بودند، جمع‌آوری و ارائه کردند. آن‌ها این روابط را با داده‌های آزمایشگاهی کارهای دیگر مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که زمانی که دقت بالایی مورد نیاز است، نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

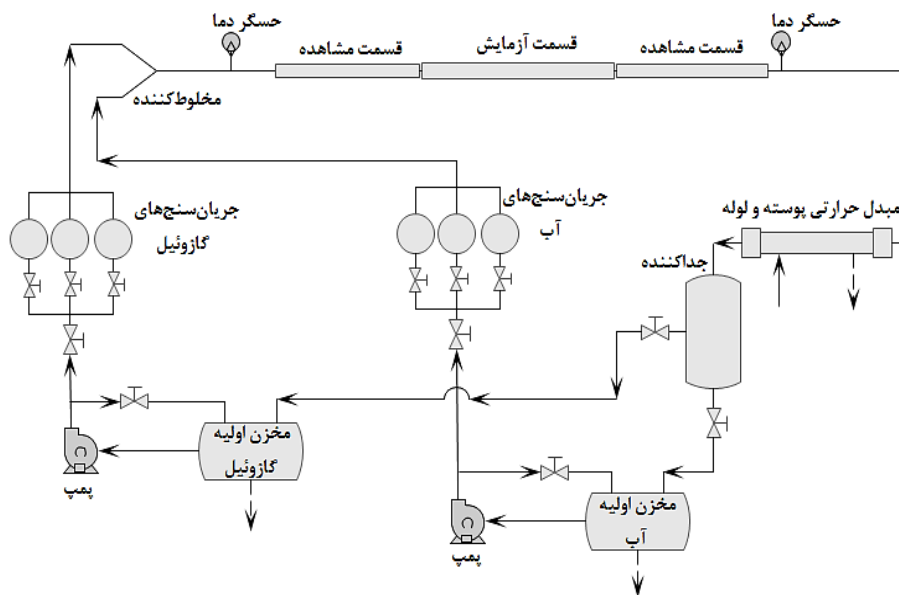
شانگ و ساریکا [۱۹] یک مدل ریاضی برای محاسبه توزیع دما در جریان لایه‌ای مایع-مایع برای لوله‌های افقی ارائه کردند. آن‌ها برای بررسی اعتبار مدلشان، الگوی لایه‌ای را در مقیاس آزمایشگاهی شبیه‌سازی کردند. سیالات به‌کاررفته در این کار، آب و نفت خام و طول قسمت آزمایش^۱ آن، حدود ۱۷ متر است. آن‌ها نشان دادند که نتایج حاصل از مدل، توافق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. در این آزمایش، همچنین اثر تغییرات دما روی تشکیل موم روی جداره لوله بررسی شد.

محمد و نظری [۲۰]، انتقال حرارت الگوی حلقوی جریان دوفازی را به‌صورت آزمایشگاهی در یک لوله افقی به طول ۲ متر و قطر ۳۲ میلی‌متر، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت مخلوط، ضریب انتقال حرارت جریان دوفازی نفت-آب افزایش می‌یابد. آن‌ها یک مدل ریاضی نیز برای پیش‌بینی افت فشار و ضریب انتقال حرارت جریان دوفازی ارائه کردند که توافق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی داشت.

بیشتر آزمایش‌هایی که تاکنون در خصوص انتقال حرارت جریان مایع-مایع انجام گرفته، پیرامون الگوهای پراکندگی بوده و در مورد بقیه الگوها، کارهای اندکی صورت گرفته است. در کار حاضر، نتایج مربوط به ضریب انتقال حرارت الگوی Do/w & w/o (که تاکنون گزارش نشده) مورد بحث قرار گرفته است؛ همچنین ضریب انتقال حرارت این الگو با الگوهای پراکندگی مقایسه شده است.

1. Test Section

2. Nichrome



شکل (۲): شماتیک دستگاه انتقال حرارت جریان دوفازی مایع-مایع

به کمک دماهای اندازه‌گیری شده (دمای سطح لوله و دمای ورودی و خروجی سیال) و شار حرارتی، ضرایب انتقال حرارت دوفازی محاسبه شدند. ضرایب انتقال حرارت موضعی از رابطه زیر محاسبه شده‌اند:

$$h_{TP} = \frac{q''}{T_w - T_b} \quad (1)$$

که در آن، q'' شار حرارتی، T_b دمای موضعی سیال دوفازی و T_w میانگین دمای بالا و پایین سطح لوله در موضع مورد نظر است.

۳. نتایج و بحث

در شکل (۳)، تصویر الگوی جریان Do/w & w/o نشان داده شده است. همان‌طور که از این شکل قابل مشاهده است، این الگو متشکل از دو فاز پیوسته است که قطرات هر فاز در فاز دیگر پراکنده شده است؛ البته میزان پراکندگی این قطرات در سرعت‌های مختلف، متفاوت است.

شکل (۳): تصویر الگوی جریان Do/w & w/o

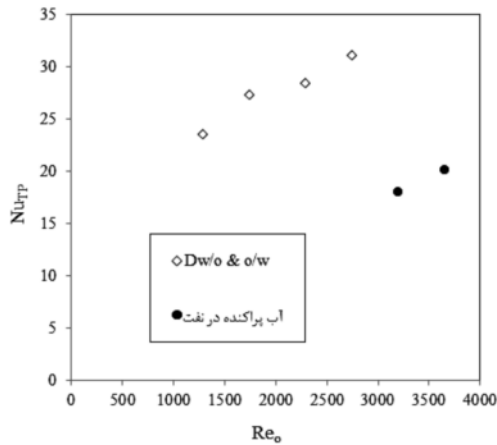
نتایج حاصل از عکس‌برداری در سرعت‌های مختلف مخلوط، محدوده‌های سرعت آب و گازوئیل را برای تشکیل الگوی جریان Do/w & w/o ، الگوی جریان آب پراکنده در نفت و الگوی نفت پراکنده در آب مشخص کرد. این محدوده‌ها در شکل (۴) قابل مشاهده هستند. در این شکل، U_{sw} سرعت ظاهری آب و U_{so} سرعت ظاهری گازوئیل می‌باشند. همان‌طور که از این شکل مشخص است،

برای اندازه‌گیری دمای جریان‌های ورودی و خروجی استفاده شده است که همه آن‌ها از نوع Pt100 (ساخت آلمان و خطای ± 0.5 درجه سانتی‌گراد) و با دقت 0.1 درجه سانتی‌گراد هستند. برای جلوگیری از هدر رفتن حرارت آلمان، قسمت آمایش به وسیله چند لایه عایق از جنس‌های کاغذ نسوز، پارچه نسوز، عایق فیبری و پشم شیشه عایق‌کاری شده است.

در هر آزمایش، اجازه داده شد تا جریان دوفازی در یک سرعت مشخص و شار حرارتی ثابت، جریان یابد تا زمانی که دماهای سطوح به حالت پایا برسند. مخلوط جریان، بعد از عبور از قسمت آمایش، وارد قسمت مشاهده می‌شود. این قسمت، یک لوله ۱ متری شفاف از جنس اکریلیک است. در لوله‌های با قطر کم، سرعت مخلوط دوفازی بسیار زیاد است و تعیین الگوهای جریان از طریق مشاهده چشمی دشوار و می‌توان گفت ناممکن است. به همین دلیل، در اینجا برای تشخیص الگوهای جریان، در سرعت‌های به کاررفته برای آب و گازوئیل از یک دوربین دیجیتالی سرعت بالا (Panasonic، مدل DMC-FT1)، استفاده شده است. دمای سیال پس از خروج از این قسمت، به وسیله یک حسگر اندازه‌گیری می‌شود.

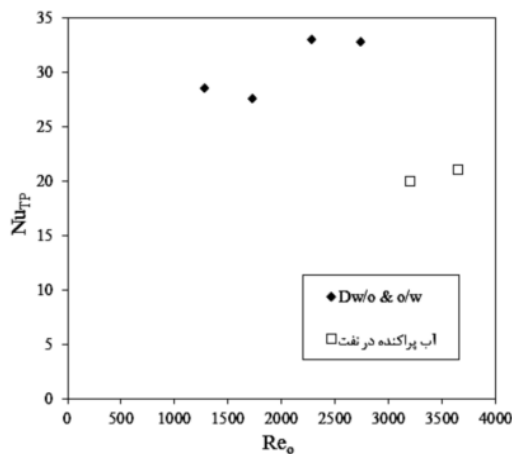
مخلوط برای خنک شدن، وارد یک مبدل حرارتی پوسته و لوله می‌شود. پوسته این مبدل، لوله‌ای به طول ۱۲۰ سانتی‌متر و قطر ۶ اینچ می‌باشد که دو طرف آن با فلنج آب‌بندی شده است. در داخل پوسته ۳۰ متر لوله مسی ۱۰ میلی‌متری در چهار شاخه به صورت رفت و برگشت قرار داده شده است. جریان دوفازی وارد لوله و آب وارد پوسته می‌شود. جریان پس از سرد شدن، وارد جداکننده (مخزن ۷۵۰ لیتری) می‌شود که در آن، به دو فاز فرصت داده می‌شود تا از هم جدا شوند.

الگوی Do/w & w/o بیشتر زمانی که سرعت‌های آب و گازوئیل تقریباً برابرند، مشاهده شده است.

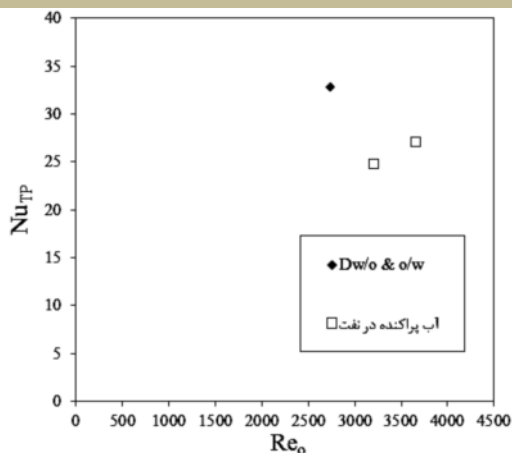


شکل (۵): تغییرات ناسلت دوفازی در یک سرعت ثابت آب (۰/۳۸۶ متر بر ثانیه)

این روند در شکل‌های (۶) و (۷) به ترتیب برای سرعت‌های آب ۰/۴۹۵ و ۰/۷ متر بر ثانیه نیز مشاهده شده است.

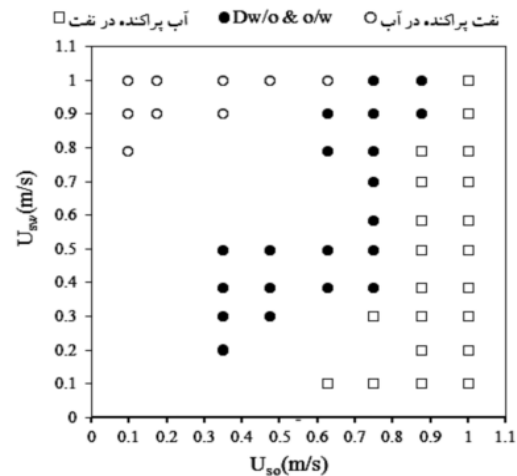


شکل (۶): تغییرات ناسلت دوفازی در یک سرعت ثابت آب (۰/۴۹۵ متر بر ثانیه)



شکل (۷): تغییرات ناسلت دوفازی در یک سرعت ثابت آب (۰/۷ متر بر ثانیه)

در سرعت ۱ متر بر ثانیه آب، نتایج ناسلت دوفازی در سرعت‌های مختلف گازوئیل در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که



شکل (۴): محدوده سرعت الگوی جریان Do/w & w/o

شکل (۵) تغییرات عدد ناسلت^۱ دوفازی را نسبت به تغییرات عدد رینولدز^۲ گازوئیل در یک سرعت ثابت آب (۰/۳۸۶ متر بر ثانیه) نشان می‌دهد. عدد ناسلت دوفازی از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$Nu_{TP} = \frac{h_{TP} D}{k_{mix}} \quad (2)$$

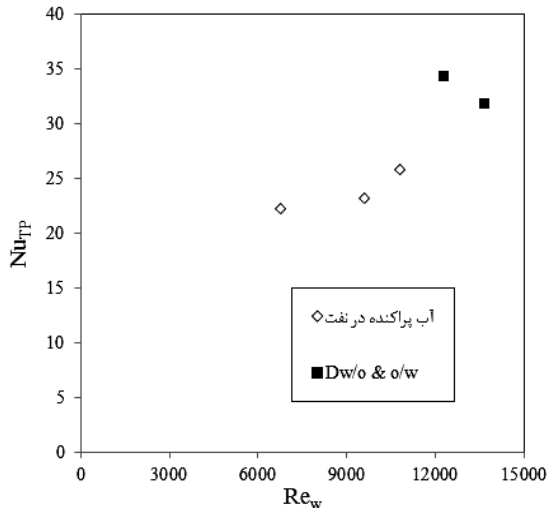
که در آن، D قطر لوله، h_{TP} ضریب انتقال حرارت دوفازی و k_{mix} رسانایی مربوط به مخلوط دوفازی است. همان‌طور که از شکل (۵) قابل مشاهده است، در الگوی جریان Do/w & w/o ، با افزایش سرعت گازوئیل عدد ناسلت افزایش می‌یابد. با توجه به این شکل، این روند افزایشی تا زمانی که الگوی جریان تغییر نکرده است، ادامه می‌یابد. اما با افزایش بیشتر سرعت گازوئیل، الگوی جریان به الگوی آب پراکنده در نفت تبدیل می‌شود که این تغییر الگو باعث افت شدید عدد ناسلت (ضریب انتقال حرارت) شده است.

با تغییر الگوی جریان، گازوئیل به فاز پیوسته تبدیل می‌شود. نکته قابل ذکر در اینجا این است که مقاومت حرارتی در انتقال حرارت بین دیواره و الگوی پراکندگی، به‌طور غالب، به‌وسیله خواص فاز پیوسته کنترل می‌شود. این فاز، فازی است که حرارت را از دیواره لوله می‌گیرد و سپس حرارت باید از آن فاز به هسته و به عناصر فاز پراکنده نفوذ کند [۱]. با توجه به اینکه ضریب انتقال حرارت گازوئیل مقدار کمتری نسبت به آب دارد، پس در ضریب انتقال حرارت افت شدیدی ایجاد می‌شود.

1. Nusselt Number
2. Reynolds Number

انتقال حرارت در جریان پیوسته دوگانه دو مایع امتزاج‌ناپذیر ۱۷

نتیجه دیگری که از شکل (۹) می‌توان گرفت، بالا بودن ضریب انتقال حرارت الگوی $Do/w \& w/o$ است. در این الگو، هرچه سرعت آب افزایش می‌یابد، عدد ناسلت نیز با شیب ملایمی افزایش می‌یابد. در شکل (۱۰) نیز همین روند برای سرعت آب 0.877 متر بر ثانیه مشاهده می‌شود.



شکل (۱۰): تغییرات ناسلت دوفازی در یک سرعت ثابت گازوئیل (0.877 متر بر ثانیه)

همان‌طور که از شکل‌های (۵) تا (۱۰) قابل مشاهده است، اثر افزایش سرعت آب (در یک سرعت ثابت گازوئیل) بر ضریب انتقال حرارت، کمی بیشتر از اثر افزایش سرعت گازوئیل (در یک سرعت ثابت آب) می‌باشد.

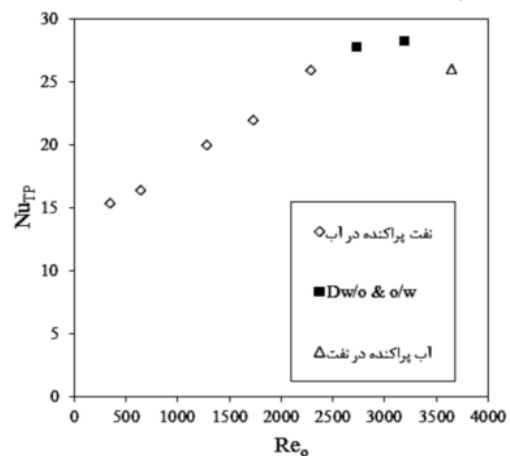
ضریب انتقال حرارت الگوی $Do/w \& w/o$ در سرعت‌های مختلف مخلوط دوفازی، مقادیر مختلفی دارد. با توجه به جدول (۱)، هرچه سرعت مخلوط دوفازی افزایش یابد، آشفستگی جریان بیشتر و در نتیجه ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد (Re_{mix} عدد رینولدز مخلوط می‌باشد).

جدول (۱): ضرایب انتقال حرارت دوفازی در سرعت‌های مختلف مخلوط

تصویر جریان	Re_{mix}	$h_{TP} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$
	۵۸۴۲	۵۴۵
	۸۷۹۲	۹۲۵
	۱۳۵۰۸	۱۱۳۲

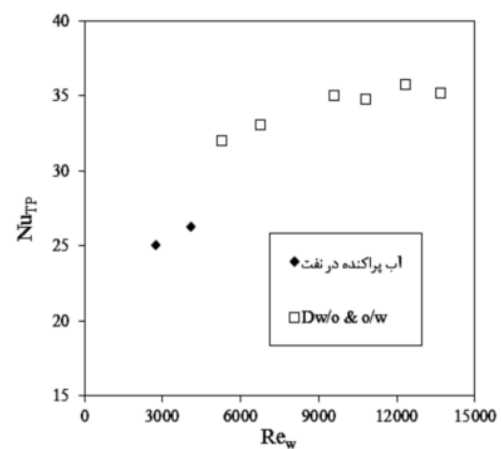
مشاهده می‌شود، در سرعت‌های کم گازوئیل در الگوی نفت پراکنده در آب، با افزایش سرعت گازوئیل عدد ناسلت دوفازی افزایش می‌یابد. این روند تا عدد رینولدز گازوئیل 2280 ادامه می‌یابد، اما با افزایش بیشتر سرعت گازوئیل الگوی نفت پراکنده در آب به الگوی $Do/w \& w/o$ تبدیل می‌شود. با توجه به شکل این تغییر در ساختار جریان، تغییر محسوسی در عدد ناسلت ایجاد نکرده است.

با ادامه افزایش سرعت گازوئیل، الگو از جریان $Do/w \& w/o$ به جریان آب پراکنده در نفت تغییر شکل می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، این تغییر الگو باعث کاهش عدد ناسلت دوفازی شده است (به دلیل تغییر فاز پیوسته).



شکل (۸): تغییرات ناسلت دوفازی در یک سرعت ثابت آب (۱ متر بر ثانیه)

شکل (۹)، نشان‌دهنده تغییرات عدد ناسلت دوفازی نسبت به تغییرات سرعت آب (در سرعت ثابت 0.75 متر بر ثانیه گازوئیل)، است. در این شکل، افزایش سرعت آب باعث تغییر شکل جریان از الگوی آب پراکنده در نفت به الگوی $Do/w \& w/o$ شده که این تغییر باعث افزایش شدید عدد ناسلت شده است.



شکل (۹): تغییرات ناسلت دوفازی در یک سرعت ثابت گازوئیل (0.75 متر بر ثانیه)

۴. نتیجه گیری

است. همچنین برای یک سرعت ثابت گازوئیل، روند تغییرات ضریب انتقال حرارت به الگوی جریان و سرعت آب بستگی دارد. با توجه به نتایج، افزایش سرعت آب نسبت به افزایش سرعت گازوئیل، تأثیر نسبتاً بیشتری بر ضریب انتقال حرارت می گذارد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری و حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه یاسوج، کمال سپاسگزاری را دارند.

در این پژوهش، محدوده‌های سرعت برای الگوی Do/w & w/o در یک لوله افقی به وسیله عکس برداری از جریان دوفازی، مشخص شد. همچنین، ضریب انتقال حرارت جریان دوفازی تحت شرط مرزی شار حرارتی ثابت، به صورت آزمایشگاهی اندازه گیری شد.

نتایج نشان داد که الگوی Do/w & w/o نسبت به الگوی آب پراکنده در نفت، ضریب انتقال حرارت بزرگتری دارد. برای یک سرعت ثابت آب، نتایج انتقال حرارت نشان داد که روند تغییرات ضریب انتقال حرارت به الگوی جریان و سرعت گازوئیل وابسته

مراجع

- [1] Hapanowicz, J., Polaczek, P., "Convective heat transfer of a liquid dispersion system flowing in a pipe", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 45, pp. 1-7, 2013.
- [2] Ghajar, A. J., Tang, C. C., "Importance of non-boiling two-phase flow heat transfer in pipes for industrial applications", Heat Transfer Engineering, Vol. 9, pp. 711-732, 2010.
- [3] Trallero, J. L., "Oil-water flow patterns in horizontal pipes", Ph.D. Dissertation, 1995.
- [4] Vedapuri, D., "Studies on oil-water flow in inclined pipelines". Ph.D. Thesis, Ohio University, 1999.
- [5] Angeli, P., Hewitt, G. H., "Flow structure in horizontal oil-water flow". International Journal of Multiphase Flow, Vol. 26, pp. 1117-1140, 2000.
- [6] Mandal, T. K., Chakrabarti, D. P., Das, G., "Oil water flow through different diameter pipes-similarities and differences", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 85, pp. 1-7, 2007.
- [7] De, B., Mandal, T. K., Das, G., "The rivulet flow pattern during oil-water horizontal flow through a 12 mm pipe", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 34, pp. 625-632, 2010.
- [8] Edomwonyi-Otu, Lawrence C., Angeli, P., "Pressure drop and holdup predictions in horizontal oil-water flows for curved and wavy interfaces", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 93, pp. 55-65, 2015.
- [9] Oglesby, K. D., "An experimental study on the effect of oil viscosity, mixture, velocity and water fraction on horizontal oil-water flow", MS Thesis, University of Tulsa, 1979.
- [10] Vedapuri, D., Bessette, D., Jepson, W. P. "A segregated flow model to predict water layer thickness in oil-water flows in horizontal and slightly inclined pipe lines", BHR Group Multiphase. 1997.
- [11] Valle, A., "Multiphase pipe line flows in hydrocarbon recovery", Multiphase Science Technology, Vol. 10, pp. 1-139, 1998.
- [12] Angeli, P., Hewitt, G. F., "Pressure gradient in horizontal liquid-liquid flows", International Journal of Multiphase Flow, Vol. 24, pp. 1183-1203, 1998.
- [13] Amundsen, L., "An experimental study of oil-water flow in horizontal and inclined pipes", Ph.D. Thesis, Norwegian university of Sciences and Technology, 2011.
- [14] Groven, S. S., Knudsen, J. G., "Heat transfer between immiscible liquids", Chemical Engineering Progress Symposium, Vol. 51, pp. 71-73, 1955.
- [15] Hobler, T., Palugniok, H., "Heat transfer from a tube wall to a two-phase liquid with turbulent flow", International Chemical Engineering, Vol. 12, pp. 655-662, 1972.
- [16] Somer, T. G., Bora, M., Kaymakcalan, O., Ozmen, S., Arikan, Y., "Heat transfer to an immiscible liquid mixture and between liquids in direct contact", Desalination, Vol. 13, pp. 231-249, 1973.
- [17] Lang, P., Auracher, H., "Heat transfer to nonmiscible liquid-liquid mixtures flowing in a vertical tube", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 12, pp. 364-372, 1996.
- [18] Dybek, B., Hapanowicz, J., Witczak, S., "Research methodology of non-isothermal liquid dispersion flow system", Chemical Process Engineering, Vol. 2, pp. 31-32, 2010.
- [19] Shang, W., Sarica, C., "A model for temperature prediction for two-phase oil/water stratified flow", ASME

Journal of Energy Resource Technology, Vol. 135, pp. 1-7, 2013.

- [20] Mohammad, K., Nazari, H. A., "*Heat transfer effect of oil-water flowing in horizontal pipe*", Advances in Functional Materials, Vol. 1, pp. 1-14, 2014.