# بررسی و شبیه سازی پایلوت سیستم امولسیونی انتقال نفت خام سنگین در خطوط لوله

اسماعیل اسماعیل زاده سکه[1*]
۱- کارشناس مهندسی شیمی صنایع پالایش
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، باشگاه پژوهشگران جوان، قوچان، ایران
دریافت:۹۱/۰۴/۰۵ پذیرش: ۹۱/۰۶/۰۲

**چکیده**

جهت انتقال نفت خام سنگین روش‌های مختلفی وجود دارد، یکی از این روش‌ها، روش امولسیونی می‌باشد. در این مقاله از نمونه نفت خام سنگینی، با API حدود ۱۵ استفاده شده است و هدف مورد بررسی مقایسه انتقال نفت خام سنگین در دو حالت انتقال نفت خام بدون استفاده از روش امولسیونی و انتقال نفت خام با استفاده از روش امولسیونی می‌باشد، که برای این منظور از نرم افزار HYSYS جهت شبیه سازی سیستم انتقال نفت استفاده شده است. ابتدا سیستم خط لوله را در نرم افزار HYSYS با نفت خام سنگین بدون استفاده از روش امولسیونی راه اندازی کرده و افت فشاری را که در خط لوله برای این حالت ایجاد می‌شود را با حالتی از نفت خام سنگین که از روش امولسیون استفاده شده را مورد مقایسه قرار داده و نتایج بدست آمده در هر دو حالت مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته که در نهایت منجر به ایجاد اختلاف افت فشاری معادل با ۶۰۴۲/۳ Kpa در طول مسیر خط لوله شده، که این اختلاف افت فشار نشان دهنده این است که به انرژی بسیار کمی جهت انتقال نفت سنگین با این روش نیاز است. همچنین برای توان پمپ مورد نیاز جهت به گردش در آوردن نفت خام سنگین، درون خط لوله، اختلافی معادل با ۱۶۲/۴۹ Kw در بین دو روش مشاهده می‌شود که باعث کاهش هزینه‌هایی از قبیل خرید پمپ، میزان برق مصرفی ، کارگر عملیاتی و غیره می‌شود.

**واژگان کلیدی:** نفت سنگین، انتقال نفت سنگین، خط لوله، افت فشار، امولسیون.

**مقدمه**

به طور کلی نفت خام سنگین و فوق سنگین، از اکسیداسیون باکتریولوژیک نفت خام در داخل مخازن ایجاد می‌شود. این گونه‌های نفتی خواص متفاوتی نسبت به نفت‌های خام سبک دارند. از جمله این خواص می‌توان به ویسکوزیته بالا، محتوای بالای فلزات سنگین، میزان قابل توجه فلزات سنگین، میزان قابل توجه واکس‌های نفتی و درصد سولفور و نیتروژن زیاد را نام برد [۱]. انتقال نفت سنگین به وسیله خط لوله بدون کاهش قبلی در ویسکوزیته آن امکان پذیر نمی باشد. بالا بودن ویسکوزیته نفت خام، که بخشی از آن حاصل لختگی یا رسوب مواد آسفالتین با جرم مولکولی بسیار بزرگ است، مشکلات شدیدی را پیش می‌آورد که گرفتگی حفره چاه در

* esmailzadeh.esmail@yahoo.com
Eesmailzadeh@complex.bipc.org.ir

عملیات تولید و ته نشینی و نهایتا انسداد در خط لوله طی عملیات انتقال از اهم آنها می‌باشند. بررسی گزارشات متعدد نشان می‌دهد که تولید نفت سنگین به ویژه از سال ۲۰۰۰ به این طرف رو به افزایش بوده است و انتظار می‌رود این روند افزایش تولید حداقل تا سال ۲۰۲۰ همچنان ادامه یابد. از این رو و والاتر از آن ، نیاز مبرم به نفت سنگین به منزله منبع انرژی هیدروکربنی، جهت تامین ایمن تقاضای فزاینده برای انرژی در دهه‌های آینده نه تنها لزوم توسعه و دست یابی به روشهای موثر با جذابیت‌های اقتصادی را برای حمل و نقل نفت سنگین توسط خط لوله ایجاب می‌کند بلکه به عنوان یک ضرورت استراتژیک برای یک کشور نفت خیز چه در گستره درون مرزی و چه در صحنه بین المللی مطرح و اعمال می‌نماید[۲].

جهت انتقال نفت خام سنگین روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به روش‌هایی از جمله انتقال از طریق گرمایش نفت خام، رقیق سازی نفت، بهسازی، امولسیون و غیره استفاده کرد[۲]. با توجه به این که در این مقاله روش مورد مطالعه، روش امولسیون می‌باشد لذا سعی شده در ابتدا توضیحاتی در ارتباط با این روش بیان شود.

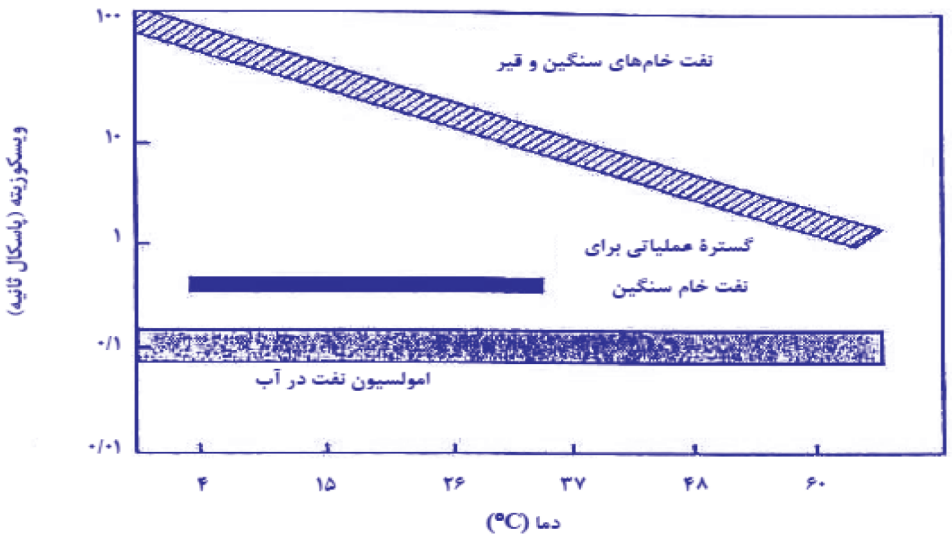
روش امولوسیون نفت در آب، که در آن نفت خام سنگین در آب به صورت قطرات متعادل شده توسط روآور (افزایش دهنده کشش سطحی) پخش می‌شود، بعلت مستعد بودن، توجه فزاینده ای کسب کرده و در حال توسعه بیشتر می‌باشد. طبق مطالعات و بررسی‌های گزارش شده بطور عمومی در یک سیستم امولسیونی، حدودا ۷۰٪ نفت خام و نزدیک به ۳۰٪ فاز آبی و ۵۰۰ الی ۲۰۰ ppm افزوده‌های شیمیایی را می‌توان انتظار داشت ویسکوزیته امولسیونی حاصل در شرایط عملیاتی خط لوله از ۵۰ الی ۲۰۰ Cp تغییر می‌کند. این روش در برخی از کشورها نظیر ونزوئلا برای انتقال نفت خام سنگین توسط خط لوله استفاده می‌شود . هر چند که تبدیل نفت سنگین به امولسیون نفت در آب به لحاظ فنی روش مستعدی است ولی مسائل زیست محیطی و خوردگی شدیدی را در بر دارد زیرا باعث آلودگی منابع آبی و تخریب خط لوله انتقال می‌شود. بعلاوه از آنجا که این روش نیاز به سرمایه گذاری بالایی دارد لذا بایستی از لحاظ اقتصادی تحت بررسی دقیق و توسعه قرارگیرد[۲]. شکل (۱) نرخ کاهش ویسکوزیته نفت خام را به وسیله امولسیون نسبت به دمای عملیاتی نشان می‌دهد[۲].

سیستم انتقال امولسیونی نفت خام از سه مرحله تشکیل می‌شود:

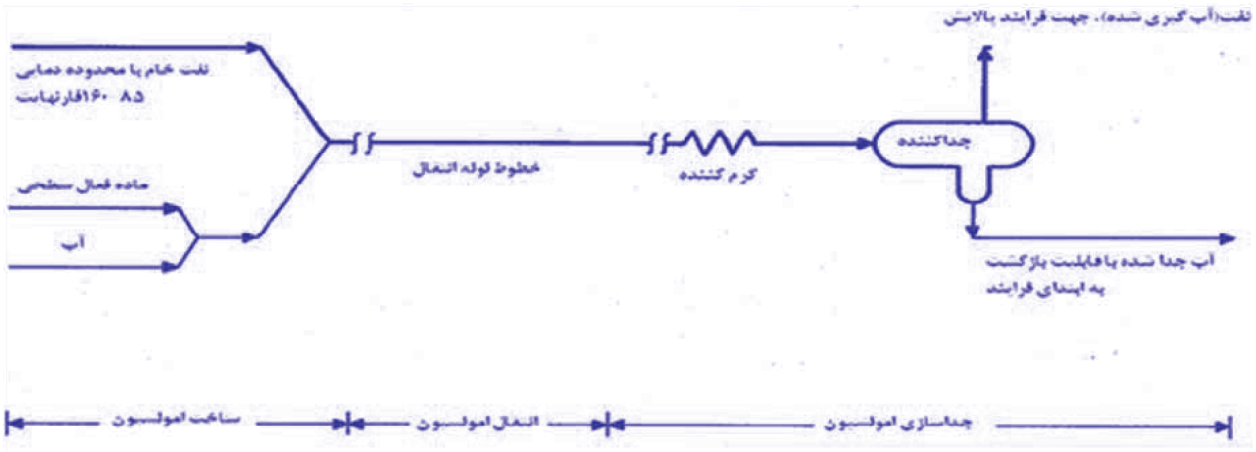
الف) تشکیل امولسیون نفت خام فوق سنگین در آب.

ب)انتقال امولسیون توسط پمپاژ از طریق خط لوله.

ج) اضمحلال امولسیون و تفکیک آن به فازهای نفت خام و آب.




**شکل (۱) - کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین بواسطه امولسیون نفت در آب با افزایش دما**




**شکل (۲) _ دیاگرام کلی سیستم انتقال امولسیونی نفت خام [۵]**

در شکل (۲) دیاگرام کلی سیستم انتقال نفت خام به روش امولسیونی نشان داده شده است. در طول مسیر، بسته به طول خط لوله انتقال امکان ایجاد ایستگاه‌های تقویت فشار وجود دارد. طراحی سیستم پمپاژ امولسیون تفاوتی با پمپاژ نفت خام ندارد .در موارد اجرا شده طول خطوط انتقال در سیستم امولسیونی عمدتاً در مقیاس چند کیلومتر و حداکثر چند ده کیلومتر گزارش شده است. به هر حال بنظر می‌رسد کاربری این سیستم برای مسافت‌های داخل کارخانه و یا بین کارخانه و همچنین مسافت‌های چاه‌های نفت تا پالایشگاه و مواردی از این دست تا حداکثر ۱۰۰کیلومتر مورد تجربه عملی قرار گرفته و برای مسافت‌های بالاتر، داده‌های تجربی معتبری گزارش نشده است[۲].

روش تجاری ایجاد انواع امولسیون‌ها، ساخت امولسیون به کمک هموژنایزرها می‌باشد. در این روش اختلاط دو فاز آب و نفت در دستگاه‌های بهم زن مکانیکی با دور بالا به نام هموژنایزر، صورت گرفته که باعث تشکیل امولسیون می‌شود. علاوه بر این روش، روش‌های دیگری هم برای تشکیل امولسیون پیشنهاد شده است که در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه صنعتی تست شده‌اند. از جمله این روش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) ایجاد امولسیون به کمک غشاء.

ب) ایجاد امولسیون به کمک امواج مافوق صوت.

ج) ایجاد امولسیون با فرآیند هموژنیزاسیون[۱].

### نمونه نفت خام و سیستم خط لوله

در این مقاله از یک نمونه نفت خام استفاده شده که از ته ماند برج تقطیر در خلاء پالایشگاه تهران بدست آمده و این نمونه نفت از نوع نفت سنگین می‌باشد که در آزمایشگاه توسط روشهای ASTM-D 86 و ASTM-D 1160 که در فشار یک اتمسفر بر حسب درصد حجمی تبخیر، در پژوهشگاه صنعت نفت مورد آنالیز قرار گرفته است .خواص فیزیکی و آنالیز نمونه نفت مورد مطالعه درجدول (۱) و جدول(۲) آورده شده است.

سعی شده نمونه نفت خام از یک سیستم خط لوله عبور داده شود تا بتواند تا حدودی در طول مسیر افت فشارهای مورد نیاز را ایجاد کند.این سیستم خط لوله دارای مشخصات زیر می‌باشد:

سیستم لوله‌کشی از چهار لوله با طول ۱ متر و قطر ۲ اینچ تشکیل است که توسط زانویی به هم متصل شده اند و با استفاده از یک پمپ، افت فشار ایجاد شده در داخل سیستم لوله کشی تامین می‌شود . و نفت خام به صورت چرخشی در داخل سیستم به جریان در می‌آید. در مورد اتلاف حرارتی سیستم لوله کشی،

جدول (۱) – خواص فیزیکی نفت مورد مطالعه

| | UNIT | TEST METHOD | Product | IBP-300 | 300+ |
|---|---|---|---|---|---|
| SP.GR @ 15.56/15.56 ° C | ------ | ASTM D4052 | 0.9685 | 0.7905 | 1.0106 |
| API | ------ | ASTM D1296 | 14.6 | 47.5 | 8.51 |
| IBP-275 | Wt% | تقطیرساده | 19.12 | --- | --- |
| 275+ | Wt% | تقطیرساده | 80.88 | --- | --- |
| water | Wt% | تقطیرساده | --- | --- | --- |
| Loss | | تقطیرساده | | --- | --- |

جدول (۲) – آنالیز نمونه نفت خام مورد مطالعه

| Distillation Range @ 760 mmHg | ASTM D86 | ASTM D 1160 |
|---|---|---|
| IBP | 46.2 | 291.7 |
| 5 %vol recovery | 86.3 | 332.4 |
| 10 %vol recovery | 103.4 | 370.8 |
| 20 %vol recovery | 130.1 | 419.4 |
| 30 %vol recovery | 152.1 | 469.4 |
| 40 %vol recovery | 173.1 | 508.2 |
| 50 %vol recovery | 193.0 | 540.4 |
| 60 %vol recovery | 215.2 | --- |
| 70 %vol recovery | 233.4 | --- |
| 80 %vol recovery | 254.8 | --- |
| 90 %vol recovery | 289.7 | --- |
| 95 %vol recovery | 319.7 | --- |
| FBP | 334.5 | 567.2 |
| Recovery | 98.3 | 57.6 |
| Loss | 0.7 | --- |
| Residue | 1.0 | --- |
| Working pressure(mmHg) | 760 | 1.00 |

فرض شده است که در طول مسیر هیچ اتلاف حرارتی[1] وجود ندارد. به صورت نمادین شکل خط لوله مورد استفاده، در شکل (۳) آورده شده است.

## تعریف نفت خام در HYSYS

برای شبیه‌سازی نمونه نفت خام از نرم‌افزار HYSYS استفاده شده است. نمونه نفت خام به دو صورت در HYSYS تعریف شده که عبارت‌اند از:

۱_ نفت خام با درجه API، ۱۵/۱۴ و ویسکوزیته ۱۰۰۰Cp (بدون استفاده از روش امولسیونی)

۲_ نفت خام با درجه API، ۱۵/۱۴ که ترکیبی از یک امولسیون کننده بیولوژیکی $ACO_4$ و شیمیایی TWEEN ۸۰ و ویسکوزیته ۲۰۵ Cp با ۳۰ درصد آب ( استفاده از روش امولسیونی)

پس از تعریف نمونه نفت خام در داخل نرم افزار با استفاده از قسمت Oil manager ، HYSYS نمونه نفت را به ۴۳برش سبکتر تقسیم می‌کند که با آب در مجموع به ۴۴جزء تقسیم می‌شود.

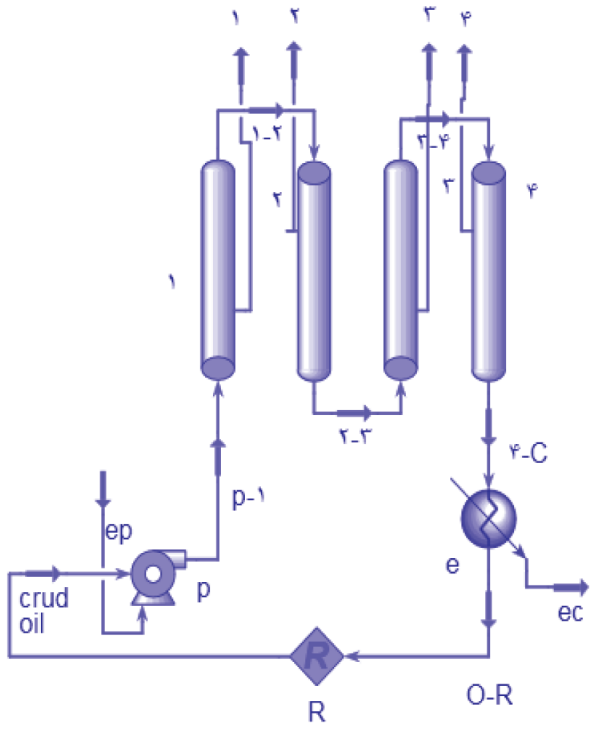
عبور نفت خام تعریف شده از داخل خط لوله

1. Heat Loss

در این قسمت پس از اینکه نمونه نفت خام برای دو حالت نفت خام بدون استفاده از روش امولسیون و نفت خام امولسیون شده در داخل نرم افزار HYSYS تعریف شدند، برای هر حالت، نفت را از داخل سیستم خط لوله عبور داده و مشخصات و اطلاعات و نتایج مربوط به هر حالت، را از نرم افزار استخراج کرده و جهت مقایسه مورد مطالعه قرار داده می‌شوند.

PFD سیستم خط لوله

PFD سیستم در شکل (۳) آورده شده است.




**شکل (۳) –PFD سیستم خط لوله بعد از راه اندازی مدل در نرم‌افزار**

جهت عبور نمونه نفت خام از داخل سیستم خط لوله از یک پمپ استفاده می‌شود تا بتواند افت فشار ایجاد شده توسط سیستم خط لوله را جبران کند و همچنین باعث به چرخش در آمدن نمونه نفت خام در مسیر خط لوله شود.

نتایج استخراج شده از HYSYS

اطلاعات و نتایج بدست آمده از HYSYS از جمله فشار، دما، دبی جرمی، درجه API و غیره، در ارتباط با هر قسمت از سیستم خط لوله هم برای حالتی که از روش امولسیونی استفاده نشده است و هم برای حالتی که از این روش استفاده شده است به طور کامل در جدول (۲) آورده شده است، تا بتوان آنها را مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

## نتیجه‌گیری

پس از بررسی داده‌های بدست آمده از سیستم خط لوله طراحی شده توسط نرم افزار HYSYS که در جدول (۲) آورده شده اند به نتایج زیر دست میابیم:

۱- یکی از نتایج مهم استفاده از روش امولسیونی، با توجه به جدول(۲) کاهش شدید افت فشار ایجاد شده توسط خط لوله می‌باشد، که در اثر انتقال نفت سنگین از خط لوله ایجاد می‌شود، بدون استفاده از روش امولسیونی افت فشاری معادل با ۶۳۱۱kpa ایجاد می‌شود و در اثر انتقال نفت سنگین از خط لوله با استفاده از روش امولسیونی افت فشاری معادل با ۲۶۸/۷ kpa را ایجاد می‌کند .که اختلاف بین این دو عدد برابر است با:

۶۳۱۱ -۲۶۸/۷ = ۶۰۴۲/۳ kpa

این اختلاف بیان‌کننده این است که، استفاده از روش امولسیونی درانتقال نفت سنگین از خط لوله به جای عبور آن در حالت طبیعی، باعث کاهش افت فشار به میزان۶۰۴۲/۳ kpa شده است و این کاهش افت فشار باعث انتقال راحت نفت خام سنگین از سیستم خط لوله می‌شود .

۲- یکی دیگر از نتایج مهم استفاده از روش امولسیونی ، کاهش بسیار زیاد توان مورد نیاز، برای جبران افت فشار ایجاد شده، در اثر عبور نفت سنگین از خطوط لوله، توسط پمپ می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده در جدول (۲)، توان مورد نیاز پمپ جهت جبران افت فشار ایجاد شده در اثر عبور نفت خام سنگین بدون استفاده از روش امولسیونی معادل با ۱۶۹/۷می باشد و همچنین توان مورد نیاز پمپ جهت جبران افت فشار ایجاد شده در اثر عبور نفت خام سنگین با استفاده از روش امولسیونی معادل۷/۲۱ kw می‌باشد. در اینجاست که متوجه اختلاف بالای توان مورد نیاز می‌شویم

**جدول(۲)- نتایج استخراج شده از HYSYS**

| | نفت خام غیر امولسیونی | نفت خام امولسیونی |
|---|---|---|
| شرایط ورودی نمونه نفت خام به پمپ | crud oil<br>Temperature ۲۵,۰۰ C<br>Pressure ۱۰۱,۳ kPa<br>Molar Flow ۲۰۹,۳ kgmole/h<br>Mass Flow ۶,۹۷۳e+۰۰۴ kg/h<br>Std Ideal Liq Vol Flow ۷۲,۰۰ m۳/h<br>Molecular Weight ۳۳۳,۲<br>Mass Density ۱۵,۲۸ API | omolesiun crud oil<br>Temperature ۲۵,۰۰ C<br>Pressure ۱۰۱,۳ kPa<br>Molar Flow ۲۹۵,۴ kgmole/h<br>Mass Flow ۶,۹۷۸e+۰۰۴ kg/h<br>Std Ideal Liq Vol Flow ۷۲,۰۰ m۳/h<br>Molecular Weight ۲۳۶,۲<br>Mass Density ۱۵,۱۲ API |
| خواص پمپ طراحی شده | p<br>POWER ۶,۰۹۹e+۰۰۵ kJ/h<br>Actual Vol. Flow ۷۲,۴۸ m۳/h<br>Feed Pressure ۱۰۱,۳ kPa<br>Product Pressure ۶۴۱۲ kPa<br>Product Temperature ۲۵,۳۷ C<br>Delta P ۶۳۱۱ kPa<br>Mass Flow ۶,۹۷۳e+۰۰۴ kg/h<br>Std Ideal Liq Vol Flow ۷۲,۰۰ m۳/h<br>Delta T ۰,۳۷۰۰ C<br>Power ۱۶۹,۴ kW | p<br>POWER ۲,۵۹۶e+۰۰۴ kJ/h<br>Actual Vol. Flow ۷۲,۴۵ m۳/h<br>Feed Pressure ۱۰۱,۳ kPa<br>Product Pressure ۳۷۰,۰ kPa<br>Product Temperature ۲۵,۰۲ C<br>Delta T ۱,۶۶۰e-۰۰۲ C<br>Mass Flow ۶,۹۷۸e+۰۰۴ kg/h<br>Delta P ۲۶۸,۷ kPa<br>Power ۷,۲۱۰ kW |
| شرایط جریان نفت خام خروجی از پمپ | p-۱<br>Temperature ۲۵,۳۷ C<br>Pressure ۶۴۱۲ kPa<br>Molar Flow ۲۰۹,۳ kgmole/h<br>Mass Flow ۶,۹۷۳e+۰۰۴ kg/h<br>Std Ideal Liq Vol Flow ۷۲,۰۰ m۳/h<br>Molecular Weight ۳۳۳,۲<br>Mass Density ۱۳,۴۵ API | p-۱<br>Temperature ۲۵,۰۲ C<br>Pressure ۳۷۰,۰ kPa<br>Molar Flow ۲۹۵,۴ kgmole/h<br>Mass Flow ۶,۹۷۸e+۰۰۴ kg/h<br>Std Ideal Liq Vol Flow ۷۲,۰۰ m۳/h<br>Molecular Weight ۲۳۶,۲<br>Mass Density ۱۵,۰۴ API |
| شرایط جریان خروجی از سیستم خط لوله | ۴-C<br>Temperature ۲۸,۷۵ C<br>Pressure ۱۸۵۸ kPa<br>Molar Flow ۲۰۹,۳ kgmole/h<br>Mass Flow ۶,۹۷۳e+۰۰۴ kg/h<br>Std Ideal Liq Vol Flow ۷۲,۰۰ m۳/h<br>Molecular Weight ۳۳۳,۲<br>Mass Density ۱۵,۱۱ API | ۴-C<br>Temperature ۲۵,۲۶ C<br>Pressure ۲۹,۲۴ kPa<br>Molar Flow ۲۹۵,۴ kgmole/h<br>Mass Flow ۶,۹۷۸e+۰۰۴ kg/h<br>Std Liq Vol Flow Spec ۶۹,۸۸ m۳/h<br>Molecular Weight ۲۳۶,۲<br>Mass Density ۱۵,۱۷ API |

که این اختلاف برابر است با:

۱۶۹/۷ – ۷/۲۱ = ۱۶۲/۴۹ Kw

از این اختلاف شدید توان مورد نیاز پمپ ،که در استفاده از روش امولسیونی نسبت به حالت غیر امولسیونی بدست می‌آید به این نتیجه می‌رسیم که در استفاده از روش امولسیونی به میزان قابل توجهی باعث کاهش هزینه‌های مورد نیاز از جمله خرید پمپ ، میزان برق مصرفی، کارگر عملیاتی و غیره خواهیم شد.

**تشکر و قدردانی**

کمال تشکر و قدردانی از جناب آقای دکتر افشین فرح بخش را به خاطر تمام یاری‌هایی که در طول نگارش این مقاله به بنده رسانده اند را دارم و امید آنکه درسایه الطاف خداوند منان همواره سلامت و موفق باشند.

**منابع**

۱. مهدی کامران، نظام الدین اشرفی زاده، انتقال نفت خام فوق سنگین توسط سیستم امولسیونی، ماه نامه تخصصی فرآیند نو، سال دوم، شماره ۹، مرداد- شهریور ۱۳۸۶.

۲. ناصر تیموری خانه سری، بررسی فناورانه انتقال نفت خام سنگین توسط خط لوله و چالش‌های پیش رو، مجله مهندسی شیمی ایران، شماره چهل و یکم ، صفحه ۸۰ ، سال۱۳۸۸ .

۳. غلامرضا باغمیشه، مرجع کامل شبیه سازی فرآیندهای پایا با HYSYS .

4. Sifferman T., Flow Properties of Difficult to Handle Waxy Crude Oils, Journal of Petroleum Technology, 1979, pp. 1042-1050.
5. Lin C.Y., Chen W., Emulsification Characteristics of Three and Two-Phase Emulsions Prepared by the Ultrasonic Emulsification Method, Journal of Fuel Processing Technology, Vol 87, 2006,pp. 309 – 317.
6. A.saniere,I.Henaut and J.F.Argillier., Pipeline Transportation of Heavy Oil, a Strategic, Economic and Technological Challenge.