دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی

بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون نفت سنگین در آب

استاد راهنما:

دکتر علیرضا سلیمانی‌نظر

پژوهشگر:

مسعود عضدی

مهرماه ۱۳۹۰

کلیه حقــوق مــادی مترتــب بــر نتــایج مطالعــات، ابتکارات و نوآوری های ناشـــی از تحقیـــق موضـــوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی شیمی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی گرایش پیشرفته

آقای مسعود عضدی

تحت عنوان

بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون نفت سنگین در آب

در تاریخ ۹۰/۷/۳۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر علیرضا سلیمانی‌نظر با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۲- استاد داور داخل گروه دکتر محمد رضا طلایی با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۳- استاد داور خارج از گروه دکتر مهرداد علی بوری با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

امضای مدیر گروه

تقدیر و قدر دانی خویش را به:

استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر علیرضا سلیمانی‌نظر

کارکنان محترم گروه مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان

به پاس زحماتشان در راه اتمام این پروژه صمیمانه ابراز می‌دارم.

و

سپاس بی‌شائبه‌ای را به تمامی دوستان عزیزم که وجودشان دلگرمی من در دانشکده و یاد و خاطراتشان گذشته‌ای پر نشاط برایم ارزانی داشته‌اند نثار می‌کنم.

تقدیم به:

مادر

پدر

برادران و خواهر عزیزم

به پاس زحمات و بزرگواری‌هایشان

سپاس و آفرین ایزد جهان آفرین راست. آن که اختران رخشان، به پرتو روشنی و پاکی او تابنده‌اند و چرخ گردان به خواست و فرمان او پاینده. آفریننده‌ای که پرستیدن اوست سزاوار. دهنده‌ای که خواستن جز از او نیست خوش‌گوار. هست کننده از نیستی، نیست کننده پس از هستی. ارجمند گرداننده بندگان از خواری؛ درپای افکننده‌ی گردن‌کشان از سروری. پادشاهی او راست زیبنده؛ خدایی او راست درخورنده؛ بلندی و برتری از درگاه او جوی و بس. هر آن که از روی نادانی نه او را گزید، گزند او ناچار بدو رسید. هرچه نام، هستی دارد، بدوست.

جهان را بلندی و پستی تویی ندانم چه‌ای هرچه هستی توایی

و درود بر پیمبر بازپسین، پیشرو پیمبران پیشین؛ گره‌گشای هر بندی، آموزنده‌ی هر پندی، گمراهان را راه نماینده، جهانیان را به نیک و بد آگاهاننده، به همه زبانی نام او را ستوده و گوش پندنیوشان آواز او شنوده و همچنین درود بر یاران گزیده و خویشان پسندیده‌ی او باد؛ تا باد و آب و آتش و خاک در آفرینش برکار است و گل بر شاخسار هم بستر خار.

(مولانا)

چکیده

این تحقیق به مطالعه آزمایشگاهی فاکتورهای مؤثر بر کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون‌های دو نمونه نفت سنگین در آب با روش طراحی آزمایش‌های تاگوچی پرداخته است. این فاکتورها شامل سه نوع امولسیفایر، غلظت امولسیفایر، غلظت نفت، شوری، سرعت اختلاط و دما می‌باشند. تأثیر سه برهمکنش غلظت امولسیفایر با نوع امولسیفایر، غلظت نفت و شوری نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

سه فاکتور غلظت امولسیفایر، نوع امولسیفایر و غلظت نفت بیشترین تأثیر را بر نتایج کشش سطحی امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی دارند. با افزایش غلظت امولسیفایر، کشش سطحی امولسیون ابتدا کاهش می‌یابد ولی با افزایش بیشتر غلظت امولسیفایر کشش سطحی تغییر نمی‌کند. امولسیفایر NP10 کمترین کشش سطحی را برای امولسیون نمونه نفت سنگین ۲ ایجاد می‌کند و امولسیفایر KENON40 بیشترین کشش سطحی را برای این امولسیون دارد. با افزایش غلظت نفت کشش سطحی امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی کاهش می‌یابند. افزایش غلظت نفت موجب افزایش تمایل جذب ملکول‌های امولسیفایر در سطح مشترک نفت–آب می‌شود و در نتیجه کشش سطحی کاهش می‌یابد. تأثیر فاکتورهای دیگر و برهمکنش‌های در نظر گرفته شده نسبتاً کم است.

فاکتور غلظت نفت بیشترین تأثیر را بر نتایج ویسکوزیته امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی دارد. با افزایش غلظت نفت ویسکوزیته همواره افزایش می‌یابد. سایر فاکتورها و برهمکنش‌ها تأثیر بسیار کمتری نسبت به فاکتور غلظت نفت بر ویسکوزیته دارند.

تأثیر فاکتورهای غلظت امولسیفایر، نوع امولسیفایر، غلظت نفت، سرعت اختلاط بر پایداری امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی زیاد است. با افزایش غلظت امولسیفایر به دلیل افزایش مقاومت لایه پایدار کننده اطراف قطرات و نیز کاهش متوسط اندازه قطرات، پایداری افزایش می‌یابد. امولسیفایرهای Triton X-100 و NP10 بیشترین پایداری را برای امولسیون‌های نمونه نفت سنگین ۱ ایجاد کرده‌اند. برای امولسیون‌های نمونه نفت ۲، امولسیفایر NP10 بیشترین پایداری را ایجاد کرده است. امولسیفایر KENON40 کمترین پایداری را برای امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی دارد. با افزایش غلظت نفت و سرعت اختلاط پایداری امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی همواره روندی افزایشی دارد.

در این تحقیق یک رابطه جدید رئولوژیکی برای پیش‌بینی ویسکوزیته امولسیون نفت در آب، بر اساس عوامل مؤثر بر ویسکوزیته، توسعه داده شده است. رابطه رئولوژیکی جدید بر اساس فاکتورهای نرخ برشی، غلظت نفت، دما و غلظت امولسیفایر توسعه داده شده است. رابطه جدید ارائه شده در مقایسه با دو رابطه رئولوژیکی موجود در این زمینه، با نتایج ویسکوزیته امولسیون‌های هر دو نمونه نفتی بهتر برازش می‌شود. همچنین ضرایب رابطه جدید برآورد بهتری از اثر فاکتورها ارائه می‌دهند.

واژگان کلیدی: امولسیون نفت سنگین در آب، کشش سطحی، ویسکوزیته، پایداری، رابطه رئولوژیکی، روش تاگوچی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: روش‌های انتقال نفت سنگین با خط لوله

۱-۱- نفت سنگین ۱

۱-۲- اهمیت نفت سنگین ۲

۱-۳- مشکلات بهره‌برداری از نفت سنگین ۳

۱-۴- روش‌های انتقال نفت سنگین با خط لوله ۳

۱-۴-۱- گرمایش نفت سنگین ۳

۱-۴-۲- اختلاط با حلال ۴

۱-۴-۳- کراکینگ حرارتی ۵

۱-۴-۴- جریان حلقه‌ای آب و نفت ۵

۱-۴-۵- امولسیون نفت در آب ۷

فصل دوم: سیستم‌های امولسیون، عوامل مؤثر بر کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون نفت در آب، روابط رئولوژیکی امولسیون نفت در آب

۲-۱- امولسیون ۱۰

۲-۱-۱- تشکیل قطرات در جریان‌های آرام ۱۱

۲-۱-۲- امولسیفایر ۱۱

۲-۱-۳- مواد فعال سطحی ۱۲

۲-۱-۴- مثال‌هایی از امولسیفایرهای امولسیون نفت در آب ۱۴

۲-۱-۵- کاهش کشش سطحی با مواد فعال سطحی ۱۶

۲-۱-۵-۱- تأثیر عوامل مؤثر بر کشش سطحی محلول‌های مواد فعال سطحی ۱۸

۲-۱-۶- روش‌های انتخاب امولسیفایرها ۲۱

۲-۱-۷- ناپایداری‌ها در امولسیون ۲۳

۲-۱-۸- معکوس فازی ۲۴

۲-۲- تأثیر عوامل مؤثر بر کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون نفت در آب ۲۵

۲-۲-۱- کشش سطحی ۲۵

عنوان **صفحه**

۲-۲-۲- ویسکوزیته ۲۶

۲-۲-۳- پایداری ۲۸

۲-۳- روابط رئولوژیکی برای پیش‌بینی ویسکوزیته امولسیون نفت در آب ۲۹

۲-۳-۱- مقایسه روابط ۳۶

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- مواد شیمیایی ۳۹

۳-۱-۱- نمونه‌های نفتی ۳۹

۳-۱-۲- فاز آبی امولسیون ۴۰

۳-۱-۳- امولسیفایرها ۴۰

۳-۲- دستگاه‌ها و تجهیزات ۴۲

۳-۲-۱- تجهیزات آماده‌سازی نمونه‌ها ۴۲

۳-۲-۲- دستگاه اندازه‌گیری کشش سطحی ۴۳

۳-۲-۳- دستگاه اندازه‌گیری ویسکوزیته ۴۴

۳-۲-۴- سامانه اندازه‌گیری پایداری ۴۵

۳-۳- روش انجام آزمایش‌ها ۴۶

۳-۳-۱- آماده‌سازی امولسیون ۴۶

۳-۳-۲- اندازه‌گیری کشش سطحی ۴۷

۳-۳-۳- اندازه‌گیری ویسکوزیته ۴۷

۳-۳-۴- اندازه‌گیری پایداری ۴۸

۳-۳-۵- آماده‌سازی مخلوط نفت سنگین و نفت سبک ۴۸

۳-۴- طراحی آزمایش‌ها ۴۸

۳-۴-۱- جدول آزمایش‌ها ۵۰

۳-۴-۲- روش‌های تحلیل نتایج در روش تاگوچی ۵۳

عنوان **صفحه**

فصل چهارم: نتایج و تحلیل‌ها

۴-۱- بررسی آزمایشگاهی عوامل مؤثر بر کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری امولسیون نفت در آب با روش تاگوچی ۵۶

۴-۱-۱- نتایج کشش سطحی ۵۶

۴-۱-۱-۱- تحلیل واریانس نتایج کشش سطحی ۵۸

۴-۱-۲- نتایج ویسکوزیته ۶۳

۴-۱-۲-۱- تحلیل واریانس نتایج ویسکوزیته ۶۵

۴-۱-۳- نتایج پایداری ۶۹

۴-۱-۳-۱- تحلیل واریانس نتایج پایداری ۷۱

۴-۲- توسعه رابطه رئولوژیکی برای پیش‌بینی ویسکوزیته امولسیون نفت در آب ۷۹

۴-۲-۱- تحلیل واریانس نتایج ویسکوزیته ۸۱

۴-۲-۲- توسعه رابطه رئولوژیکی ۸۶

۴-۲-۲-۱- ارزیابی روابط ۸۸

۴-۲-۲-۲- بررسی اعتبار نتایج ۹۱

۴-۳- بررسی تأثیر عوامل نسبت اختلاط و دما بر ویسکوزیته مخلوط نفت سنگین و نفت سبک ۹۴

۴-۳-۱- تأثیر نسبت اختلاط بر کشش سطحی و API مخلوط نفت سنگین و نفت سبک ۹۵

۴-۳-۲- تأثیر نسبت اختلاط بر ویسکوزیته مخلوط نفت سنگین و نفت سبک ۹۶

۴-۳-۳- تأثیر دما بر ویسکوزیته مخلوط نفت سنگین و نفت سبک ۹۷

۴-۳-۴- رابطه ویسکوزیته نفت با دما ۹۸

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۰

۵-۲- پیشنهادها ۱۰۳

منابع و مآخذ ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: ساختار ملکول ماده فعال سطحی DDBSNa ۱۴
شکل ۲-۲: ساختار ملکول امولسیفایر Triton X-100 ..... ۱۵
شکل ۲-۳: ساختار ملکول امولسیفایر Tween 20 ..... ۱۶
شکل ۲-۴: ملکول‌های فعال سطحی جذب شده در سطح مشترک آب-هپتان (Rosen, 2004)..... ۱۷
شکل ۲-۵: تغییرات کشش سطحی بر حسب لگاریتم غلظت ماده فعال سطحی در محلول آب و امولسیفایر (Rosen, 2004) ۱۹
شکل ۲-۶: پدیده‌های تجمع کردن، منعقد شدن، سرشیری شدن و رسوب قطرات امولسیون (Mollet & Grubenmann, 2001) ۲۳
شکل ۳-۱: ساختار ملکول امولسیفایر Triton X-100 ..... ۴۱
شکل ۳-۲: همزن مکانیکی RW 20 D و پروانه توربینی آن ۴۳
شکل ۳-۳: دستگاه اندازه گیری کشش سطحی Sigma 701 ..... ۴۴
شکل ۳-۴: رئومتر Rheolab QC، اسپیندل‌ها و کاپ‌ها..... ۴۵
شکل ۳-۵: ظروف شیشه‌ای مخروطی شکل برای اندازه‌گیری پایداری امولسیون ۴۶
شکل ۳-۶: مکانیزم اندازه‌گیری کشش سطحی با صفحه Wilhelmy در دستگاه Sigma 701 ..... ۴۷
شکل ۴-۱: تأثیر غلظت امولسیفایر بر کشش سطحی امولسیون نفت ۲ ..... ۶۱
شکل ۴-۲: تأثیر نوع امولسیفایر بر کشش سطحی امولسیون نفت ۲..... ۶۳
شکل ۴-۳: ویسکوزیته نفت ۱ در دمای (°C) ۴۰ ..... ۶۴
شکل ۴-۴: ویسکوزیته نفت ۲ در دمای (°C) ۴۰ ..... ۶۴
شکل ۴-۵: تأثیر غلظت نفت بر ویسکوزیته امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۶۹
شکل ۴-۶: تأثیر غلظت امولسیفایر بر پایداری امولسیون نفت‌های ۱ و ۲..... ۷۴
شکل ۴-۷: تأثیر نوع امولسیفایر بر پایداری امولسیون نفت‌های ۱ و ۲..... ۷۵
شکل ۴-۸: تأثیر غلظت نفت بر پایداری امولسیون نفت‌های ۱ و ۲..... ۷۶
شکل ۴-۹: تأثیر غلظت نفت بر کشش سطحی امولسیون نفت‌های ۱ و ۲..... ۷۶
شکل ۴-۱۰: تأثیر شوری بر پایداری امولسیون نفت ۱ ..... ۷۷

عنوان **صفحه**

شکل ۴-۱۱: تأثیر سرعت اختلاط بر پایداری امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۷۸
شکل ۴-۱۲: تأثیر غلظت نفت بر ویسکوزیته امولسیون نفت ۱ در نرخ‌های برشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و (1/s) ۸۳۱۰۰۰
شکل ۴-۱۳: تأثیر غلظت نفت بر ویسکوزیته امولسیون نفت ۲ در نرخ‌های برشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و (1/s) ۸۳۱۰۰۰
شکل ۴-۱۴: تأثیر دما بر ویسکوزیته امولسیون نفت ۱ در نرخ‌های برشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و (1/s) ۱۰۰۰ ..... ۸۴
شکل ۴-۱۵: تأثیر دما بر ویسکوزیته امولسیون نفت ۲ در نرخ‌های برشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و (1/s) ۱۰۰۰ ..... ۸۴
شکل ۴-۱۶: تأثیر غلظت امولسیفایر بر ویسکوزیته امولسیون نفت ۱ در نرخ‌های برشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و (1/s) ۱۰۰۰ ..... ۸۵
شکل ۴-۱۷: تأثیر غلظت امولسیفایر بر ویسکوزیته امولسیون نفت ۲ در در نرخ‌های برشی ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و (1/s) ۱۰۰۰ ..... ۸۶
شکل ۴-۱۸: ویسکوزیته نفت آغاجری در دمای (°C) ۴۰ ..... ۹۶
شکل ۴-۱۹: ویسکوزیته مخلوط‌های نفتی با نسبت‌های حجمی۸۰:۲۰، ۶۰:۴۰ و ۴۰:۶۰ (نسبت نفت سبک به نفت سنگین) در دمای (°C) ۳۰ ..... ۹۷
شکل ۴-۲۰: ویسکوزیته مخلوط‌های نفتی با نسبت‌های حجمی۸۰:۲۰، ۶۰:۴۰ و ۴۰:۶۰ (نسبت نفت سبک به نفت سنگین) در دمای (°C) ۵۰ ..... ۹۸
شکل ۴-۲۱: نتایج حاصل از پیش‌بینی ویسکوزیته بر حسب دما با استفاده از رابطه (۴-۱۲) برای مخلوط‌های نفتی۶۰:۴۰ و ۴۰:۶۰ (نسبت نفت سبک به نفت سنگین) ۹۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: ثابت‌های برازش شده رابطه Rønningsen با داده‌های امولسیون‌های نفت در آب در نرخ‌های برشی ۳۰-۱۰۰-۵۰۰ (1/s) (Rønningsen, 1995) ۳۵

جدول ۲-۲: ثابت‌های برازش شده رابطه al-Roomi با داده‌های امولسیون‌های نفت در آب (al-Roomi, et al., 2004) ۳۶

جدول ۳-۱: ویسکوزیته سینماتیک و دانسیته API نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۴۰

جدول ۳-۲: مشخصات امولسیفایرهای Triton X-100، NP10 و KENON40 ..... ۴۱

جدول ۳-۳: وسایل مورد استفاده برای آماده‌سازی امولسیون نفت در آب و مخلوط نفت سنگین و نفت سبک .. ۴۲

جدول ۳-۴: مشخصات دستگاه کشش سطحی Sigma 701 ..... ۴۴

جدول ۳-۵: مشخصات دستگاه رئومتر Rheolab QC ۴۵

جدول ۳-۶: فاکتورها و سطوح انتخاب شده آن‌ها برای آزمایش‌های کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری ۴۸

جدول ۳-۷: برهمکنش‌های انتخاب شده برای آزمایش‌های کشش سطحی، ویسکوزیته و پایداری ۴۸

جدول ۳-۸: جدول متعامد L27 تاگوچی برای انجام آزمایش‌های کشش سطحی و ویسکوزیته ۵۱

جدول ۳-۹: جدول متعامد L27 تاگوچی انتخاب شده برای انجام آزمایش‌های پایداری ۵۲

جدول ۴-۱: نتایج آزمایش‌های کشش سطحی طبق جدول L27 تاگوچی برای امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۵۷

جدول ۴-۲: تحلیل واریانس نتایج کشش سطحی امولسیون‌های نفت ۱ ..... ۵۹

جدول ۴-۳: تحلیل واریانس نتایج کشش سطحی امولسیون‌های نفت ۲ ..... ۶۰

جدول ۴-۴: ساختار امولسیفایرهایTriton X-100، NP10، KENON40 وگروه‌های آب دوست وآب گریز آن‌ها ۶۳

جدول ۴-۵: نتایج آزمایش‌های ویسکوزیته در نرخ برشی ۵۰۰ (1/s) برای امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۶۶

جدول ۴-۶: تحلیل واریانس نتایج ویسکوزیته امولسیون‌های نفت ۱ ..... ۶۷

جدول ۴-۷: تحلیل واریانس نتایج ویسکوزیته امولسیون‌های نفت ۲ ..... ۶۸

جدول ۴-۸: نتایج آزمایش‌های پایداری طبق جدول L27 تاگوچی برای امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۷۰

جدول ۴-۹: تحلیل واریانس نتایج پایداری امولسیون‌های نفت ۱ ..... ۷۲

جدول ۴-۱۰: تحلیل واریانس پایداری برای امولسیون‌های نفت ۲ ..... ۷۳

جدول ۴-۱۱: سطح بهینه فاکتورهای مهم برای دستیابی به ماکزیمم پایداری امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۷۹

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱۲: ویسکوزیته امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ طبق جدول L27 تاگوچی در نرخ‌های برشی (1/s) ۱۰۰۰-۵۰۰-۲۰۰-۱۰۰ ..... ۸۰
جدول ۴-۱۳: تحلیل واریانس نتایج ویسکوزیته امولسیون نفت ۱ در نرخ‌های برشی (1/s) ۱۰۰۰-۵۰۰-۲۰۰-۱۰۰ ..... ۸۱
جدول ۴-۱۴: تحلیل واریانس نتایج ویسکوزیته امولسیون نفت ۲ در نرخ‌های برشی (1/s) ۱۰۰۰-۵۰۰-۲۰۰-۱۰۰ ..... ۸۲
جدول ۴-۱۵: ترتیب فاکتورها و برهمکنش‌ها به ترتیب بزرگی تأثیر آن‌ها (بر اساس نسبت F) بر نتایج ویسکوزیته امولسیون نفت ۱ در نرخ‌های برشی (1/s) ۱۰۰۰-۵۰۰-۲۰۰-۱۰۰ ..... ۸۲
جدول ۴-۱۶: ترتیب فاکتورها و برهمکنش‌ها به ترتیب بزرگی تأثیر آن‌ها (بر اساس نسبت F) بر نتایج ویسکوزیته امولسیون نفت ۲ در نرخ‌های برشی (1/s) ۱۰۰۰-۵۰۰-۲۰۰-۱۰۰ ..... ۸۲
جدول ۴-۱۷: معرفی روابط رئولوژیکی Rønningsen، al-Roomi و رابطه جدید (رابطه (۴-۷)) ۸۸
جدول ۴-۱۸: ثابت‌های برازش شده رابطه Rønningsen با داده‌های ویسکوزیته امولسیون‌های نفت ۱ ..... ۹۰
جدول ۴-۱۹: ثابت‌های برازش شده رابطه al-Roomi با داده‌های ویسکوزیته امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۹۰
جدول ۴-۲۰: ثابت‌های برازش شده رابطه جدید با داده‌های ویسکوزیته امولسیون نفت‌های ۱ و ۲ ..... ۹۱
جدول ۴-۲۱: مقادیر عامل تورم واریانس برای متغیرهای رابطه‌های Rønningsen، al-Roomi و رابطه جدید بر اساس داده‌های جدول ۴-۱۲ ..... ۹۲
جدول ۴-۲۲: ثابت‌های برازش شده رابطه al-Roomi با داده‌های ویسکوزیته امولسیون نفت در آب (al-Roomi, et al., 2004) ۹۴
جدول ۴-۲۴: ثابت‌های برازش شده رابطه (۴-۱۲) با داده‌های ویسکوزیته مخلوط‌های با نسبت حجمی ۴۰:۶۰ و ۶۰:۴۰ (نسبت نفت سبک به نفت سنگین) ۹۹

فصل اول

روش‌های انتقال نفت سنگین با خط لوله

۱-۱- نفت سنگین

نفت خام معمولی اغلب به نفتی گفته می‌شود که به راحتی با عملیات پمپاژ ساده، از مخزن قابل برداشت باشد. بر خلاف نفت معمولی استخراج نفت سنگین از مخزن بسیار مشکل است و برای استخراج آن نیاز به روش‌های حرارتی وجود دارد. معمولاً نفت سنگین بر اساس مقدار دانسیته API، ویسکوزیته و یا محتوی سولفور در آن تعریف می‌شود (Ancheyta & Speight, 2007). در یک تعریف رایج به نفتی که دانسیته API آن از ۲۰ کمتر باشد نفت سنگین گفته می‌شود (API نفت فوق سنگین معمولاً بین ۵ تا ۱۰ می‌باشد). اما طبقه‌بندی نفت‌ها (نفت معمولی، نفت سنگین، قیر و مشتقات نفتی) بر اساس تنها یک خاصیت فیزیکی مانند API کافی نیست. دسته‌بندی این مواد باید شامل معرفی دیگر خواص مانند دانسیته API، آنالیز عنصری، ترکیبات سازنده و مهم‌تر از همه خواص بخش رسوب شده نیز باشد (Ancheyta & Speight, 2007).

تفاوت عمده نفت سنگین و سبک به دلیل میزان بالای ترکیب‌های آسفالتیک با وزن ملکولی بالا، رزین‌ها، سولفور و ترکیب‌های فلزی-آلی می‌باشد. نفت سنگین به علت دارا بودن درصد بالای قیر از نفت سبک ارزان‌تر است (Ancheyta & Speight, 2007).

۱-۲- اهمیت نفت سنگین

در سال‌های اخیر نفت خام مهمترین منبع مورد استفاده بشر به ویژه برای تأمین انرژی بوده است. در سرتاسر جهان منابع عظیمی از نفت سنگین وجود دارد. با کاهش ذخائر نفت سبک اهمیت استفاده از نفت‌های سنگین به ویژه برای مصارف سوختی روز به روز بیشتر می‌شود. حجم ذخایر نفت‌های سنگین و قیر در سرتاسر جهان در حدود ۶ تریلیون بشکه یعنی تقریباً سه برابر نفت‌های معمولی در جهان برآورد شده است (Ancheyta & Speight, 2007). کشورهایی مانند کانادا، ونزوئلا، آمریکا، ایران، مکزیک و روسیه دارای منابع بسیار عظیمی از نفت‌های سنگین و بسیار سنگین می‌باشند. ذخائر نفت‌های سنگین و بسیار سنگین در ایران در حدود ۸۵ میلیارد بشکه برآورد شده است (قلیاقی‌زاده، ۱۳۸۷). شناخته شده‌ترین میادین نفتی سنگین در ایران عبارتند از: کوه موند، زاغه، پایدار، پایدار غرب، سروش، پارس شمالی، فردوس، سوسنگرد، رامشیر، حوضه رسوبی زاگرس همانند شادگان، اهواز، منصوری، چشمه خوش و بوشهر. ذخائر عمده نفت سنگین ایران در میادین نفتی کوه موند، زاغه، فردوسی، پایدار، پایدار غرب، سوسنگرد و رامشیر واقع شده‌اند. بخش عمده نفت سنگین ایران در کوه موند با ابعاد مخزن ۹۰×۱۶ کیلومتر مربع در ۷۰ کیلومتری جنوب شرقی بوشهر می‌باشد. در سه میدان کوه موند، زاغه و فردوسی ذخائر نفت در جا در حدود ۴۰ میلیارد بشکه می‌باشد.

با وجود حجم زیاد ذخائر نفت سنگین و قیر در ایران، بهره‌برداری از این منابع به اندازه استفاده از نفت‌های معمولی نمی‌باشد. هم اکنون در ایران نفت سنگین تنها ۵ درصد کل نفت تولید شده در کشور را تشکیل می‌دهد در حالی که در کانادا بیش از ۹۵ درصد نفت تولید شده از نفت سنگین می‌باشد. بنابراین لازم است که توجه بیشتری در جهت بهره‌برداری از این منابع با ارزش در کشورمان صورت پذیرد.

۱-۳- مشکلات بهره‌برداری از نفت سنگین

مراحل استخراج، انتقال و پالایش نفت سنگین همراه با مشکلات عملیاتی می‌باشد. دلیل این موضوع ویسکوزیته بالا و ماهیت ترکیب‌های نفت سنگین می‌باشد. مقدار برخی ترکیب‌ها نظیر ترکیب‌های فلزی، ترکیب‌های سولفوره و ترکیب‌های سنگین در نفت سنگین نسبت به نفت معمولی بیشتر است. ترکیب‌های فلزی نظیر وانادیوم و نیکل، تأثیر منفی بر عملکرد کاتالیست‌ها در مراحلی نظیر نیتروژن‌زدایی و سولفورزدایی در فرآیند پالایشگاه می‌گذارند. ترکیب‌های سولفوره به علت بوی نامطبوع و خاصیت خورندگی نامطلوب هستند. همچنین ترکیب‌های سنگین نظیر آسفالتین‌ها، ویسکوزیته نفت سنگین را افزایش می‌دهند و مقدار زیاد آن تشکیل رسوب می‌دهد (Furimsky, 2007).

۱-٤- روش‌های انتقال نفت سنگین با خط لوله

به دلیل ویسکوزیته بسیار بالای نفت سنگین انتقال آن با خط لوله امکان‌پذیر نیست. ویسکوزیته نفت سنگین چندین هزار تا چند صد هزار سانتی پویز می‌باشد (Furimsky, 2007). معمولاً ویسکوزیته مناسب نفت خام برای انتقال با خط لوله باید کمتر از (cp) ۴۰۰ باشد (Langevin, et al., 2004). در نتیجه در بیشتر روش‌های انتقال نفت سنگین با خط لوله، انتقال بر اساس کاهش ویسکوزیته نفت سنگین انجام می‌گیرد. در ادامه برخی از مهمترین روش‌های انتقال نفت سنگین با خط لوله و مزایا و معایب هر کدام مرور می‌شود.

۱-٤-۱- گرمایش نفت سنگین

یک روش ساده برای کاهش ویسکوزیته نفت سنگین، گرمایش آن می‌باشد. در این روش دمای نفت سنگین معمولاً باید به ۴۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسانده شود. میزان دمای لازم به خواص و ترکیب نفت سنگین بستگی دارد. در این روش برای جلوگیری از هدر رفتن گرما، لوله‌ها عایق کاری می‌شوند. همچنین در این روش برای جبران افت دمای نفت در طی انتقال، در فواصل معین از ایستگاه‌های گرمایشی و یا از حرارت‌دهی موضعی خطوط لوله استفاده می‌شود (Storm, 2001).

مزایای روش: ساده بودن روش.

معایب روش: استفاده از ایستگاه‌های گرمایشی یا حرارت دادن لوله برای فواصل طولانی نیازمند صرف هزینه و انرژی زیادی خواهد بود. همچنین استفاده از این روش هنگامیکه خطوط لوله از زیر آب عبور می‌کنند مشکل می‌باشد. علت این موضوع این است که اولاً وجود جریان آب در اطراف لوله موجب هدر رفتن گرما خواهد شد و ثانیاً امکان استفاده از ایستگاه‌های گرمایشی برای جبران افت دما در زیر آب وجود ندارد (Storm, 2001).

۱-٤-۲- اختلاط با حلال

در این روش با مخلوط کردن نفت سنگین با حلال ویسکوزیته را کاهش می‌دهند. حلال مورد استفاده باید تا حدی و نه لزوماً به طور کامل، قابل انحلال در نفت سنگین باشد. همچنین ویسکوزیته حلال باید از ویسکوزیته نفت سنگین کمتر باشد. برخی از حلال‌های مناسب شامل نفت سبک، گازوئیل، برش‌های سبک نفتی و یا دیگر هیدروکربن‌های سبک می‌باشند. در این روش معمولاً ۱۰ تا ۵۰ (درصد حجمی) حلال با نفت سنگین مخلوط می‌شود. این نسبت به خواص نفت سنگین مانند ویسکوزیته بستگی دارد (McMillen, 1985).

این روش برای استخراج نفت سنگین از مخازن نیز کاربرد دارد که به روش برانگیختن با حلال[1] شناخته می‌شود. بعد از استخراج نفت سنگین با این روش: ۱- می‌توان حلال را از مخلوط حلال-نفت استخراج شده بازیافت کرد و دوباره در چرخه استخراج مورد استفاده قرار داد یا ۲- از مخلوط حلال-نفت استخراج شده که اکنون ویسکوزیته آن کاهش یافته برای انتقال با خط لوله استفاده کرد (McMillen, 1985). با توجه به این مطلب، این روش همزمان می‌تواند هم برای استخراج و هم برای انتقال نفت سنگین مورد استفاده قرار گیرد.

مزایای روش: ساده بودن روش.

معایب روش: حجم زیادی از حلال همراه با نفت سنگین انتقال می‌یابد که این امر باعث افزایش حجم تجهیزات و انرژی مورد نیاز برای انتقال خواهد شد. استفاده از این روش مشروط بر این است که حلال‌ها در محل انتقال یا استخراج موجود باشند و یا حداقل در دسترس باشند. از معایب مهم این روش مصرف مقدار زیادی حلال گران قیمت برای انتقال (و یا استخراج) نفتی نسبتاً ارزان قیمت می‌باشد.

[1] Solvent stimulation

۱-٤-۳- کراکینگ حرارتی[1]

کاهش ویسکوزیته نفت سنگین در این روش بر اساس شکسته شدن اجزاء سنگین به اجزاء سبک‌تر انجام می‌شود. در این روش اجزاء سنگین نفت تحت شرایط دمایی بین ۴۰۰ تا ۵۲۵ درجه سانتیگراد و فشار ۴۵۰ تا (kPa) ۷۰۰۰ در مدت زمان ماند بین یک تا ۶۰ دقیقه به اجزاء سبک‌تر شکسته می‌شوند (Bain, et al., 1988). مقدار دما، فشار و مدت زمان ماند به نوع ترکیب‌های نفت سنگین بستگی دارد. اجزاء سنگین نفت به اجزاء سبک‌تر نظیر بنزین و گازوئیل تبدیل می‌شوند. علاوه بر این مقدار زیادی گاز، مازوت و تا حدی کک نیز تولید می‌شود. در این روش معمولاً فرآیند کراکینگ حرارتی تنها روی بخشی از کل نفت سنگین انجام می‌شود و سپس محصول سبک بدست آمده با بخش باقیمانده از نفت سنگین مخلوط می‌شوند و ویسکوزیته مخلوط را کاهش خواهند داد.

این روش می‌تواند همراه با اضافه کردن هیدروژن نیز انجام گیرد. وجود هیدروژن باعث آسان شدن تبدیل اجزاء سنگین می‌شود. استفاده از هیدروژن خالص به دلیل گران بودن از نظر اقتصادی به صرفه نیست. بنابراین استفاده از حلال‌های اهداء کننده هیدروژن[2] به جای هیدروژن خالص پیشنهاد شده است (Bain, et al., 1988).

مزایای روش: در این روش با تبدیل اجزاء سنگین نفت به اجزاء سبک‌تر، خواص نفت سنگین بهبود می‌یابد.

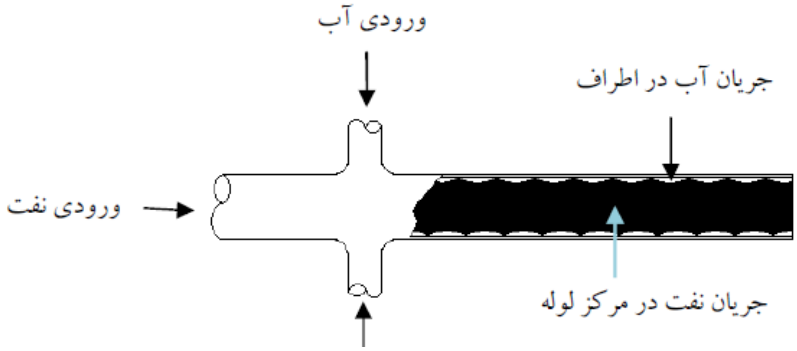
معایب روش: به دلیل تشکیل کک در شرایط عملیاتی شدید، توقف‌های مداوم عملیات برای جداسازی کک اجتناب ناپذیر می‌باشد. همچنین کک تشکیل شده محصول نامطلوبی است. از معایب دیگر این روش این است که اگر فرآیند حرارتی تنها روی بخشی از نفت انجام شود، تنها خواص قسمتی از نفت بهبود می‌یابد. انجام عملیات حرارتی روی کل نفت سنگین به دلیل فشار بخار ایجاد شده، با روش‌های متداول امکان‌پذیر نمی‌باشد (Bain, et al., 1988).

۱-٤-٤- جریان حلقه‌ای آب و نفت[3]

در این روش همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است نفت در مرکز لوله و یک لایه نازک آب در اطراف آن داخل لوله جریان دارند. در این روش آب از تماس جریان نفت با دیواره داخلی لوله جلوگیری می‌نماید در نتیجه افت

[1] Visbreaking
[2] Hydrogen donor
[3] Core annular flow

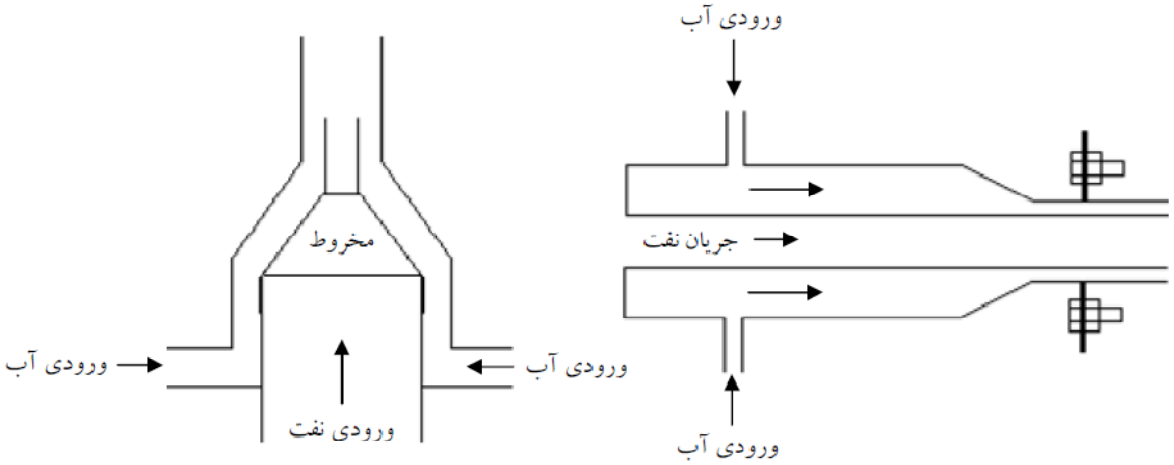
فشار در لوله کاهش می‌یابد. با کاهش افت فشار انرژی کمتری برای پمپاژ نفت سنگین نیاز خواهد بود. در این روش برخلاف روش‌های قبلی ویسکوزیته نفت سنگین کاهش نمی‌یابد.



شکل ۱-۱: جریان حلقه‌ای آب و نفت

مهمترین مواردی که در این روش باید به آنها توجه شود عبارتند از:

۱- نازل[1]: برای ایجاد یک جریانی که نفت در مرکز لوله و آب در اطراف نفت در لوله جریان داشته باشد از نازل استفاده می‌شود. نازل‌های مختلفی برای اینکه جریانی مناسب و متقارن به وجود آید طراحی شده‌اند. به طور مثال دو نمونه از این نازل‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱-۲: دو نوع نازل مختلف برای ایجاد جریان حلقه‌ای آب و نفت (Ghosh, et al., 2009)

[1] Nozzle