



بررسی تجربی اثر کاهش اصطکاک لوله با استفاده از فاکتور پلیمری کاهش دهنده اصطکاک (DRA) در سیستم انتقال جریان سیال هیدروکربوری

مهدی خسروآبادی*^۱، منوچهر راد^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

۲- دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه شریف

* Mkh_242yahoo.com

ارسال: اردیبهشت ۹۷ پذیرش: خرداد ۹۷

چکیده

پدیده کاهش اصطکاک با استفاده از تزریق مواد پلیمری به رژیم جریان مغشوش که به عنوان پدیده تام شناخته می شود برای جریان صاف بدون اثر زبری لوله در سال ۱۹۷۵ توسط (virk, 1975) مورد بررسی قرار گرفت. طی سالهای بعد با توسعه مطالعات با هدف کاهش اصطکاک در جریان مغشوش توسط افرادی همچون torgeir اثر وزن مولکولی، غلظت و شرایط ترمودینامیکی پلیمر بر کاهش اصطکاک بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که با افزایش غلظت پلیمر پلی استرن در تولن برای جریان مغشوش، میزان کاهش اصطکاک، افزایش می یابد. همچنین Fernandes و Mowal اثر پلیمر بر کاهش اصطکاک در جریان های دو فازی را مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند بر روی لوله ای به قطر ۱۹ mm می توان به حداکثر کاهش اصطکاک ۶۳٪ و ۴۵٪ دست یافتند. از آنجاییکه افت فشار در لوله باعث افت انرژی در سیستم های انتقال خطوط لوله است، بنابراین اگر بتوان توسط روشهایی از میزان این نیروی بازدارنده کاست در نتیجه در توان مصرفی صرفه جویی خواهد شد. با این رویکرد در این مقاله اثر تزریق مواد پلیمری آلفا الفین در کاهش اصطکاک لوله با تزریق در جریان در آزمایشگاه بر روی سیال هپتان مورد ارزیابی قرار گرفته شده است و نشان داده شده است که می توان در تست آزمایشگاهی تزریق پلیمر، با استفاده از تزریق محلول پلیمری آلفا الفین در غلظت های مختلف به سیال هپتان در دستگاه لوپ تست، در اعداد $2300 < Re < 35000$ با تزریق غلظت های مختلف ۱-۵ ppm پلیمر به سیال هپتان در لوله ای از جنس S.S و قطر داخلی ۲۵ mm می توان به کاهش اصطکاکی حدود ۵-۳۵٪ در هر تزریق دست یافت.

کلمات کلیدی: درصد کاهش اصطکاک، خط لوله، ضریب اصطکاک، آلفا الفین، DRA.

۱- مقدمه

مکانیزم پدیده کاهش اصطکاک با استفاده از تزریق مواد پلیمری به رژیم جریان مغشوش که به عنوان پدیده تام شناخته می شود برای جریان صاف بدون اثر زبری لوله در سال ۱۹۷۵ توسط (virk, 1975) مورد بررسی قرار گرفت [۱]. در سال ۲۰۰۴ torgeir تاثیر وزن مولکولی، غلظت و شرایط ترمودینامیکی پلیمر را بر کاهش اصطکاک بررسی نمودند و نشان دادند که با افزایش غلظت پلیمر پلی استرن در تولن برای جریان مغشوش، کاهش اصطکاک افزایش می یابد [۲]. در همین سال اثر پلیمر بر کاهش اصطکاک در جریان های دو فازی توسط Fernandes و Mowal بر روی لوله ای به قطر ۱۹ mm مورد بررسی قرار گرفت

و به حداکثر کاهش اصطکاک ۶۳٪ و ۴۵٪ دست یافتند [۴]، [۳]. در سال ۲۰۰۶ اثر کاهش اصطکاک در لوله عمودی با جریان در حال گردش توسط B.A. Jubran مورد ارزیابی قرار گرفت؛ برای بالا دست جریان به ۳۵٪ و برای پایین دست جریان به ۴۵٪ کاهش اصطکاک دست یافتند. [۵]

در سال ۲۰۱۵ m.esharti و همکاران اثر تزریق پلی اکرامیدهای با وزن مولکولی بالا را به جریان سیال دو فاز نفت و آب عبوری از داخل لوله عمودی به قطر ۳۰.۶ mm را مورد بررسی قرار دادند. سیال عامل آزمون آنها سیال دو فاز نفت - آب بود بطوری که نفت آن دارای مشخصات فیزیکی با چگالی 0.886 g/cm^3 ، لزجت CP ۱۸.۶ در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد بود. آنها با نسبتهای مختلف نفت و آب به سیال پلیمر با غلظت‌های مختلف تزریق کردند و بیشترین کاهش اصطکاک را در غلظت تزریق ۲۰ PPM مشاهده نمودند. در این تحقیق آنها نشان دادند که با افزایش نسبت نفت در جریان دوفازی اثر کاهش اصطکاک، کاهش می‌یابد و با افزایش سرعت جریان به سرعت‌های بالاتر از ۱ m/s برای غلظت‌های بالاتر از ۱۰ ppm تزریق، کاهش اصطکاک افزایش می‌یابد. [۶]

در سال ۲۰۱۰ Al-Sarkhi اثر تزریق پلیمر را بر روی سیال دوفازی مایع-گاز و مایع-مایع مورد مطالعه قرار داد و ویژگیهای جریان دو فاز نفت که به آن عامل کاهنده اصطکاک افزوده شده بود را مورد ارزیابی قرار داد و نشان داد در حالت جریان حبابی، تزریق پلیمر بر روی میزان اغتشاش و اندازه حبابها اثرگذار است و بیشترین کاهش اصطکاک زمانی حاصل می‌شود که رژیم جریان مغشوش از جریان توده‌ای و یا حلقوی مغشوش به جریان همگن مغشوش تغییر می‌یابد. [۷]

در سال ۲۰۱۷ Hadj با هدف حذف خطر فرسایش خاک ناشی از سیلاب و امنیت سدها و حفظ مفید حجم مفید پشت سدها به واسطه کاهش ذرات معلق خاک در طول انتقال آب از طرق خطوط لوله با استفاده از مدل Herschel-Bulkley برای آب گل با غلظت حجمی ۱۰٪ تا ۲۰٪ و افزودن ۰.۱٪ تا ۰.۴٪ از لجن پساب به محلول آب و گل در غلظت‌های ۲۵٪ تا ۳۵٪ به بیشترین میزان کاهش اصطکاک دست یافتند [۸].

در همین سال Raheek با هدف کاهش وسکاسیته نفت خام سنگین عراق با استفاده از طراحی یک میدان الکتریسیته موثر توانستند نشان دهند که با تغییرات سه متغیر زمان (۰-۶۰ s) و ولتاژ (۷-۱۴۰ V) و فاصله بین الکترودها (۲-۱۰ cm) استفاده کردند و برای نشان دادن اثر آن بر ویسکازیتته نفت خام، نانوسیلیکا را در غلظتهای مختلف (۰-۷۰۰ mg/l) به نفت خام تزریق کردند. حداقل ویسکازیتته ۲۰.۴۷۹ cSt. در زمان ۳۲ ثانیه، ولتاژ ۱۸۸ ولت و فاصله الترودی ۶.۱۱ cm بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان دان بهینه غلظت نانوسیلیکا ۱۰۰ mg/l کمترین ویسکازیتته ۱۲.۸ cSt را که موجب کاهش توان مصرفی به میزان ۶۰.۶٪ خواهد بود که حداقل ۱۱ ساعت پایدار خواهد ماند [۹].

همچنین در سال ۲۰۱۷ (Shirsendu et al, 2017) نشان داد با استفاده از عامل کاهنده مصنوعی نقطه ریزش (PPD) نفت خام می‌توان میزان ته نشینی واکس نفت خام را کاهش داد. در این تحقیق نشان داده شد در لوله‌های عمودی به طول ۲.۵ متر و قطرهای ۱ اینچ و ۲ اینچ چنانچه نرخ جریان حدود ۸۰-۱۲۰ LPM باشد و با استفاده از ۱۰۰۰ pm از PPD ضخامت واکس ته نشین شده ۳۱٪ تا ۷۲٪ در نرخ جریان ۱۲۰ LPM و دمای ۳۰°C در لوله‌های ۱ اینچ و ۲ اینچ کاهش خواهد یافت و در هر دولوله در این شرایط ۱۵٪ کاهش اصطکاک اتفاق خواهد افتاد [۱۰].

از آنجاییکه افت فشار در لوله باعث افت انرژی در سیستم‌های انتقال خطوط لوله است، بنابراین اگر بتوان توسط روشهایی از میزان این نیروی بازدارنده کاسته شود در نتیجه در توان مصرفی صرفه‌جویی می‌شود، توان پمپاژ کاهش داده می‌شود و با افزایش میزان دبی جریان، ظرفیت انتقال افزایش پیدا می‌کند. در این مقاله روش کاهش اصطکاک با استفاده از تزریق مواد پلیمری الفالفین به سیال هپتان در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفته شده است.

۲- معادلات حاکم

با استفاده از فرضیات زیر روابط حاکم بر جریان را تحلیل میکنیم. این فرضیات عبارتند از:

- جریان پایدار و یکنواخت است
- سیال نیوتنی باشد.
- سیال تراکم ناپذیر باشد
- جریان یک بعدی باشد

۲-۱- افت هد - عامل اصطکاک

وقتی روابط جریان لوله‌ها را در مسائل عملی به کار می‌بریم، مرسوم است از تحلیل حجم کنترل استفاده کنند. جریان پایدار تراکم ناپذیری را بین مقطع ۱ و ۲ در لوله‌ی دارای سطح مقطع ثابت و شیبدار شکل ۱ در نظرمی‌گیریم، رابطه پیوستگی به صورت زیر ساده می‌شود:

$$Q_1=Q_2, \quad V_1=V_2=V \quad (1)$$

در این رابطه Q دبی حجمی و V سرعت سیال است. چون لوله دارای مقطع ثابت است، معادله انرژی جریان پایدار به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\left(\frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z \right)_1 = \left(\frac{P}{\rho g} + \alpha \frac{V^2}{2g} + z \right)_2 + h_f \quad (2)$$

در این رابطه p فشار، v سرعت، ρ چگالی، g شتاب ثقل زمین، z ارتفاع، α ضریب اغتشاش و h_f اتلافات است. چون پمپ یا توربین بین دو مقطع وجود ندارد، برای جریان کاملاً توسعه یافته، شکل پروفیل سرعت در دو مقطع یکسان است. چون $V_1=V_2$ لذا معادله (۲) به افت فشار در مقابل افت هد و تغییر ارتفاع تبدیل می‌شود:

$$h_f = (z_1 - z_2) + \left(\frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} \right) = \Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} \quad (3)$$

افت هد مساوی با تغییر مجموع هد فشاری و نیروی ثقل است. با بکار بردن رابطه اندازه حرکت در حجم کنترل شکل ۱ و احتساب نیروهای موجود در جهت X به دلیل وجود فشار، نیروی برشی، خواهیم داشت:

$$\sum F_X = \Delta P(\pi R^2) + \rho g(\pi R^2)L \sin \phi - \tau_w(2\pi R)L = \dot{m}(V_2 - V_1) = 0 \quad (4)$$

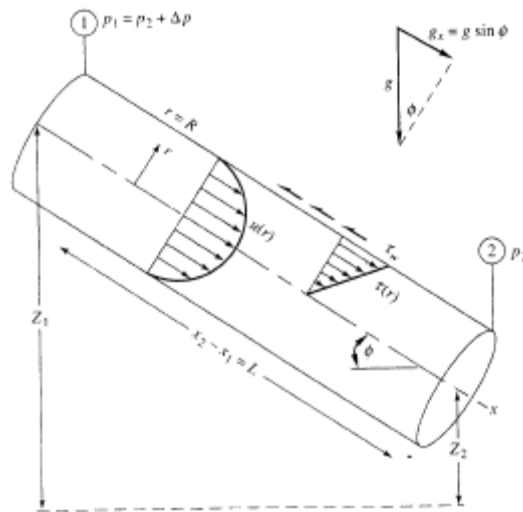
در این رابطه v سرعت، F نیرو، L طول لوله، P فشار سیال، R شعاع لوله، g شتاب ثقل زمین و ρ چگالی سیال است. با جایگذاری $\Delta Z = L \sin \phi$ و مرتب کردن رابطه داریم:

$$\Delta z + \frac{\Delta P}{\rho g} = h_f = \frac{2\tau_w L}{\rho g R} = \frac{4\tau_w L}{\rho g D} \quad (5)$$

در این رابطه t_w تنش برشی، L طول مقطع، D قطر، g شتاب ثقل و ρ چگالی سیال است. مشاهده می‌شود بدون توجه به افقی یا شیبدار بودن لوله، افت فشار متناسب با تنش برشی جداره است. معادله (۵) نشان می‌دهد که h_f متناسب با است و داده‌هایی نظیر هاگن [۵] نیز نشان می‌دهند که برای جریان متلاطم و درهم، h_f تقریباً متناسب با V_2 است و به شکل زیر مطرح می‌شود:

$$f = fcn(Re_d, \frac{\varepsilon}{d}, geometry) \text{ و } h_f = f \frac{L V^2}{d 2g} \quad (6)$$

در این رابطه Re عدد رینولدز، ε زبری لوله، d قطر لوله و f ضریب اصطکاک دارسی است.



شکل ۱- حجم کنترل جریان کاملاً توسعه یافته پایدار بین دو مقطع از یک لوله ی شیبدار [۳]

پارامتر بدون بعد f را ضریب اصطکاک دارسی می نامند. کمیت ε ارتفاع زبری های جدا شده است که در جریان متلاطم درون لوله مهم است. اثر شکل مجرا در معادله (۶) به ما یادآوری می کند که مجرای عبوری ضریب اصطکاک متفاوت دارند. باتساوی معادله (۵) و (۶) شکل دیگری از ضریب اصطکاک را به دست می آوریم:

$$f = \frac{8\tau}{\rho V^2} \quad (7)$$

در این رابطه τ_w تنش برشی، V سرعت سیال، f ضریب اصطکاک دارسی، g شتاب ثقل و ρ چگالی سیال است. برانت معادله (۸) را در سال ۱۹۳۵ نتیجه گیری کرد و سپس مقادیر ثابتی را برای اینکه داده ها متناسب باشند تنظیم کرد:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 2.0 \log(Re_d f^{1/2}) - 0.8 \quad (8)$$

در این رابطه Re عدد رینولدز، و f ضریب اصطکاک دارسی است. تقریب های دیگری وجود دارند که با استفاده از آنها، f را می توان از Re به دست آورد:

$$10 f = \begin{cases} 0.316 Re_d^{-1/4} \\ \left(1.8 \log \frac{Re_d}{6.9}\right)^{-2} \end{cases} \quad 400 < Re < 10^5 \text{ بلازیوس} \quad (9)$$

در این رابطه Re عدد رینولدز و f ضریب اصطکاک دارسی است. برای لوله افقی از معادله (۶) در اعداد رینولدز پایین داریم:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = f \frac{L V^2}{d 2g} \approx 0.316 \left(\frac{\mu}{\rho V d}\right)^{1/4} \frac{L V^2}{d 2g} \quad (10)$$

در این رابطه P فشار سیال، V سرعت سیال، f ضریب اصطکاک دارسی، g شتاب ثقل و ρ چگالی سیال، L طول مقطع، d قطر لوله و μ لزجت سیال است.

$$\Delta p \approx 0158L\rho^{3/4}\mu^{1/4}d^{-5/4}V^{7/4} \quad (11)$$

در این رابطه P فشار سیال، V سرعت سیال، g شتاب ثقل و ρ چگالی سیال، d قطر لوله و μ لزجت سیال است. توجه شود که ΔP تنها کمی با لزجت افزایش می یابد که مشخصه ی جریان درهم و متلاطم است. با قرار دادن $Q=1/4\pi d^2V$ در معادله ی (۱۱) شکل دیگری را به دست می آوریم:

$$\Delta P \approx 0.241L\rho^{3/4}\mu^{1/4}d^{-4.75}Q^{1.75} \quad (12)$$

در این رابطه P فشار سیال، V سرعت سیال، g شتاب ثقل و ρ چگالی سیال، d قطر لوله و μ لزجت سیال، L طول لوله و Q دبی حجمی جریان است.

۲-۱-۱- اثر زبری لوله و اصطکاک

در سال ۱۹۳۹ برای پوشش دادن زبری حالت گذرا، کلبروک معادلات دیواره صاف و معادله ی لوله کاملاً زبر شده را با هم ترکیب کرد و رابطه ای به صورت زیر به دست آورد:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = -2.0 \log \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re}_d f^{1/2}} \right) \quad (13)$$

در این رابطه ε/d زبری نسبی، f ضریب اصطکاک داری و Re عدد رینولد سیال است. این رابطه، رابطه طراحی پذیرفته شده اصطکاک جریان متلاطم و درهم است. رابطه دقیق تر جایگزینی توسط هالند به صورت زیر ارائه شده است [۱۲-۱۶].

$$\frac{1}{f^{1/2}} \approx -1.8 \log \left[\frac{6.9}{\text{Re}_d} + \left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (14)$$

۳- چگونگی بررسی میزان توانایی مواد پلیمری در کاهش اصطکاک

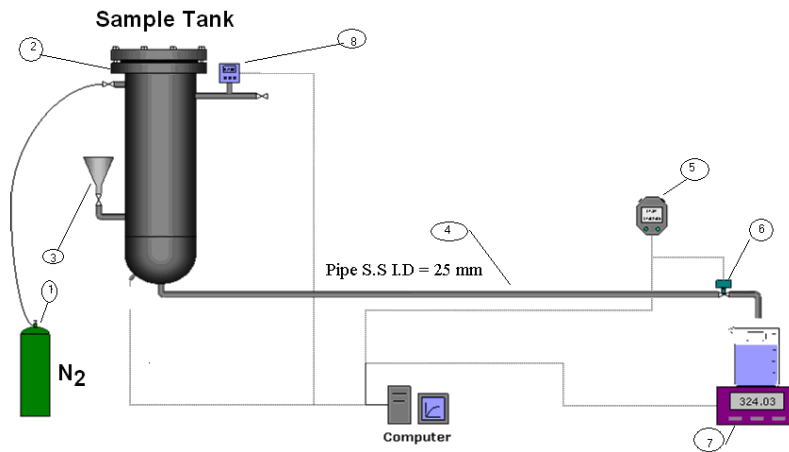
بررسی میزان توانایی مواد در کاهش اصطکاک در دستگاه لوپ تست که نمای شماتیک و نحوه عملکرد آن در شکل (۲) نشان داده شده است، انجام می شود. روش کار بدین صورت است که در ابتدا سیالی که فاقد عامل کاهنده اصطکاک (DRA) می باشد را درون دستگاه لوپ ریخته و در فشار مشخص گاز نیتروژن و در زمان مشخص، وزن مقدار سیال خروجی را اندازه گیری می کنیم. سپس محلول هایی با غلظت های مختلف از DRA در سیال اولیه را تهیه کرده و پس از قرار دادن این محلول در دستگاه لوپ تست در فشار و زمان مشخص وزن مقدار سیال خروجی را اندازه گیری می کنیم. در انتها با توجه به وزن های اندازه گیری شده و همچنین مقدار راندمان کاهش اصطکاک (Drag reduction) مطابق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\% DR = \left[\frac{W_{with\ DRA}^{1.75} - W_{without\ DRA}^{1.75}}{W_{with\ DRA}^{1.75}} \right] = 1 - \left(\frac{W_{without\ DRA}}{W_{with\ DRA}} \right)^{1.75} \quad (15)$$

در این رابطه W وزن سیال اندازه گیری شده و %DR درصد کاهش اصطکاک است. بر اساس رابطه (۱۲) از آنجائیکه ضریب اصطکاک C_F متناسب افت فشار و متناسب با عکس توان ۱.۷۵ دبی حجمی است بنابراین رابطه (۱۵) را می توان به شکل زیر نیز نوشت:

$$\% DR = 1 - \left(\frac{C_{F\ with\ DRA}}{C_{F\ without\ DRA}} \right) \quad (16)$$

در این رابطه C_F ضریب اصطکاک سطح لوله و $DR\%$ درصد کاهش اصطکاک است. با داشتن مقدار تغییرات دبی جریان در اعداد رینولدز های معلوم، می توان درصد $DR\%$ را از رابطه (۱۶) به دست آورد. با معلوم بودن مشخصات زبری و جنس لوله انتقال سیال مورد آزمایش و استفاده از رابطه (۱۴) و یا (نمودار مودی) می توان ضریب اصطکاک داریسی (f) و در نتیجه ضریب اصطکاک سطح را در حالت قبل از تزریق DRA به دست آورد ($C_F = f/4$) سپس با استفاده از رابطه (۱۶) می توان ضریب اصطکاک C_F را بعد از تزریق DRA محاسبه کرد.



شکل ۲- نمای شماتیک از دستگاه لوپ تست و مکانیزم عملکرد آن که اجزاء آن عبارتند از: (۱) مخزن تحت فشار گاز نیتروژن (۲) مخزن نگهداشت سیال هپتان (۳) قیف رابط ارسال سیال و DRA به مخزن نگهداشت (۴) لوله از جنس فولاد زدزنگ ASTM 316L با قطر داخلی ۲۵ میلیمتر (۵) تایمر دیجیتالی (۶) شیر برقی (۷) ترازو دیجیتالی (۸) عنصر مبدل فشار به جریان الکتریکی

۴- روش انجام آزمایش و نمونه محاسبات

۴-۱- روش انجام آزمایش

ابتدا سیال مورد آزمایش (هپتان) را وارد مخزن کرده و آن را با گاز نیتروژن تحت فشار قرار می دهیم. برای فشار های مختلف، سرعت جریان و مقدار جرم وزن شده در ترازو در زمان مشخص را ثبت می کنیم. سپس محلولی از سیال مورد آزمایش را که باغلظت های مختلف تهیه شده در درون مخزن ریخته و متناسب با فشار قبلی در هر مرحله تحت فشار گاز نیتروژن قرار می دهیم. سپس در این حالات وزن محلول آغشته به DRA را در همان مدت زمان قبلی ثبت می کنیم. با این داده ها می توان در اعداد رینولدز مختلف به دست آمده مقدار تغییرات دبی، $DR\%$ و C_F را به دست آورد.

۴-۲- نمونه محاسبات

۴-۲-۱- مشخصات سیال مورد آزمایش

سیال مورد آزمایش هپتان می باشد و با استفاده از جداول خصوصیات فیزیکی هپتان [۱۱] برای این سیال در دمای $22^{\circ}C$ داریم:

$$\rho = 679 \frac{Kg}{m^3} \quad \mu_f = 4.07 \times 10^{-4} \frac{N.s}{m^2} \quad \nu = 5.99 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

در این رابطه ρ چگالی سیال، μ_f لزجت و ν لزجت دینامیکی سیال است. مدت زمان تنظیم شده باز و بست شیر جهت مشخص شدن وزن و دبی جرمی را ۱۵ ثانیه در نظر گرفته می شود.

❖ مشخصات DRA :

Primary alkyl alcohol < %65
Polyolefin Synthetic Rubber < %35

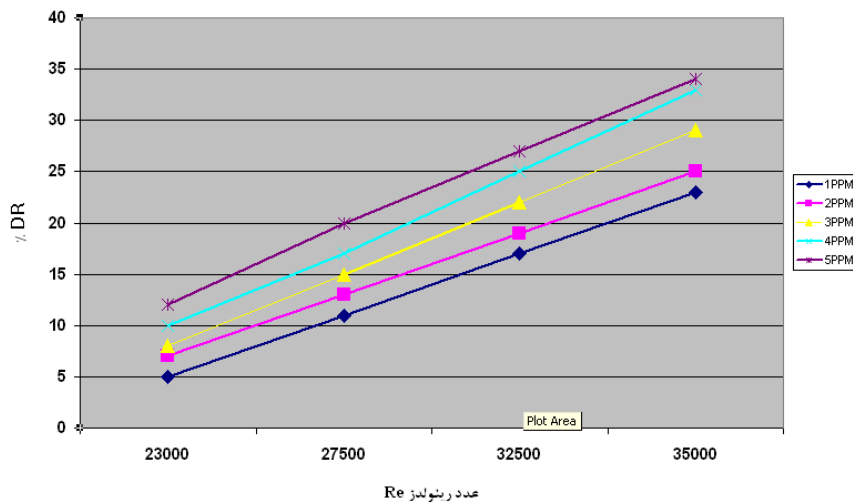
❖ ۲-۲-۴- مشخصات لوله

قطر دهانه داخلی لوله ID=25mm است که با در نظر گرفتن زبری برای لوله stainless steel به مقدار $\varepsilon=0.002$ mm و $\varepsilon/d=8*10^{-5}$ برای اعداد رینولدز مختلف با استفاده از نمودار مودی برای حالت قبل از تزریق DRA داریم:

Re=23000 , f= 0.026 , CF = 0.0065
Re = 27500 , f = 0.023 , CF =0.00575
Re = 32500 , f = 0.023 , CF= 0.00755
Re = 35000 , f = 0.0225 , CF = 0.00562

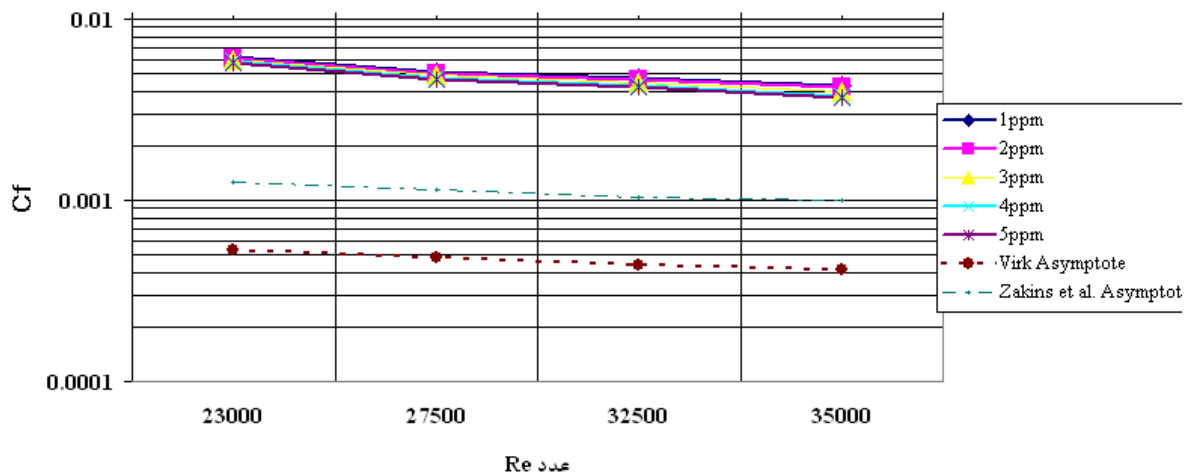
جدول ۱- نتایج به دست آمده از آزمایش لوب تست بر روی سیال هپتان قبل و بعد از تزریق DRA در اعداد رینولدز مختلف

میزان تزریق DRA بر حسب ppm	ضریب اصطکاک Cf	در صد کاهش اصطکاک (/DR)	دبی جرمی بعد از تزریق DRA حسب g/s	دبی جرمی بدون تزریق DRA حسب g/s	سرعت متوسط V	عدد Re
5	0.00572	12	10.59	9.85	0.55	23000
5	0.0046	20	12.84	11.3	0.66	27500
5	0.0041975	27	15.54	12.98	0.78	32500
5	0.0037125	34	16.61	13.1	0.84	35000
4	0.00585	10	11.19	9.85	0.55	23000
4	0.0047725	17	12.57	11.3	0.66	27500
4	0.0043125	25	15.29	12.98	0.78	32500
4	0.00376875	33	16.47	13.1	0.84	35000
3	0.00598	8	10.33	9.85	0.55	23000
3	0.0048875	15	12.39	11.3	0.66	27500
3	0.004485	22	14.96	12.98	0.78	32500
3	0.00399375	29	15.91	13.1	0.84	35000
2	0.006045	7	10.27	9.85	0.55	23000
2	0.0050025	13	12.23	11.3	0.66	27500
2	0.0046575	19	14.64	12.98	0.78	32500
2	0.00421875	25	15.44	13.1	0.84	35000
1	0.006175	5	10.14	9.85	0.55	23000
1	0.0051175	11	12.08	11.3	0.66	27500
1	0.0047725	17	14.43	12.98	0.78	32500
1	0.00433125	23	15.21	13.1	0.84	35000



شکل ۳- درصد کاهش اصطکاک بدست آمده از آزمایش بر حسب عدد رینولدز در غلظت های مختلف محلول پلیمری آلفا الفین تزریق شده به سیال هپتان.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می گردد با تزریق غلظت های مختلف ۱-۵ ppm پلیمر به سیال هپتان در لوله های از جنس S.S و قطر داخلی ۲۵ میلیمتر می توان به کاهش اصطکاکی حدود ۵-۳۵٪ در هر تزریق رسید. همانطور که شکل نشان می دهد با افزایش عدد رینولدز جریان، میزان درصد کاهش اصطکاک در هر غلظت افزایش می یابد. بنابراین رابطه معناداری بین افزایش عدد رینولدز و افزایش میزان کاهش اصطکاک جریان در هر غلظت از تزریق پلیمر وجود دارد.



شکل ۴- مقدار کاهش ضریب اصطکاک بر حسب رینولدز در غلظت های مختلف محلول پلیمری آلفا الفین تزریق شده به سیال هپتان.

همچنین همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود میزان ضریب اصطکاک C_F در غلظت های مختلف محلول پلیمری PAO با افزایش عدد رینولدز، کاهش می یابد و می توان رابطه معناداری بین افزایش عدد رینولدز و کاهش ضریب اصطکاک C_F در هر غلظت از تزریق پلیمر مشاهده کرد.

۵- نتیجه گیری

ضریب اصطکاک در لوله معیاری است که برای رسیدن هد سرعتی به افت اصطکاکی بکار گرفته می شود و فاکتور بزرگی است که عملکرد اثر تولیدات اصطکاک را بصورت مقدار عددی در سیستم سیال جمع می کند. مفهوم ضریب اصطکاک درک این موضوع که DRA چگونه کار می کند را برای ما فراهم نمی کند. بنابراین لازم است که بر روی پروفیل های سرعت تجربی

در جریان های درهم درون لوله متمرکز شویم تا اصولی را که مفهوم ضریب اصطکاک را پوشش می دهند درک کنیم و همچنین درک کنیم که کاهش اصطکاک چگونه ممکن است اتفاق بیفتد.

مفهوم جریان درهم در حط لوله به این معنی است که ذرات سیال در هر جهتی به حرکت در آیند در حالیکه جریان خالص سیال در جهت کاهش فشار است بطوریکه تمام سیال در جهت جذب انرژی خالص سیال لوله نیست. با افزایش درهمی جریان، انرژی جذب شده توسط جریانهای متقاطع عمود بر محور جریان زیادتر می شود.

افزودن عامل کاهش اصطکاک (DRA) به جریان خط لوله باعث کاهش هزینه پمپاژ و افزایش نرخ جریان می شود و در یک سیستم خط لوله جدید این امکان را به ما می دهد که از لوله با قطر کوچکتر به همراه کاهش هزینه پمپاژ استفاده کنیم. یکی از مزایای استفاده از DRA این است که DRA به سرعت می تواند به کار گرفته شود و از هزینه های سرمایه ای در تاسیس ایستگاه های پمپاژ جدید جلوگیری کند. در خطوط نفت با مصرف مقدار کمی DRA می توان به کاهش اصطکاک زیادی رسید.

با توجه به شکل ۳ مشاهده می گردد که با تزریق غلظت های مختلف ۵-۱ ppm پلیمر به سیال هپتان در لوله های از جنس S.S و قطر داخلی ۲۵ میلیمتر می توان به کاهش اصطکاک حدود ۵-۳۵٪ در هر تزریق رسید. همانطور که شکل نشان می دهد با افزایش عدد رینولدز جریان میزان درصد کاهش اصطکاک در هر غلظت افزایش می یابد. در شکل ۴ مشاهده می شود میزان ضریب اصطکاک C_F در غلظت های مختلف محلول پلیمری PAO با افزایش عدد رینولدز، کاهش می یابد.

۶- مراجع

1. P.S.Virk ; Drag reduction fundamentals ; AICHE J.21 (1975) 625-656.
2. Torgeir Nakken, Morten Tande , Bo Nystrom ; Effects of molar mass, concentration and thermodynamic conditions on polymer – induced flow drag reduction ; European polymer J.40(2004)181-186
3. R.L.J. Fernandes , B.M.Jutte, M.G.Rodriguez ; Drag reduction in horizontal annular two-phase flow ; International Journal of Multiphase Flow 30(2004) 1051-1069.
4. D.Mowal , A.Naderi , The effects of polymer solution on drag reduction in horizontal pipe two-phase flow ; Iran university of science and technology , 23-25 . November , 2004.
5. B.A.Jubran , Y.H.Zurigat , M.S.Al-Busaidi ; The use of drag reduction agent and detergent for drag reduction in circulatory vertical pipe flow ; polymer – plastics Technology and Engineering , 45 : 533-538, 2006.
6. M.Eshtrati A.R.Al-Hashmi T.Al-Wahaibi Y.Al-Wahaibi A.Al-Ajmi A.Abubakar; Drag reduction using high molecular weight polyacrylamides during multiphase flow of oil and water: A parametric study; Journal of Petroleum Science and Engineering; Volume 135, November 2015, Pages 403-409.
7. Abdelsalam Al-Sarkhi; Drag reduction with polymers in gas-liquid/liquid-liquid flows in pipes: A literature review; Journal of Natural Gas Science and Engineering; Volume 2, Issue 1, March 2010, Pages 41-48
8. Hadj Djelloul Mohamed, Belhadri Mansour and Boudjenane Nasr-Eddine ; Experimental study of using wastewater sludge as a new drag reduction agent; Water Science & Technology, 2017
9. Raheek I. Ibrahim , Manal K. Oudah, Aws F. Hassan; Viscosity reduction for flowability enhancement in Iraqi crude oil pipelines using novel capacitor and locally prepared nanosilica; Journal of Petroleum Science and Engineering 156 (2017) 356-365.
10. Shirsendu Banerjee, Ravindra Kumar, Afzal Akhtar, Rajesh Bairagi, Ajay Mandal & Tarun Kumar Naiya; Effect of pour point depressant on wax deposition and drag reduction in horizontal pipelines; Petroleum Science and Technology, 35:6, 561-569,
11. Robert H. Perry ; Perry's Chemical Engineers' Handbook ; 7th ed ; Handbooks, manuals, etc. I. Perry, Robert H., date. II. Green, Don W. III. Maloney, James O; McGraw-Hill ; 1997
12. Herrmann Schlichting , Klaus Gersten ; Boundary – Layer Theory ; springer ; 1999; 8th Revised and Enlarged Edition.

۱۳. ایروننگ اچ. شیمز، مکانیک سیالات، ترجمه: علیرضا انتضاری، زمستان ۱۳۷۴، انتشارات آینده سازان، چاپ سوم، صفحه ۳۰۹-۴۲۶

۱۴. حسن مدنی، مکانیک سیالات و هیدرولیک، زمستان ۱۳۸۵، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد علامه طباطبائی، چاپ هفتم، صفحه ۱۴۹-۳۴۸.
۱۵. فرانک م. وایت، مکانیک سیالات، ترجمه: غلامرضا ملکزاده - محمد حسین کاشانی حصار، زمستان ۱۳۸۶، انتشارات جهان فردا، چاپ اول، صفحه ۱۵۰-۴۷۴.
۱۶. فرانک م. وایت، مکانیک سیالات پیشرفته- سیالات جریان لزج-، ترجمه: محمد رضایی نیا، ۱۳۸۴، موسسه انتشاراتی فرهنگی فکر خلاق نوین - امید انقلاب، چاپ اول، صفحه ۱۱۶-۵۶۶.