بررسی فناورانه انتقال نفت خام سنگین توسط خط لوله و چالش‌های پیش رو

ناصر تیموری خانه سری

اهواز، دانشگاه صنعت نفت، دانشکده مهندسی نفت

پیام‌نگار: **Teimouri@Caahwaz.put.ac.ir**

چکیده

نزول کیفیت تدریجی نفت در مخازن در اثر تولید و یا بعبارتی کاهش و محدودیت نفت متعارف، لزوم تأمین تقاضای فزاینده برای نفت خام نیمه سنگین و سنگین بعنوان منبع برتر انرژی بویژه در دهه‌های آینده، چه در سطح ملی (کشور پهناور اسلامی ایران) و چه در سطح بین‌المللی، علاوه بر آنکه لزوم استفاده از روش‌های مؤثر تولید نفت از مخازن را ایجاب میکند بکارگیری و توسعه روش‌های کارآمدتر انتقال نفت خام سنگین توسط خطوط لوله را نیز می‌طلبد. در این مقاله روش‌های انتقال خط لوله‌ای نفت خام سنگین هم از لحاظ قابلیت‌های فنی و هم از لحاظ جذابیت‌های اقتصادی بعنوان یک روند استراتژیک بررسی میشود و لزوم و چگونگی توسعه روش مطلوب بویژه در آینده مورد بحث قرار میگیرد. مقاله حاضر ضمن تأکید بر اهمیت و ضرورت انتقال خط لوله‌ای نفت سنگین نخست به توصیف فنی روش‌های انتقال از هر دو جنبهٔ نظری و عملیاتی می‌پردازد و سپس توجه و بحث و راهکارها را بر روی توانمندی‌های فنی- اقتصادی روش‌ها و چالش‌های پیش رو در جهت توسعه هر چه بیشتر آنها بمنظور تأمین نیازهای مبرم آتی در هر دو سطح ملی و بین‌المللی متمرکز می‌کند.

کلمات کلیدی: نفت خام سنگین، ویسکوزیته، گراویته ویژه، اسفالتین، رقیق‌سازی، بهسازی، امولسیون، جریان حلقه‌وار مغزه

۱ـ مقدمه

روند رو به رشد تقاضا برای انرژی در سرتاسر دنیا بویژه کشورهای صنعتی و در حال توسعه لزوم و نقش تولید و انتقال نفت خام سنگین را برای پاسخ و تأمین نیازهای انرژی، دو چندان و بسیار برجسته کرده است. طبق پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی[1] تقاضای دنیا برای انرژی اولیه تا سال ۲۰۱۰ بمیزان ۲۰٪ و تا سال ۲۰۳۰ بمیزان ۶۰٪ افزایش خواهد یافت و بعبارتی نرخ رشد متوسط تقاضای انرژی ۱/۷٪ در هر سال خواهد بود. سهم و نقش منابع هیدروکربنی در تأمین و پوشش دادن به این تقاضای فزاینده انرژی بسیار بزرگ و مقدم بر سایر منابع انرژی میباشد و نقش نفت خام سنگین بسیار برجسته و تعیین‌کننده خواهد بود[۲و۱].

1. International Energy Agency; IEA

نفت خام سنگین که اغلب حاصل اکسیداسیون باکتریایی نفت متعارف درون سنگ مخزن است خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت دارد. یعنی اینکه نفت خام سنگین بعلت اینکه ویسکوزیته بالائی دارد و حاوی فلزات سنگین و مقادیر زیادی گوگرد و نیتروژن میباشد دارای کیفیت نازلی است. اصولاً نفت خام با گراویته ۱۰ الی ۲۰ درجه $^{\circ}$API را نفت سنگین و باگراویته کوچکتر از $^{\circ}$ API ۱۰ را نفت بسیار سنگین تعریف و اطلاق میکنند.

بطور کلی بهره‌برداری از نفت سنگین، از تولید گرفته تا انتقال و پالایش، بعلت خواص ویژه‌ای که دارد فناوری پیشرفته خاصی را میطلبد. بعلاوه بعلت سنگین، شدن تدریجی نفت در مخازن و مقادیر عظیم ذخایر نفت سنگین تولید، انتقال و فرآوری آن نیازمند سرمایه‌گذاری خاص و بزرگتر از سرمایه‌گذاری لازم برای بهره‌برداری از نفت متعارف است[۴و۳]. در حال حاضر پروژه‌های متعدد تولید و علی الخصوص انتقال نفت سنگین از طریق خط لوله در کشورهای تولیدکنندهٔ نفت در سرتاسر دنیا در حال انجام و عمل میباشند که با مسائل و مشکلات عدیده‌ای به لحاظ‌های فنی و اقتصادی روبرو هستند[۷و۶و۵]. در این مقاله روش‌های موجود و پیشنهادی برای انتقال نفت خام سنگین بوسیله خطوط لوله از جنبه‌های فنی و اقتصادی بررسی و تحلیل میشوند. بحث و نقد در مقاله حاضر عمدتاً حوالی عملکرد هر یک از روش‌های قابل دسترس انتقال خط لوله‌ای نفت سنگین (از جمله گرمایش، رقیق سازی، امولسیون نفت در آب و اصلاح ترکیب نفت بمنظور کاهش ویسکوزیته)، کارآئی و مزیت‌های نسبی این روش‌ها نسبت به یکدیگر و بعلاوه مسائل و چالش‌های پیش رو متمرکز میشود.

هدف این مقاله بررسی فناوری کنونی انتقال نفت سنگین بطریقه استراتژیک در خط لوله و چالش‌های فنی- اقتصادی در این زمینه، جهت ارائه راهکارهای بهینه در مورد انتقال مؤثر نفت خام سنگین در اوضاع کنونی و بویژه آینده در صنعت نفت کشور پهناور اسلامی ایران میباشد.

۲ـ طرح مسأله و ضرورت آن

انتقال نفت سنگین بوسیله خط لوله بدون کاهش قبلی در ویسکوزیته آن امکان پذیر نمیباشد [۸]. بالا بودن ویسکوزیته نفت خام، که بخشی از آن حاصل لختگی یا رسوب مواد اسفالتین با جرم مولکولی بسیار بزرگ است، مشکلات شدیدی را پیش می‌آورد که گرفتگی حفره چاه در عملیات تولید و ته نشینی و نهایتاً انسداد در خطوط لوله طی عملیات انتقال از اهم آنها میباشند. بررسی گزارشات متعدد نشان میدهد که تولید نفت سنگین بویژه 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 بالاتر از آن، نیاز مبرم به نفت سنگین بمنزله منبع انرژی هیدروکربنی، جهت تأمین ایمن تقاضای فزاینده برای انرژی در دهه‌های آینده نه تنها لزوم توسعه و دستیابی به روش‌های مؤثر با جذابیت‌های اقتصادی را برای حمل و نقل خط لوله نفت سنگین ایجاب میکند بلکه بعنوان یک ضرورت استراتژیک برای یک کشور نفتخیز چه در گستره درون مرزی و چه در صنحنه بین‌المللی مطرح و اعمال مینماید[۹]. زیرا ذخایر نفت سنگین قابل استحصال از لحاظ فنی بسیار عظیم است و نزدیک به ۱۰۰۰ Gbbl یعنی تقریباً معادل ذخایر ثابت شده نفت متعارف برآورد میشود. شکل (۱) توزیع این ذخایر را نشان میدهد بعلاوه همین حجم ذخایر در کشورهای تولیدکننده نفت در خاورمیانه، روسیه، آمریکای جنوبی، ایالات متحده آمریکا و حتی بمیزان اندکی در منطقه خاور دور توزیع یافته اند. هر چند که میزان قابل توجهی از ذخایر نفت سنگین در خارج از منطقه خاورمیانه واقع هستند و بهره‌برداری از آنها می‌تواند در کنترل و کاهش قیمت نفت متعارف توسط کشورهای تولیدکننده پیشرو منطقه مؤثر باشد ولی وضعیت خاص جغرافیائی منطقه خاورمیانه از جمله کشور پهناور اسلامی ایران و اهمیت وافر و بسی روزافزون این منطقه به لحاظ ذخایر غنی نفت و تولید آن و بویژه نفت سنگین در دهه‌های آتی نه تنها اهمیت برجسته کشورهای تولیدکننده نفت این منطقه استراتژیک جهان در عرضه نفت یعنی تأمین امنیت انرژی برای کشورهای اروپایی – ممالک عضو سازمان توسعه همکاری اقتصادی[1]، بیش از بیش فزونی می‌یابد بلکه نقش حیاتی را در این مورد ایفا خواهند نمود.

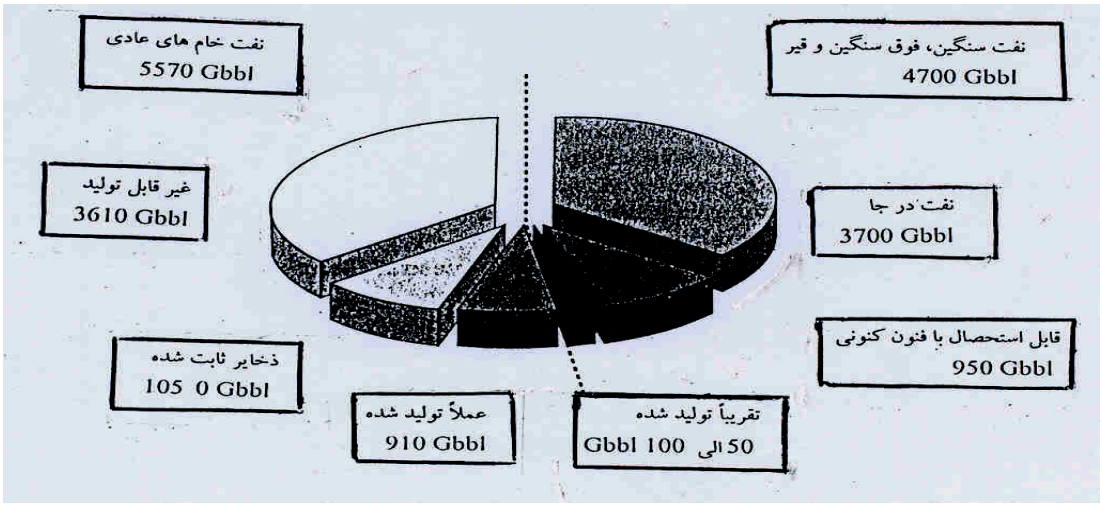
لاجرم نزول کیفیت تدریجی نفت در مخازن هیدروکربنی واقع در گستره عظیم کشور پهناور اسلامی ایران چه در مناطق خشکی و چه در حوزه دریایی روند افزایشی دارد. امکان تشکیل رسوب اسفالتین از برخی نفت‌های سبک و حتی بعضی نفت‌های سنگین وجود دارد و گزارش شده است. فشار می‌تواند تأثیر مهمی بر رسوب اسفالتین در

1. Organization of Economic Cooperation Development (OECD)

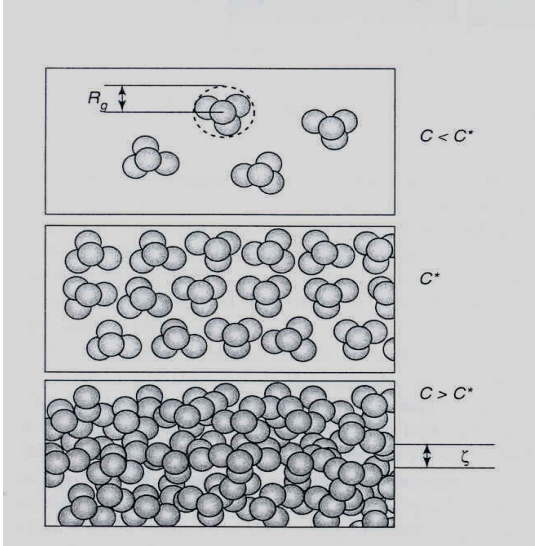
ذخایر نفت داشته باشد بطوریکه کاهش فشار اغلب سبب تشکیل رسوب اسفالتین می‌گردد. البته لازم به یاد آوری است که کاهش فشار همیشه منجر به تشکیل و افزایش مقدار رسوب نمی‌شود. در فشارهای کمتر از فشار نقطه حباب روند معکوس اتفاق می‌افتد. هر چند که رسوب اسفالتین در ذخایر نفت یک مسأله شناخته شدهٔ قدیمی است ولی اهمیت تأثیر آن بر نزول کیفیت نفت و یا بعبارتی سنگین شدن آن و فعالیت‌های علمی و مهندسی در توصیف و مقابله با حداقل کنترل رسوب اسفالتین تنها در سال‌های اخیر نمایان و افزون شده است و قطعاً در طی سال‌های آینده شدت خواهد یافت. انتقال نفت با کیفیت نازل یعنی سنگین به پالایشگاه‌ها و مراکز مصرف و فروش بین‌المللی چالش‌های علمی – مهندسی ویژه‌ای را میطلبد که نه تنها گریز از آنها قابل تصور نمیباشد بلکه تداوم آنها و دستیابی به راهکارهای بهینه فنی – اقتصادی در انتقال نفت سنگین یک ضرورت استراتژیک است.

۳ـ منشاء ازدیاد ویسکوزیته نفت سنگین

وجود مواد اسفالتین با مقادیر بیشتر در نفت‌های سنگین از جمله مشخصات و ویژگی بارز آنها میباشد. تعریف کلاسیک اسفالتین‌ها برخواص محلول حاصل از انحلال ته مانده نفت در حلال‌های مختلف مبتنی است. بطور کلی اسفالتین‌ها در پارافین‌ها (نظیر پنتان نرمال) نامحلول و در آروماتیک‌ها (نظیر تولوئن) محلول هستند. هر چند بیشتر خواص اسفالتین‌ها هنوز هم کاملاً بررسی نشده و ناشناخته مانده اند ولی آنها موادی هستند غیر فرار با وزن مولکولی بسیار زیاد و در واقع سنگین ترین و بیشترین بخش آروماتیکی و قطبی نفت خام را تشکیل میدهند[۱۰]. از آنجا که اسفالتین‌ها در هپتان حل نمیشوند لذا بصورت جامد در نفت خام باقی میمانند. این اجزاء خاص را میتوان بصورت مولکول هائی توصیف کرد که از حلقه‌های آروماتیک پلی کندانسه حاوی زنجیرهای آلیفاتیک دارای گروه‌های اسید- باز و قطبی در کناره‌ها ترکیب می‌یابند. مطالعاتی که با استفاده از حلال‌های آلی ساده انجام شده است نشان میدهد که اسفالتین‌ها میتوانند بواسطه کنش‌های فیزیکی متقابل خود بخود بهم پیوسته و جمع شوند و لذا بدینسان ویسکوزیته نفتی را که در آن وجود دارند بالا ببرند[۱۳و۱۲و۱۱]. مطالعات تجربی رئولوژیکی و ساختاری درباره اسفالتین اضافه شده به نفت عاری از اسفالتین توسط عده‌ای از پژوهشگرن انجام یافته است[۱۴]. از نتایج حاصل از این مطالعات تجربی میتوان به این نتیجه مهم رسید که اسفالتین‌ها در بالاتر از غلظت بحرانی، ویسکوزیته را به شدت افزایش میدهند. طرح اجمالی تجمع اسفالتین‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱ـ توزیع منابع نفت شناسائی شده در سال ۲۰۰۳ [۱۷]



شکل ۲ـ طرح اجمالی تجمع و بهم پیوستگی اسفالتین‌ها [۱۷]

هر گاه غلظت اسفالتین C از غلظت بحرانی آن*C کمتر شود (رقیق) ذرات اسفالتین در نفت بصورت ذرات کلوئیدی پخش شده رفتار میکنند. در وضعیت *C>C (نیمه رقیق) ذرات اسفالتین در همدیگر تداخل میکنند که بیانگر بالا بودن ویسکوزیته میباشد. بنابراین در غلظت بحرانی، ذرات اسفالتین در نفت سنگین بصورت ساختار منظم قرار دارند که خود تابعی از غلظت است. به اختصار میتوان نفت‌های خام سنگین را همانند سوسپانسیون کلوئیدی توصیف نمود که از حل شونده (مواد اسفالتین) و فاز مایع موسوم به مالتین[1] (نفت عاری شده از اسفالتین) تشکیل می‌گردد.

در جدول (۱) اجزای عمدهٔ یک نمونه نفت خام سنگین (تجزیه سارا)[2] نشان داده شده است[۹].

جدول ۱ـ خواص یک نمونه نفت سنگین (b.p.> ۳۴۴ °C و ۸/۵ =°API)- [۱۷]

سارا	درصدوزنی (W %)	درصدوزنی (W%) اجزاء (سارا)				
		C	H	N	O	S
اسفالتین ها	۱۴/۱	۸۳/۸	۷/۵	۱/۳	۱/۷	۴/۸
رزین ها	۳۷/۳	۸۲/۸	۸/۹	۱/۵	۲	۴/۳
آروماتیک ها	۳۷/۲	۸۴/۳	۱۰	<۰/۳	۱/۱	۴
اشباع شده ها	۱۱/۴	۸۶/۶	۱۳	<۰/۳	<۰/۲	<۰/۱

1. Maltenes
2. Saturates, Aromatics, Resins and Asphaltenes-SARA

۴ـ روش‌های انتقال نفت سنگین

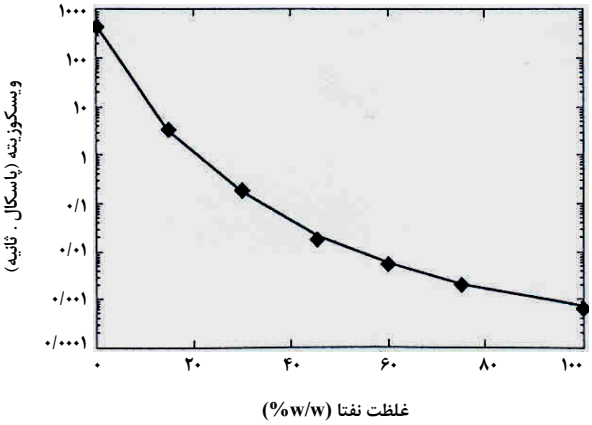
انتقال نفت‌های سنگین بوسیله خطوط لوله عادی بعلت بالا بودن ویسکوزیته آنها میسر نیست بلکه مستلزم اجرای عملیات خاص بر روی نفت پیش از فرستادن آن به خط لوله و یا مربوط به خط لوله است. بدین معنی که این عملیات به دو منظور یا در دو جهت (۱) کاستن ویسکوزیته نفت و (۲) کاستن اصطکاک در لوله انجام میگیرند. اصولاً پنج روش شناخته شده برای انتقال خط لوله‌ای نفت خام سنگین وجود دارند که عبارتند از گرمایش، رقت، امولسیون، بهسازی ترکیب و جریان مغزه حلقه‌ای. ذیلاً اصول و ویژگیهای هر یک از این روش‌ها را به اختصار شرح می‌دهیم و توانمندی هر یک از آنها در کاستن ویسکوزیته نفت‌های سنگین را بررسی و بحث میکنیم.

۴-۱ گرمایش نفت خام

تجربیات مسلم نشان می‌دهد که ویسکوزیته سیالات با افزایش دما سریعاً کاهش می‌یابد. از این رو عمل گرمایش نفت خام روش جالب توجهی برای بهینه کردن خواص جریان نفت و هدایت آن در خط لوله میباشد و همواره بعنوان یک انتخاب مؤثر مد نظر است [۱۳و۹و۵و۴]. مثال بارزی که میتوان ذکر نمود خط لوله موجود در آلاسکا است که نفت خام را حدوداً در دمای $50^{\circ}C$ انتقال میدهد. ولی طراحی خط لوله تحت دمای بالاتر و چگونگی گرم کردن سیال کار چندان آسانی نیست بلکه مستلزم بررسی‌های دقیق و ملاحظات زیادی است که میتوان از جمله به انبساط خط لوله، تعداد ایستگاه‌های پمپاژ/ گرمایش، اتلافات گرمائی و غیره اشاره نمود[۹]: هزینه‌های بالا و خوردگی شدید و سریع داخل لوله بعلت دمای نسبتاً بالاتر نیز از جمله مسائل عمده این روش می‌باشند. بعلاوه مطالعات اخیر نشان داده است که گرمایش نفت می‌تواند تغییراتی را در ساختار کلوئیدی آن ایجاد کند که خود باعث بدتر شدن خواص رئولوژیکی می‌شود [۱۵].

۴-۲ رقیق سازی نفت

در این روش نفت خام را با هیدروکربورهای دارای ویسکوزیته پایین تر مخلوط می‌کنند. هیدروکربورهای کندانسه، نفتا[1]، نفت سفید[2] و نفت خام سبک از جمله مواد رقیق‌کننده یا حلال‌های مؤثر هستند که کاربرد بیشتری دارند[۴و۳و۲]. هر چند که کاربرد هیدروکربورهای کندانسه[3] از چند دهه پیش معمول گشته است ولی استفاده از آنها برای رقیق سازی نفت خام سنگین معایبی را بهمراه دارد که از جمله می‌توان به نامناسب بودن کندانسه‌ها بعنوان حلال برای اسفالتین‌ها و در نتیجه مسبب پدید آمدن لختگی اشاره نمود [۱۶و۲]. تحقیقاتی که توسط پژوهشگران انستیتو نفت فرانسه گزارش شده و بخشی از آنها در شکل (۳) نشان داده شده است، بخوبی بیان میکند که نفت (هیدروکربورهای سبک) رقیق‌کننده بسیار مناسبی برای کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین است [۱۷]. به‌علاوه نفت، سازگاری خوبی را با اسفالتین نشان می‌دهد و به سهولت قابل استفاده مجدد است.



شکل ۳ـ رقیق سازی نفت خام سنگین (API° =۸/۵) با نفتا [۱۷]

از شکل (۳) بخوبی هویدا است که با افزایش غلظت نفتا یعنی نرخ رقیق سازی، کاهش تدریجی ویسکوزیته ظاهر میگردد. ترکیب نفت خام سنگین استفاده شده در جدول (۱) درج گردیده است.

لدریر[4] [۱۹] رابطه تجربی زیر را برای ویسکوزیته نفت خام سنگین رقیق شده با هیدراکربورهای سبک ارائه داده است:

$$\log \mu = \left(\frac{\alpha V_0}{\alpha V_0 + V_s}\right)\log \mu_0 + \left(1 - \frac{\alpha V_0}{\alpha V_0 + V_s}\right)\log V_s \qquad (1)$$

1. Naphtha
2. Kerosene
3. Condensate
4. Lederer

جدول ۲ـ ترکیب شیمیائی نفتا

اجزاء شیمیائی	درصد وزنی	درصد مولی	درصد حجمی
پارافین نرمال[1]	۲۴/۹	۲۴/۸	۲۶/۵
ایزوپارافین[2]	۲۹/۴	۲۸/۱	۳۰/۹
پارافین حلقوی[3]	۳۰/۹	۳۱/۳	۲۹/۹
آروماتیک[4]	۱۴/۸	۱۵/۸	۱۲/۸

در این رابطه V_0, μ_s, V_s, μ_s به ترتیب جزء حجمی[5] و ویسکوزیته نفت و حلال را نمایش می‌دهند. ضریب α یک ثابت تجربی است که بین صفر و یک (۰ الی ۱) تغییر می‌کند. با استفاده از مقادیر تجربی نشان داده شده در شکل (۳) و بکارگیری روش حداقل مربعات[6] برای حصول به بهترین خط مقدار α =۰/۴۱۸۰ بدست می‌آید.

شو[7] [۱۸] عبارت زیر را برای ثابت α ارائه داده است که می‌تواند برای ارزیابی ویسکوزیته نفت‌ها یسنگین رقیق شده با هیدروکربورهای سبک مورد استفاده قرار گیرد:

$$\alpha = \left(\frac{17.04\left(\rho_0 - \rho_s\right)^{0.5237} \rho_0^{3.2745} \rho_s^{1.6316}}{ln\left(\mu_0 / \mu_s\right)} \right) \qquad (۲)$$

در رابطه اخیر ρ_0, ρ_s به ترتیب چگالی نفت و حلال را نشان می‌دهند. با قرار دادن مقادیر چگالی و ویسکوزیته برای نمونه نفت سنگین مندرج در جدول (۱) در معادله (۲) مقدار α برابر ۰/۴۰۶۸ بدست می‌آید که با مقدار حاصل از مقادیر تجربی ویسکوزیته سازگاری خوبی دارد. این خود نشان می‌دهد که استفاده از هیدروکربورهای سبک بعنوان رقیق‌کننده نفت‌های سنگین تقریباً نتیجه یکسانی بدست می‌دهد یعنی اینکه حدوداً به صورت بسیار مشابه و یکسان ویسکوزیته را کم می‌کند. این نتیجه از شکل (۴) نیز بروشنی مشهود است [۲۰] که به نوبه خود نشان می‌دهد منحنی (ویسکوزیته- ترکیب) عموماً یکنواخت یعنی یک تابع لگاریتمی می‌باشد و بندرت ممکن است از یک وضعیت مینیمم بگذرد. بطور کلی هر چه ویسکوزیته رقیق‌کننده پائین‌تر باشد. ویسکوزیته نفت خام رقیق شده نیز پائین‌تر خواهد بود.

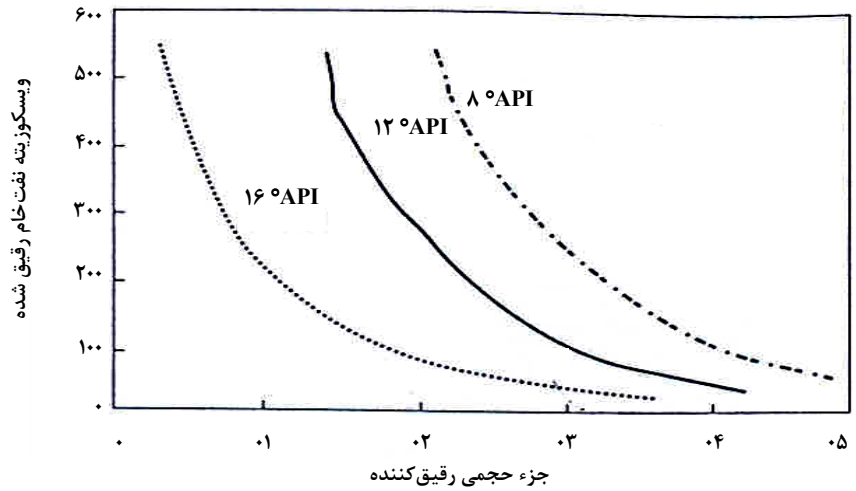
بطور کلی مزایا و معایب روش رقیق کردن نفت خام سنگین را می‌توان بصورت جدول (۳) خلاصه نمود.

۳-۴ امولسیون

روش امولسیون نفت در آب، که در آن نفت خام سنگین در آب بصورت قطرات متعادل شده توسط رو آور[8] (افزایش دهنده کشش سطحی) پخش می‌شود، بعلت مستعد بودن، توجه فزاینده‌ای کسب کرده و در حال توسعه بیشتر می‌باشد.

طبق مطالعات و بررسی‌های گزارش شده [۲۱] بطور عمومی در یک سیستم امولسیون، حدوداً ۷۰٪ نفت خام و نزدیک به ۳۰٪ فاز آبی و ۵۰۰ الی ۲۰۰۰ ppm افزوده‌های شیمیائی را میتوان انتظار داشت ویسکوزیته امولسیون حاصل در شرایط عملیاتی خط لوله از ۵۰ الی ۲۰۰ CP تغییر می‌کند. شکل (۵) نرخ کاهش ویشکوزیته نفت خام سنگین را بوسیله امولسیون نسبت به دمای عملیاتی نشان می‌دهد (۵). این روش در برخی از کشورها نظیر ونزوئلا [۲۲] 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 بردارد زیرا باعث آلودگی منابع آبی و تخریب خطوط لوله انتقال می‌شود. بعلاوه از آنجا که این روش نیاز به سرمایه‌گذاری بالائی دارد لذا بایستی از لحاظ اقتصادی تحت بررسی دقیق و توسعه قرار گیرد.

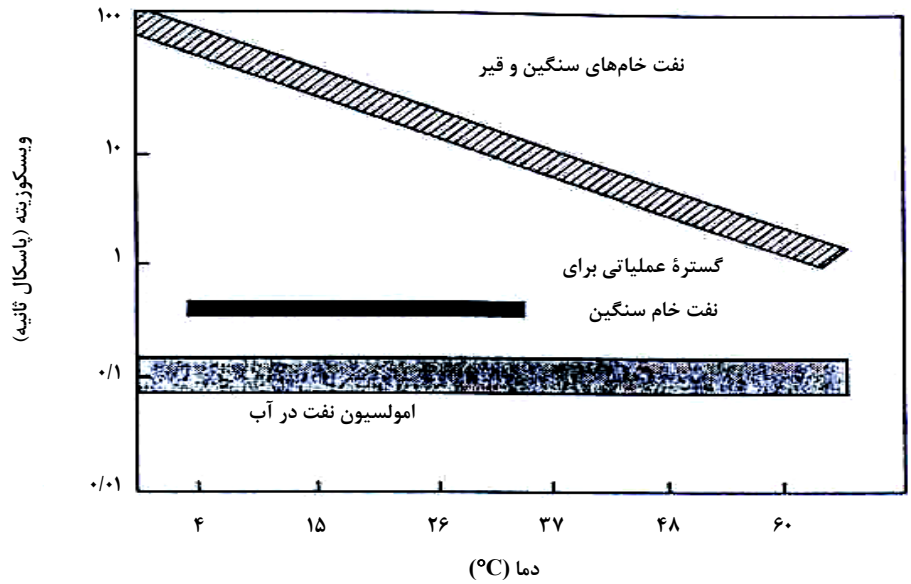
1. n- Paraffin
2. Iso- Paraffin
3. Cyclic Paraffin
4. Aromatic
5. Volume Fraction
6. Least Squares
7. Shu
8. Surfactant



شکل ۴ـ اثر رقیق کردن (هیدروکربورهای سبک- کندانسه) بر روی ویسکوزیته نفت خام سنگین با گراویته‌های (API) مختلف [۲۰]

جدول ۳ـ مزایا و معایب روش رقیق کردن نفت سنگین

مزایا	معایب
۱- کاهش قابل توجه در ویسکوزیته	۱- نیاز به تهیه مقادیر زیاد حلال‌های هیدروکربنی
۲- امکان بازگردانی و استفاده مجدد رقیق کننده	۲- نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتر
۳- بهینه شدن بازدهی رقیق شدن بوسیله مخلوط حلال‌ها	۳- افزایش قطر لوله‌های انتقال
۴- نداشتن مسائل و پی آمدهای زیست‌محیطی	
۵- نداشتن مسائل خوردگی	



شکل ۵ـ کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین بواسطه امولسیون نفت در آب با افزایش دما [۵]

۴-۴ بهسازی

این روش که عبارت است از بهینه کردن ترکیب نفت خام سنگین بواسطه تبدیل آن به نفت سبکتر (نفت خام مصنوعی) به لحاظ نداشتن پی آمدهای زیست محیطی و نبود مسائل خوردگی، تکنیک جالب توجهی است. ولی با وجود این، روش بهسازی نفت خام سنگین برای کاستن ویسکوزیته آن نیاز به بررسی و توسعه فراگیر دارد زیرا فرایندهای متعدد و متفاوت از جمله حرارتی و کاتالیتیکی می‌توانند بکار گرفته شوند. فن آوریهای بهسازی نظیر فرآیندهای کرآکینگ حرارتی و کاتالیتیکی و هیدروگرمائی که بطور سنتی در پالایشگاه‌ها انجام می‌شوند می‌توانند برای بهسازی نفت خام سنگین نیز مورد استفاده قرار گیرند و توسعه داده شوند. ترکیب فرآیندهای هیدروگرمائی و اسفالت زدائی بیشتر مورد توجه هستند [۳۴]. فرایندهای فرآوری به نوبه خود پرهزینه می‌باشند و لذا کاربرد آنها برای بهسازی نفت‌های سنگین جهت انتقال توسط خط لوله بایستی تحت بررسی و ارزیابی دقیق اقتصادی قرار گرفته و توسعه یابند.

۴-۵ جریان حلقه وار مغزه

جریان حلقه وار مغزه[1] می‌تواند روش مؤثر و جالب توجهی برای انتقال نفت خام‌های دارای ویسکوزیته بالاتر باشد چون قطر خط لوله انتقال را افزایش نمیدهد و لذا سرمایه‌گذاری در حد عادی را میتوان انتظار داشت. در این روش انتقال، یک لایه بسیار نازک یعنی فیلم آب، مغزه نفت را احاطه نموده و همانند روغن روان ساز[2] عمل میکند بطوریکه فشار پمپاژ مورد نیاز برای جریان روغنکاری شده با فشار پمپاژ لازم برای جریان آب قابل مقایسه می‌باشد. معمولاً میزان یا جزء آب بین ۱۰٪ الی ۳۰٪ است. این روش برای انتقال خط لوله‌ای نفت سنگین در مقیاس صنعتی در برخی کشورهای تولیدکننده نفت از جمله ونزوئلا بکار گرفته شده است [۹]. هر چند که مطالعات تئوریک و نیز آزمون‌های میدانی در خصوص این الگوی جریان انجام گرفته است [۲۵و ۲۴و ۲۳] ولی هنوز این روش نیاز به بررسی و توسعه بیشتری دارد تا با سایر روش‌های شناخته شده انتقال نفت سنگین بتواند رقابت کند: مساله اصلی در این فناوری اینست که نفت در حال جریان گرایش به چسبیدن به جداره‌های لوله پیدا میکند و در نتیجه باعث محدودیت در جریان و یا نهایتاً انسداد سیستم جریان میشود. مطالعات نظری و تجربی گسترده‌ای راجع به جریان حلقه وار در لوله‌ها و کاربردهای مختلف آن از جمله انتقال نفت سنگین توسط خط لوله برای توسعه هرچه بیشتر این فناوری در حال انجام میباشد [۲۹و۲۸و۲۷و۲۶].

۵ـ مقایسه و برتری نسبی روش ها

هر چند که در روش گرمایش برای انتقال نفت خام سنگین با افزایش دما، ویسکوزیته نفت سریعاً پائین می‌آید و همچنین قطر لوله انتقال افزایش نیافته بلکه در حد عادی است ولی طراحی سیستم لوله‌گذاری بویژه ارزیابی تأثیر دما (انبساط مصالح لوله) و حفظ آن (پوشش عایق حرارتی) از جمله مشکلات فنی عمده و هزینه تأمین انرژی الکتریکی برای گرمایش نفت، که خود مسائل جانبی زیست محیطی بهمراه دارد، از جمله مشکلات سرمایه‌گذاری این روش میباشند. اقتصاد روش گرمایش نسبت به تعداد گرم کن‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ و همچنین اتلاف گرما و فرسودگی سریع لوله‌ها بعلت خوردگی شدید (حرارتی و شیمیائی) بسیار حساس است.

مزایای فنی – اقتصادی روش رقیق سازی نفت خام سنگین بمنظور کاهش ویسکوزیته آن به اختصار در جدول (۳) ذکر شده اند. از جمله مزایای دیگر روش اخیر اینست که مخلوط حلال‌ها بویژه ترکیبات آلی قطبی با هیدروکربورهای سبک نظیر نفتا تأثیر قابل توجهی در کاهش ویسکوزیته دارند. این تأثیر برای حلال‌های قطبی مختلف در نفتا (نمونه جدول(۲)) با نفت سنگین (نمونه جدول (۱)) در شکل (۶) نشان داده شده است[۱۷] استفاده از چنین حلال‌های مخلوط میتواند به انتقال نفت خام سنگین کمک کند چون مقدار نفت انتقال یافته را افزایش داده و نرخ جریان در خط لوله را حدوداً ثابت نگه میدارد. تفکیک رقیق‌کننده و احداث خط لوله جداگانه برای برگشت رقیق‌کننده و عملیات آنها مستلزم هزینه زیاد می‌باشد که میزان سرمایه‌گذاری را در بکارگیری روش رقیق سازی برای انتقال نفت سنگین بالا می‌برد.

استفاده از روش امولسیون برای انتقال خط لوله‌ای نفت خام سنگین از جنبه‌های عملیاتی و اقتصادی، مستلزم بررسی و توسعه بیشتری است. مشکلات مربوط به آلودگی منابع آب و بازگردانی آب و بازیابی نفت خام برای فرآوری بیشتر مطابق استانداردهای خط لوله انتقال از جمله

1. Core Annular Flow
2. Lubricant

مسائلی هستند که بایستی دقیقاً بررسی و راه حل‌های مناسب با جذابیت‌های اقتصادی برای آنها ارائه شوند.

هر چند که روش بهسازی ترکیب نفت خام مزایای قابل توجه و برجسته‌ای از جمله نبود مسائل خاص خوردگی و زیست محیطی دارد ولی احداث پالایشگاه در جوار میادین نفتی و اجرای عملیات فرآوری مورد نیاز میزان سرمایه‌گذاری لازم را هر چه بیشتر افزایش می‌دهد. بعلاوه عملکرد فرآیندها و فرآوری برای ارتقای کیفی نفت خام و حساسیت آنها به نوسانات قیمت نفت خود سؤالی است که به فن آوری پالایش و توسعه‌های بعدی در این زمینه بستگی دارد.

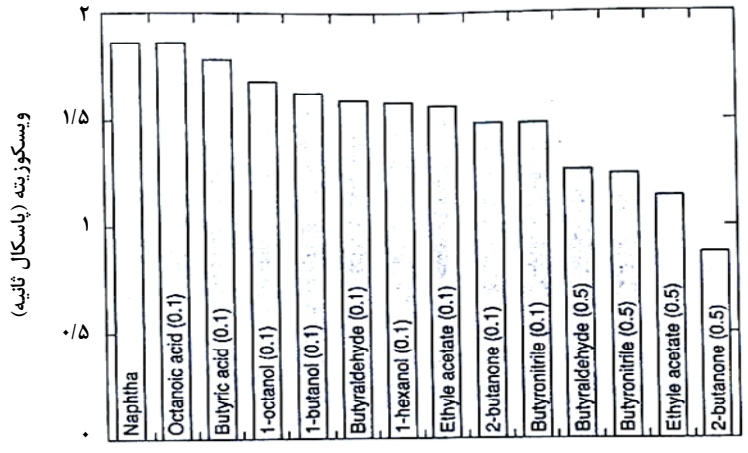
علیرغم اینکه روش جریان حلقه وار مغزه برای انتقال نفت خام سنگین در مقایسه با روش‌های فوق الذکر به لحاظ عادی بودن قطر خط لوله، مسائل خوردگی معمول و نه چندان شدید و میزان عادی سرمایه‌گذاری مزیت‌های برجسته‌ای دارد هنوز مدل بندی جریان و ارزیابی ضریب اصطکاک و افت فشار نیاز به بررسی و توسعه فراگیر دارند تا اینکه این روش در سطح تجاری گسترده در مد نظر باشد. پی آمدهای زیست محیطی این روش یعنی عملیات تصفیه و آماده سازی آب از جمله مسائلی است که کاربرد این روش را خصوصاً از لحاظ اقتصادی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۶ـ چالش‌های پیش رو

از آنجا که تولید و انتقال نفت خام سنگین نظر به محدودیت ذخایر، چه به لحاظ نزول کیفی- کمی تدریجی نفت و چه به لحاظ توزیع منطقه‌ای و پراکنده در دنیا، و تأمین تقاضای فزاینده انرژی کنونی – آتی بویژه از دیدگاه کشورهای تولیدکننده نفت یک استراتژی است لذا توسعه مؤثر تکنیک‌های انتقال خط لوله‌ای نفت خام سنگین در روند استراتژیک، چالش‌های مستمری را می‌طلبد. چالش‌های پیش رو را میتوان از دو دیدگاه مطرح نمود و یا بعبارتی به دو قسم مطالعات نظری و فعالیت‌های طراحی فرآیندی متضمن جذابیت‌های اقتصادی تقسیم بندی کرد.

بطور کلی چالش‌های فنی در کلیه زمینه‌های بهره‌برداری از نفت سنگین، از افزایش نرخ ازدیاد برداشت گرفته تا بهینه کردن، فنون بهسازی ترکیب نفت هنوز هم وجود دارند و بیش از پیش خودنمائی می‌کنند. بموازات آنها در بخش تحقیق و توسعه بایستی بویژه در مورد ارتقای بازدهی انرژی و کاهش مسائل زیست محیطی علی الخصوص تصفیه آب و کاهش تولید CO_2 تمرکز شود.

چنانکه پیشتر بحث کردیم راهکارهای موجود را میتوان به دو دسته کاهش ویسکوزیته (گرمایش، رقیق سازی، امولسیون و بهسازی) و پائین آوردن اصطکاک در لوله (جریان حلقه وار مغزه) تقسیم بندی نمود. بنظر می‌رسد توسعه این راهکارها و رفع موانع تکنیک‌های قابل عملیاتی، مستلزم اولویت‌های زیر در مطالعات تئوریک و بررسی‌های فنی می‌باشد:



شکل ۶ـ ویسکوزیته مطلق نفت خام در ۲۰ °C رقیق شده با مخلوط نفتا و حلال‌های قطبی [۱۷]

- پدیده تشکیل اسفالتین‌ها و ساختار و رفتار آنها، که خود مستلزم مطالعات و مدل بندی ترمودینامیکی پیشرفته (کلاسیک – آماری / مولکولی) است [۳۶و ۳۲و ۳۱].
- تئوری محلول‌ها و تولید داده‌های مورد نیاز از جمله پارامتر حلالیت هیلدبراند[1] و پارامتر هانسن[2] برای بررسی دقیق نقش حلال‌های قطبی در کاستن ویسکوزیته نفت [۳۳ و ۳۰].
- توسعه ترمودینامیکی / فیزیکو شیمیائی فرآیندهای پالایش بویژه کاربرد آنها در فرآوری و بهسازی ترکیب نفت خام سنگین [۳۵].
- مدل سازی جریان (بویژه جریان حلقه وار مغزه) مواد با ویسکوزیته بالاتر در لوله‌ها و کانال‌ها و انتقال دوغاب[3] از طریق خط لوله [۲۷].

هزینه روش‌های انتقال خط لوله‌ای و فرآوری نفت خام سنگین یعنی ارزیابی اقتصادی آنها بویژه از لحاظ نرخ بازگشت سرمایه‌گذاری کمافی السابق نقش کلیدی در این بخش از صنعت نفت چه در مقیاس ملی و چه در مقیاس جهانی دارد. ولی به لحاظ نیاز فزاینده به انرژی و تأمین تقاضای رو به رشد سریع آن بویژه در آینده و کاهش پی آمدهای زیست محیطی مربوطه جنبه اقتصادی قضیه همواره و بناچار باز است و باز خواهد بود. در چالش اقتصادی، آنچه اهمیت به سزائی دارد همانا پائین نگهداشتن و یا حداقل حفظ نمودن هزینه به ازای هر واحد محصول است زیرا شدیداً به نوسانات و یا تغییرات قیمت نفت در بازار جهانی حساس میباشد و بعلاوه تقاضای کشورهای تولیدکننده نفت برای کالا و خدمات در سیستم کلان اقتصادی ملی در حال رشد است و خواهد بود. در این میان، نقش کشورهای تولیدکننده نفت خاورمیانه‌ای بویژه ایران بسی برجسته و استراتژیک میباشد [۳۷].

۷ـ نتیجه‌گیری

ضرورت استراتژیکی انتقال خط لوله‌ای نفت خام سنگین در روند تأمین تقاضای فزاینده انرژی، توسعه فناورانه روش‌های انتقال بویژه در شرایط آتی را میطلبد. مسأله نیاز مبرم به کاهش ویسکوزیته نفت خام سنگین که بر حسب شرایط تشکیل مواد اسفالتینی تعریف و ارزیابی می‌شود توانمندی روش مورد نظر و چگونگی توسعه تئوریک – عملیاتی آن را تحت الشعاع قرار میدهد. در این مقاله نشان داده شد که راه حل‌های فنی و امکان توسعه و نوآوری آنها وجود دارد. در این باره بررسی و ارزیابی مبدأ و چگونگی ازدیاد ویسکوزیته نفت خام و همچنین نقش رزین‌ها در شرایط خط لوله انتقال بسیار ثمر بخش خواهد بود. موارد مطرح و بحث شده در مقاله حاضر از جمله نیازهای مهم و شایان توجه ممالک خاورمیانه‌ای تولید نفت، و در بین آنها، کشور پهناور اسلامی ایران در روند چالش‌های فناورانه، بویژه در شرایط موجود است.

1. Hildebrand
2. Hansen
3. Slurry

مراجع

[1] Meyer, R.F. "World Heavy Crude Oil Resources" Proceedings of 15th World Petroleum Congress; 459-471 (1998).

[2] Todd, C.M. "Downstream Planning and Innovation for Heavy oil Development. A Producer's Prospective. Journal of Canadian Petroleum Technology, 27; 1; 79- 86 (1988).

[3] Urquhart, R.D.;" Heavy Oil Transportation: Present and Future; Journal of Canadian Petroleum Technology; 25; 2; 68-71 (1986).

[4] Nunez, G. A.; Rivas, H.J. and Joseph, D. "Drive to Produce Heavy Crude Prompts Variety of Transportation Methods". Oil & Gas Journal; October, 26; 59-67 (1998).

[5] Gerez, J.M. "Heavy Oil Transportation by Pipeline" International Pipeline Conference; 2; ASME; (1996).

[6] Unde, A. and Kopp, G. "Pipeline Problem Resulting from the Handling of waxy Crude" Journal of the Institute of Petroleum", Vol. 57 No. 554; pp, 63-73; March (1971).

[7] Thuc, P.D. et, al. "The Problem in Transportation of High Waxy Crude Oils Through Submarine Pipelines at JV Vietsovpetro Oil Fields, Offshore Vietnam". Journal of Canadian Petroleum Technology; Vol, 42, No. 6, pp15 – 18 June (2003).

[8] Yaghi, B. and Al- Bemani, A. "Heavy Crude Oil Viscosity Redaction for Pipe line Transportation". Energy Sources, 24; 93-102 (2002).

[9] Guevara, E.; Gonzalez, J. and Nufiez, J. "Highly Viscous Oil Transportation Methods in the Venezuela Oil Industry" Proceedings of the 15th world Petroleum Congress; John Wiley and Sons; London 495 – 501 (1998).

[10] Speight, J.G.; "Petroleum Asphalts" Parts 1 and 2. Oil & Gas Science and Technology, Vol. 59, No.5; PP 467- 488 (2004).

[11] Acevedo, S, et, al, "Thermo- Optical Studies of Asphaltene Solutions: Evidence for Solvent- Solute Aggregate Formation" Fuel, 78; 9; 997- 1003 (1999).

[12] Reerink, H. and Lijzega, J., Journal of Institute of Petroleum; 59; 569-222 (1973).
[13] Yudin, I.K., et, al, "Mechanisms of Asphaltene Aggregation in Toluene- Heptane Mixtures" Journal of Petroleum Science and Engineering, 20, 3-4; 297- 301 (1998).
[14] Henaut, I. et, al, "Rheological and Structural Properties of Heavy Crude Oils in Relation with Their Asphaltenes Content" International Symposium of the Society of Petroleum Engineers; SPE, 65020; Houston; Feb. 13-16 (2001).
[15] Evdokimov, I.N., et; al. "Negative Viscosity Anomaly in Liquid Petroleum After Heat Treatment" Chemistry and Technology of Fuels and Oils; 38; 3; 171-177 (2002).
[16] Mehrotra, A.K. "A Model of the Viscosity of Bitumen / Bitumen Fractions – Diluent Blends'. Journal of Canadian Petroleum Technology, 31; 9; 28- 32 (1992).
[17] Gateau, P., et, al. "Heavy Oil Dilution" Oil & Gas Science and Technology, Vol. 59, No. 5, pp.503-509 (2004); Also Oil & Gas Sciene and Technology; Vol. 5a, No.5 (2004).
[18] Shu, W.R. "A Viscosity Correlation for Mixtures of Heavy Oil, Bitumen and Petroleum Fractions" SPE, 11280 (1984).
[19] Led ever, E.L.; Proceedings of World Petroleum Congress (London) 2; 526-528 (1933).
[20] Charlos, J.C., et, al. "Heavy Oil Processing, a Synthesis of the ASVAHL, reslts in:E.C. 3rd European Community Symposium on New Technologies for the Exploration and Exploitation of Oil and Gas Resources; Proceedings, March 22-24, 2, E. Millich et at eds. Luxem bourg (1988).
[21] Rimmer, D., et, al, " Pipeline Emulsion Transportation for Heavy Oils; in : Emulsion in the Petroleum Industry" American Chemical Society ; 8; 295-312 (1992).
[22] Layrisse, R. "Viscous Hydrocarbon-in-Water Emulsions" U.S. Patent, 4; 795; 478 (1998).
[23] Joseph, D., et, al. "Core Annular Flows" Annual Review of Fluid Mechanics, 29, 65-90 (1997).
[24] Josph, D. and Renardy,y "Fundamentals of Two Fluid Dynamics" Springer Verlag, New York (1993).
[25] Olieman, R. And Ooms, G. "Core Annular Flow of Oil and Water through a Pipeline", in: Multiphase Science and Technology; Hewitt, G.F. , Delhaye, J.M. and Zuber, N. , editors, 2, Hemisphere Publishing Compang, Washing ton (1986).
[26] Johansen, S.T. et al. "A Generic Model for Calculation of Frictional Losses in Pipe and Annular Flow" Journal of Canadian Petroleum Technology, Vol. 42, No. 6; PP 28-37; June (2003).
[27] King, R.P. "Introduction to Practical Fluid Flow" Butterworth, U, K. (2002).
[28] Turian, R.M. and Yuan, T. F. "Flow of Slurries in Pipelines" Alche Journal 23; 232-243 (1977).
[29] Shook, C.A. and Roco, M.C. "Slurry Flow, Principles and Practice" Butler Worth- Heinemann (1991).
[30] Barton, A.F.M. "Handbook of Solubility Parameters and Other Cohesion Parameters" 2nd Ed. CRC, Press (1992).
[31] Firoozabadi, A. "Thermodynamics of Hgdro carbon Reservoirs" Mc-Graw Hill; (1999).
[32] Andersen, S.I. and Speight, J.G. "Themodnamic Models for Asphaltene Solubility and Precipitation" Journal of Petroleum Science and Engineering; 22; 53-66 (1999).
[33] Hong, E. and Watkinson, P. "A Study of Asphalt Solubility and Precipitation" Fuel; 83; 1881-1887 (2004).
[34] Moschopedis, S.E. ; et al. " Upgrading Heavy Oils", Rev. Process chem.. Eng.; 1; 201 (1998).
[35] Speight, J.G. and Ozum, B. "Petroleum Refining Processes" Marcel Dekker, Inc. New York (2002).
[36] Vatana, JP, et al. "Study of Asphaltene Precipitation Using Refractive Index Measurment" Petroleum Science and Technology" 21; 591 (2003).
[37] Mc Killop, A. "A Counterintuitive notion: economic growth bolstered by high oil Prices, Strong oil demand". Oil & Gas Journal April 19; 18-24 (2004).