

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مکانیک

گروه : مکانیک

بررسی اثر تابش خورشیدی بر روی تشکیل رسوب درون مخازن ذخیره سازی نفت خام

دانشجو : مرتضی سعادت طرقي

اساتيد راهنما:

دکتر محمود فرزانه گرد

دکتر شهرام هاشمی مرغزار

استاد مشاور:

دکتر حسين نيكوفرد

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

دی ۱۳۸۸

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتن

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان

که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است

و سرگردانی و ترس در پناهِشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

تشکر و قدردانی

ستایش شایسته ذات بی همتای آن عزیز مهربان است و تقدیر سزاوار هر آنچه و هر آنکه جلوه گاهی از لطف و محبت اوست. خدا را شاکرم که به من این توان را داد که این مرحله از زندگی را نیز با سلامتی و سربلندی پشت سر بگذارم و سر بر آستان پاک و پر برکت او می سایم که هر چه عزت و نیرو و سرافرازی هست، از اوست. پس از خدای بلند مرتبه، سر تعظیم در برابر پدر و مادرم فرود می آورم، بر پایشان بوسه می زنم و آن دو را می ستایم که تجلی مهر و لطف خداوندی برای من هستند.

از زحمات بی دریغ استاد ارجمند و گرامی، جناب آقای دکتر فرزانه گرد، که در مدت زمان تدوین این اثر، همواره مرا یاری و پشتیبانی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم و فراموش نمی کنم که سپاسگزار همچون استادی هستم که اندیشیدن را به من آموخت نه اندیشه ها را.

همچنین از اساتید ارجمند و بزرگوار، آقایان، دکتر نیازمند، دکتر نیکوفرد و دکتر هاشمی و دوستان عزیزم، آقایان مهندس نباتی و مهندس راسخ و پرسنل شرکت پایانه های نفتی خارک، کمال تشکر و سپاس را دارم.

مرتضی سعادت طرقی

دی ۱۳۸۸

چکیده

در این پایان نامه سعی شده است که اثرات میزان تابش خورشیدی بر میزان رسوب جمع شده در کف مخازن ذخیره سازی نفت خام، بررسی شود که از این کار علمی می توان در انتخاب رنگ جداره خارجی این مخازن، استفاده نمود. بخش اول کار بررسی و تعیین اثر تابش خورشیدی بر دمای نفت خام موجود در مخزن ذخیره سازی نفت خام می باشد، که از نتایج یک پایان نامه موازی با کار حاضر استفاده شده است. لازم به ذکر است که تابش خورشیدی تنها عامل تغییر دما در مخازن نمی باشد بلکه تنها یکی از عوامل است که بر میزان دمای نفت خام موجود در مخازن، تاثیر می گذارد. در بخش اصلی پایان نامه به بررسی اثر تغییرات دما بر میزان تشکیل رسوب، پرداخته شده است.

رسوبات ته نشین شده در کف مخازن نفت شامل آسفالتین، واکس و مواد غیر آلی و ... می باشد که ما رسوبات را تنها ناشی از ذرات آسفالتین و واکس در نظر می گیریم. نتایج تجربی نشان می دهد که برای یک مخزن با حجم ۱ میلیون بشکه، سالانه حدود ۲/۵ میلیون دلار به صورت تشکیل رسوب، از چرخه صادرات خارج می گردد، که خود اهمیت کار حاضر را بیان می کند.

مدلی که برای فرایند ته نشینی ذرات معلق که مشابه قانون استوکس است، پیشنهاد می شود، معادلات مفید را در اختیار ما قرار می دهد. در این مدل فرض شده است که هیچگونه جریانی در مخزن وجود ندارد، ذرات نیز تحت تاثیر نیروی وزن خود شروع به ته نشینی می کنند و تحت تاثیر گرادیان غلظت، به سمت بالا پخش می شوند. این مدل با استفاده از قوانین استوکس، پخش فیک و استوکس-انیشیتین، می تواند اندازه قطر بحرانی ذرات آسفالتین و واکس را محاسبه کند. بدین معنی که اگر قطر ذره از قطر بحرانی بیشتر باشد، ذره شروع به ته نشینی می کند و برعکس. با استفاده از یک توزیع ذرات برای آسفالتین و واکس (به صورت یک تابع چگالی گاما)، می توان درصد ذرات جامد که در حال ته نشینی هستند را به دست آورد. منابع موجود بیانگر این موضوع می باشند که میزان ذرات جامد آسفالتین با دما تغییر زیادی نمی کنند ولی میزان ذرات جامد واکس شدیداً با

دما ارتباط دارند. این ارتباط نیز با استفاده از ارائه یک مدل ترمودینامیکی برای ذرات جامد واکس، تعیین گردیده است. این مدل بر اساس برابر قرار دادن فوگاسیته های فاز جامد و مایع، بنا شده است.

به منظور تعیین صحت نتایج مدل، ارتفاع رسوب در ۱۰ بازه زمانی در طول تقریباً ۲ سال، برای مخزن ذخیره نفت شماره ۲۸ جزیره خارک، اندازه گیری شد و با نتایج حاصل از این مدل مقایسه گردیده است. از نتایج مهمی که حاصل گردید می توان موارد زیر را ذکر کرد که: مقدار رسوب در دمای بالاتر از دمای ظهور واکس، تنها شامل ذرات آسفالتین می باشد. در دماهای پایین تر از دمای ظهور واکس، با کاهش بیشتر دما، سهم رسوب ناشی از واکس افزایش می یابد. سهم ذرات آسفالتین از رسوب تقریباً ثابت بوده و با تغییرات دما، تغییر چندانی نمی کند. در پایان نیز اثر رنگ مخزن بر میزان تشکیل رسوب، بررسی گردیده است.

کلمات کلیدی: نفت خام، آسفالتین، واکس، تانک ذخیره، خارک، تابش خورشیدی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- ۱ - محاسبه میزان اتلافات تبخیری از مخازن ذخیره سازی نفت خام در جزیره خارک - کنفرانس دانشجویی مهندسی مکانیک - مشهد - دانشگاه آزاد اسلامی - آبان ماه ۱۳۸۸ .
- ۲- محاسبه چگالی یک سیستم هیدروکربنی دو فازی با استفاده از معادلات حالت مختلف- کنفرانس دانشجویی مهندسی مکانیک - مشهد - دانشگاه آزاد اسلامی - آبان ماه ۱۳۸۸ .

3 - Effect of seals on evaporation loss from the Khark Island crude oil storage tanks - The 6th International Chemical Engineering Congress and Exhibition (IChEC 2009) – Kish Island – 16 Nov 2009.

4- Studying effects of pipe line flow rate on metering systems in Kharg Island oil terminal- The 6th International Chemical Engineering Congress and Exhibition (IChEC 2009) – Kish Island – 16 Nov 2009.

فهرست مطالب

فصل اول - مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- مروری بر کارهای گذشته ۴

فصل دوم - معرفی آسفالتین و واکس به عنوان مواد تشکیل دهنده رسوب

- ۱-۲- مقدمه ۹
- ۲-۲- آسفالتین ۱۱
- ۳-۲- مشکلات رسوب آسفالتین در مراحل مختلف صنعت نفت ۱۴
- ۴-۲- رسوبات واکسی ۱۴
- ۱-۴-۲- اجزای تشکیل دهنده واکس ۱۶
- ۲-۴-۲- درجه حرارت های کلیدی در مورد واکس ها ۱۶
- ۳-۴-۲- عوامل موثر در تشکیل رسوب واکس ۱۷

فصل سوم - تعیین میزان تشکیل رسوب آسفالتین

- ۱-۳- مقدمه ۱۹
- ۲-۳- قانون استوکس ۲۰
- ۳-۳- مدل تعادل ته نشینی ۲۲
- ۴-۳- قوانین پخش فیک ۲۴
- ۵-۳- رابطه استوکس - انیشتین برای تعیین ضریب نفوذ ۲۶
- ۶-۳- متغیرهای متصل و انواع توزیع های احتمالی آن ۲۹
- ۱-۶-۳- متغیر تصادفی متصل ۲۹

- ۳-۶-۲- تابع توزیع و تابع چگالی ۳۱
- ۳-۶-۳- توزیع احتمالی گاما ۳۳
- ۳-۷- توزیع اندازه ذرات آسفالتین ۳۴
- ۳-۸- ضریب فشردگی ذره ۳۶
- ۳-۹- مدت زمان لازم برای ته نشینی ۳۷
- ۳-۱۰- محاسبات مربوط به میزان رسوب آسفالتین در مخزن ۲۸ ۳۸
- ۳-۱۱- نتایج مقدار رسوب آسفالتین برای دما های مختلف ۴۲
- ۳-۱۱-۱- نتایج محاسبات برای نفت سبک ۴۴
- ۳-۱۱-۲- نتایج محاسبات برای نفت سنگین ۴۵

فصل چهارم- تعیین میزان تشکیل رسوب واکس

- ۴-۱- مقدمه ۴۹
- ۴-۲- مدل ترمودینامیکی تشکیل ذرات جامد واکس ۵۰
- ۴-۳- مدل تعادل ته نشینی ۵۹
- ۴-۴- توزیع اندازه ذرات واکس ۶۱
- ۴-۵- ضریب فشردگی ذره ۶۳
- ۴-۶- محاسبات مربوط به میزان رسوب واکس در مخزن ۲۸ ۶۴
- ۴-۷- نتایج مقدار رسوب واکس برای دما های مختلف ۶۷
- ۴-۷-۱- نتایج محاسبات برای نفت سبک ۶۹
- ۴-۷-۲- نتایج محاسبات برای نفت سنگین ۷۰

فصل پنجم- تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف مخزن

- ۵-۱- مقدمه ۷۳

- ۷۳-۲-۵ نتایج مربوط به تعیین میزان کل رسوب
- ۷۵-۳-۵ نتایج مربوط به دمای نفت خام
- ۷۷-۴-۵ نفت سبک
- ۸۹-۵-۵ نفت سنگین

فصل ششم - مقایسه نتایج با مقادیر اندازه گیری شده مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک

- ۱۰۲-۱-۶ مقدمه
- ۱۰۲-۲-۶ تشریح بررسی موردی
- ۱۰۶-۳-۶ نحوه اندازه گیری و تحلیل نتایج تجربی
- ۱۱۱-۴-۶ محاسبه میزان رسوب با روش ارائه شده
- ۱۱۴-۵-۶ مقایسه نتایج حاصل از مدل ارائه شده با نتایج تجربی

فصل هفتم - نتیجه گیری

- ۱۲۱-پیوست الف- مدل سازی نفت سبک در نرم افزار هایسیس
- ۱۳۲-پیوست ب- مدل سازی نفت سبک و سنگین در نرم افزار PVTsim
- ۱۴۸-مراجع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) ترکیبات تشکیل دهنده ی رسوب در مخزنی به حجم ۹۲۰۰۰ متر مکعب ۹
- شکل (۲-۲) نمونه ای از ترکیب نفت خام شماتیک آنالیز SARA ۱۱
- شکل (۳-۲) نمونه ای از ساختمان یک رزین - آسفالتین ۱۲
- شکل (۱-۳) جورج گابریل استوکس ۲۰
- شکل (۲-۳) دیاگرام پایداری ذره کروی شکل ۲۱
- شکل (۳-۳) آدولف فیک ۲۴
- شکل (۴-۳) پخش جرم در حالت پایدار ۲۵
- شکل (۵-۳) انواع توزیع های احتمال ۲۹
- شکل (۶-۳) ترسیمی از انواع توزیع های احتمال ۲۹
- شکل (۷-۳) توزیع احتمال برای متغیرهای ناپیوسته و پیوسته و روند تشکیل آن ۳۱
- شکل (۸-۳) رابطه بین یک تابع توزیع و تابع چگالی ۳۲
- شکل (۹-۳) تابع احتمالی چوله شکل ۳۳
- شکل (۱۰-۳) نمودار تابع چگالی گاما برای ذرات آسفالتین ۳۵
- شکل (۱۱-۳) نمودار معادل نمودار تابع چگالی ذرات آسفالتین ۳۵
- شکل (۱۲-۳) تغییرات قطر بحرانی ذرات آسفالتین برحسب تغییرات دما برای نفت سبک ۴۳
- شکل (۱۳-۳) تغییرات قطر بحرانی ذرات آسفالتین برحسب تغییرات دما برای نفت سنگین ۴۳
- شکل (۱۴-۳) میزان رسوب آسفالتین برحسب دماهای مختلف برای نفت سبک ۴۵
- شکل (۱۵-۳) میزان رسوب آسفالتین برحسب دماهای مختلف برای نفت سنگین ۴۷
- شکل (۱-۴) دیاگرام ارتباط پتانسیل شیمیایی ماده خالص A، در فاز مایع و جامد ۵۱
- شکل (۲-۴) میزان تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف برای نفت سبک ۵۸
- شکل (۳-۴) میزان تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف برای نفت سنگین ۵۹

- شکل (۴-۴) نمودار تابع چگالی گاما برای ذرات واکس ۶۱
- شکل (۵-۴) بخش اول نمودار تابع چگالی برای ذرات واکس ۶۲
- شکل (۶-۴) بخش دوم نمودار تابع چگالی برای ذرات واکس ۶۳
- شکل (۷-۴) تغییرات قطر بحرانی ذرات واکس برحسب تغییرات دما برای نفت سبک ۶۸
- شکل (۸-۴) تغییرات قطر بحرانی ذرات واکس برحسب تغییرات دما برای نفت سنگین ۶۸
- شکل (۹-۴) میزان رسوب واکس برحسب دماهای مختلف برای نفت سبک ۷۰
- شکل (۱۰-۴) میزان رسوب واکس برحسب دماهای مختلف برای نفت سنگین ۷۱
- شکل (۱-۵) میزان کل رسوب برحسب دماهای مختلف برای نفت سبک ۷۴
- شکل (۲-۵) میزان کل رسوب برحسب دماهای مختلف برای نفت سنگین ۷۵
- شکل (۳-۵) متوسط تابش روزانه و دمای متوسط برای هر ماه ۷۶
- شکل (۴-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سبک ۸۸
- شکل (۵-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سبک ۸۸
- شکل (۶-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سنگین ۹۹
- شکل (۷-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سنگین ۱۰۰
- شکل (۱-۶) نقشه هوایی از جزیره خارک ۱۰۳
- شکل (۲-۶) مخزن سقف شناور خارجی نوع قایقی ۱۰۴
- شکل (۳-۶) مخزن سقف شناور خارجی نوع دو عرشه ای ۱۰۴
- شکل (۴-۶) نمایی از موقعیت مکانی مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک ۱۰۵
- شکل (۵-۶) نمایی نزدیک از مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک ۱۰۶
- شکل (۶-۶) نمایی شماتیک از مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک ۱۰۷
- شکل (۷-۶) نمایی دورتر از پایه های سقف مخزن ۲۸ جزیره خارک ۱۰۷

- شکل (۸-۶) نقاط اندازه گیری شده در سقف مخزن شماره ۲۸..... ۱۰۸
- شکل (۹-۶) نقشه سقف مخزن شماره ۲۸ و شماره های پایه های موجود بر روی سقف ۱۰۹
- شکل (۱۰-۶) پروفیل رسوب اندازه گیری شده در تاریخ ۸۷/۹/۱۷..... ۱۱۰
- شکل (۱۱-۶) میانگین ارتفاع رسوب در زمان های اندازه گیری شده ۱۱۱
- شکل (۱۲-۶) میانگین ارتفاع رسوب در ماه های سال برای مخزنی مشابه مخزن ۲۸..... ۱۱۲
- شکل (۱۳-۶) میانگین کل ارتفاع رسوب در ماه های سال برای مخزنی مشابه مخزن ۲۸..... ۱۱۲
- شکل (۱۴-۶) نتایج محاسبه شده برای ارتفاع رسوب برای روزهای مختلف ۱۱۴
- شکل (۱۵-۶) مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج تجربی ۱۱۵
- شکل (۱۶-۶) مقایسه نتایج محاسبه شده با نتایج تجربی برای روزهای مختلف ۱۱۵

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) نتایج مربوط به محاسبات آسفالتین برای نفت سبک در یک روز ۴۴
- جدول (۲-۳) نتایج مربوط به محاسبات آسفالتین برای نفت سنگین در یک روز ۴۶
- جدول (۱-۴) مشخصات نفت سبک جزیره خارک ۵۷
- جدول (۲-۴) نتایج مربوط به محاسبات واکس برای نفت سبک در یک روز ۶۹
- جدول (۳-۴) نتایج مربوط به محاسبات واکس برای نفت سنگین در یک روز ۷۱
- جدول (۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مهر ماه ۷۷
- جدول (۲-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آبان ماه ۷۸
- جدول (۳-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آذر ماه ۷۸
- جدول (۴-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در دی ماه ۷۹
- جدول (۵-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در بهمن ماه ۷۹
- جدول (۶-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اسفند ماه ۸۰

- جدول (۷-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در فروردین ماه ۸۰
- جدول (۸-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اردیبهشت ماه ۸۱
- جدول (۹-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در خرداد ماه ۸۱
- جدول (۱۰-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در تیر ماه ۸۲
- جدول (۱۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مرداد ماه ۸۲
- جدول (۱۲-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در شهریور ماه ۸۲
- جدول (۱۳-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید براق ۸۳
- جدول (۱۴-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید ۸۴
- جدول (۱۵-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ زرد ۸۴
- جدول (۱۶-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سبز ۸۵
- جدول (۱۷-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ آلومینیومی ۸۵
- جدول (۱۸-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ قهوه ای ۸۶
- جدول (۱۹-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سیاه ۸۷
- جدول (۲۰-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مهر ماه ۸۹
- جدول (۲۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آبان ماه ۹۰
- جدول (۲۲-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آذر ماه ۹۰
- جدول (۲۳-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در دی ماه ۹۱
- جدول (۲۴-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در بهمن ماه ۹۱
- جدول (۲۵-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اسفند ماه ۹۲
- جدول (۲۶-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در فروردین ماه ۹۲
- جدول (۲۷-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اردیبهشت ماه ۹۲

- جدول (۲۸-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در خرداد ماه ۹۳
- جدول (۲۹-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در تیر ماه ۹۳
- جدول (۳۰-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مرداد ماه ۹۴
- جدول (۳۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در شهریور ماه ۹۴
- جدول (۳۲-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید براق ۹۵
- جدول (۳۳-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید ۹۵
- جدول (۳۴-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ زرد ۹۶
- جدول (۳۵-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سبز ۹۶
- جدول (۳۶-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ آلومینیومی ۹۷
- جدول (۳۷-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ قهوه ای ۹۷
- جدول (۳۸-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سیاه ۹۸

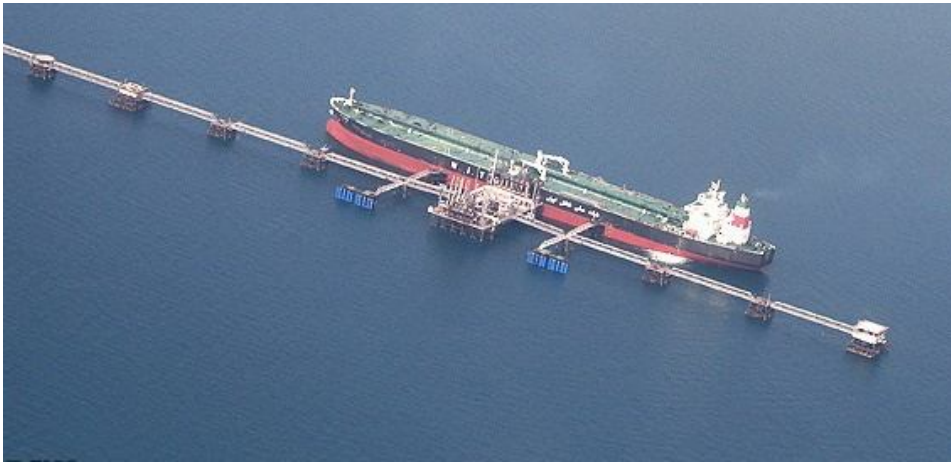
فهرست علائم

علامت	واحد	کمیت
	J/mol K	ظرفیت گرمایی
V		حجم مولی
f	pa	فوغاسیته
K	بی بعد	ضریب تعادل
h	m یا ft	ارتفاع مخزن
S	Kj/kgk	آنتروپی
K _B	j/k	ثابت بولتزمان
α	m ² /s	پخشندگی گرمایی
H	Mj/m ²	تابش کلی روزانه
m	kg	جرم ذره
N _A	بی بعد	عدد آواگادرو
v	m/s	سرعت
g	cm/sec ²	شتاب گرانشی
D		ضریب نفوذ
x	%	درصد مولی
z	%	درصد مولی
R	J/mol K	ثابت گازها
M _w	Ib/Ib-mole	جرم مولکولی
ρ	kg/m ³ یا Ib/ft ³	چگالی
T	°C یا °K یا °R یا °F	دما
V	m/s	سرعت
P	psi یا Kpa	فشار
D	m یا ft	قطر مخزن

α	بی بعد	ضریب جذب
ν	m^2/s	لزجت سینماتیکی
μ	$N.s/m^2$	لزجت
J	$mol m^{-2} s^{-1}$	شار نفوذ
C	$mol m^{-3}$	غلظت

فصل اول

مقدمه



۱-۱- مقدمه

نفت و فرآورده های آن، کالاهای استراتژیک به شمار می آیند و تولید و عرضه آنها طبق برنامه ریزی های انجام شده، اهمیتی حیاتی در اقتصاد و امنیت کشور دارد. از این رو، ذخیره سازی نفت خام و فرآورده های آن به عنوان کالای استراتژیک در ذخیره تولید، انتقال و ارسال آن به پالایشگاه ها و بنادر و فرودگاهها ضرورتی اجتناب ناپذیراست و نقش آن در کنترل عرضه و تقاضا، تثبیت قیمت ها و اقتدار نظامی و اقتصادی کشور حیاتی است.

وجود مخازن ذخیره نفت خام و انواع فرآورده های پالایشگاهی و پتروشیمیایی از فصلهای مشترک مناطق نفتی است. تاسیسات ذخیره سازی نفت و فرآورده های نفتی به ویژه در مناطق بحران خیز اهمیت فراوانی دارند و نقش آنها در عرضه یکنواخت، تامین نیازهای داخلی و صادرات، انکارناپذیر است. کشورها، با توجه به شرایط و حساسیت های خود، روش های خاصی را برای ذخیره سازی نفت خام و مواد نفتی مورد استفاده قرار می دهند. در شماری از کشورها از جمله ایران، ذخیره سازی در مخازن فلزی انجام می شود؛ در بعضی مناطق غارهای نمک مورد استفاده قرار می گیرد و بعضی کشورها نیز نفت و مواد نفتی خود را در مخازن بتنی بر روی زمین و یا در اعماق دریا ذخیره می کنند.

با توجه به اهمیت کیفیت نفت خام و تاثیر آن بر اقتصاد کشور و همچنین انطباق بیشتر با استانداردهای جهانی، در این پروژه اثر تابش خورشیدی بر روی میزان تشکیل رسوب درون مخازن ذخیره سازی نفت خام، بررسی شده است.

یکی از بزرگترین پایانه های نفتی جهان، پایانه نفتی جزیره خارک می باشد. پایانه نفتی جزیره خارک، عملیات دریافت، ذخیره سازی، اندازه گیری، صادرات و تسویه حساب گمرکی بیش از ۹۰ درصد نفت خام صادراتی کشور را پوشش می دهد. شرکت پایانه های صادرات مواد نفتی در جزیره خارک، نفت خام سبک، سنگین و فروزان را تحویل می دهد که از کل میزان تحویل سالانه در حدود

۳۳ درصد آن نفت سبک، ۵۴ درصد آن نفت سنگین و ۱۳ درصد آن نفت مخلوط فروزان می باشد، همچنین در این پایانه سالانه در حدود ۱۲ میلیون بشکه نفت کوره از پالایشگاه های داخلی دریافت و ذخیره سازی می شود که جهت سوخت رسانی به نفتکش های متقاضی، تحویل داده می شود. پایانه نفتی شمال نیز مسئولیت انجام عملیات مبادله نفت خام دریافتی از کشورهای حوزه دریای خزر و ذخیره سازی آن را بر عهده دارد.

مخازن موجود در جزیره خارک، در مرتفع ترین نقطه جزیره خارک که لایه های مرجانی محکمی داشته و مقاومت بالایی دارد با ظرفیت های متفاوت در طی چند پروژه احداث گردیده است. این مخازن که در ارتفاع ۲۰۰ فوتی (۶۰ متری) از سطح دریا بنا شده اند این امکان را به نفت خام می دهد تا با نیروی جاذبه به سمت اسکله ها هدایت شوند. مخازن ذخیره سازی نفت به صورت استوانه های قطور و مرتفع عمودی بنا شده اند و ظرفیت آنها از یکصد و چهل هزار تا یک میلیون بشکه متفاوت است. سقف این مخازن از نوع شناور بوده و با بالا و پائین رفتن سطح نفت در داخل مخزن حرکت می نماید.

با توجه به مشکلات و هزینه های مربوط به ذخیره سازی و صادرات نفت خام، دستیابی به روش هایی جهت حل این مشکلات امری ضروری است. یکی از مشکلاتی که همواره در مرحله ذخیره سازی نفت خام وجود دارد، تشکیل رسوب در ته مخازن ذخیره نفت می باشد. همانطور که ذکر شد، در این پروژه به بررسی اثر تابش خورشیدی بر روی میزان تشکیل رسوب درون مخازن ذخیره سازی نفت خام، پرداخته شده است.

در حقیقت این پروژه را می توان به دو بخش تقسیم نمود. بخش اول بررسی و تعیین اثر تابش خورشیدی بر دمای نفت خام موجود در مخزن ذخیره سازی نفت خام می باشد. لازم به ذکر است که تابش خورشیدی تنها عامل تغییر دما در مخازن نمی باشد بلکه تنها یکی از عوامل است که بر میزان دمای نفت خام موجود در مخازن، تاثیر می گذارد. برای تعیین این دما از نتایج یک پایان نامه که به

موازات کار حاضر انجام گرفته است، استفاده شده و بدنه اصلی این پایان نامه را بخش دوم مبحث تشکیل می دهد. در بخش دوم، به بررسی اثر تغییرات دما بر میزان تشکیل رسوب، پرداخته شده است.

۱-۲- مروری بر کار های گذشته

ونکاتسان^۱ (۲۰۰۷)، بیان نمود که باید بین دو تعریف ذرات جامد تشکیل شده و ذرات در حال ته نشینی، تفاوت قائل شد. در حقیقت تمام ذراتی که به حالت جامد قرار دارند، الزاماً دچار ته نشینی و تشکیل رسوب نمی گردند و بخشی از آن ها رسوب را تشکیل می دهند. به عبارت دیگر، تشکیل ذرات جامد واکس و آسفالتین، شرط لازم برای ته نشینی می باشند و نه شرط کافی.

اولین بار ریچاردسون^۲ (۱۹۱۵)، مطالعات بنیادی بر روی آسفالتین را آغاز کرد. کاتز^۳ و همکارانش در سال ۱۹۴۵ با استفاده از یک میکروسکوپ الکترونیکی توانستند یک لایه نازک از نفت خام و آسفالتین را مشاهده کنند و محدوده اندازه این ذرات را ثبت کنند. رای^۴ و همکارانش (۱۹۵۷)، توانستند مقدار چگالی ذرات آسفالتین را به دست آورند و این مقدار را $1/22$ g/cc بیان نمودند.

اودکیمو^۵ و همکارانش (۲۰۰۳)، با استفاده از یک مدل ترمودینامیکی برخی از خصوصیات آسفالتین را برای نفت های خام مختلف، بررسی نمودند.

وفائی^۶ و همکارانش (۲۰۰۳)، یک مدل ساده کاملاً تئوری برای فرایند جمع شدن ذرات جامد آسفالتین ارائه کردند. در این مدل اثر تغییرات فشار و افزودن حلال های مختلف بررسی شده است.

¹ Venkatesan

² Richardson

³ Katz

⁴ Ray

⁵ Evdokimov

⁶ Vafaie

هانگ و واتینسون^۱ (۲۰۰۴)، نیز حلالیت آسفالتین را برای حلال های مختلف به دست آوردند. جرمیلو^۲ و همکارانش (۲۰۰۴)، توانستند رسوب آسفالتین در لوله های انتقال نفت خام را بررسی و تحلیل کنند.

وان^۳ (۱۹۸۵، ۱۹۸۶، ۱۹۸۹)، توانست مدل های مختلفی برای پدیده تجمع ذرات واکس موجود در نفت خام، ارائه کند که کاملترین آنها در همان سال ۱۹۸۹ انتشار یافت. نرنایان^۴ و همکارانش (۱۹۹۳)، همکارانش (۱۹۹۳)، یک مدل ترمودینامیکی بر اساس تعادل فازی جامد و مایع، ارائه نمودند.

تاوولر و رباپراجادا^۵ (۲۰۰۴)، مطالعاتی در زمینه کاهش میزان تشکیل رسوب واکس درون لوله های انتقال نفت انجام دادند. آنها با استفاده از یک شبیه سازی، اثر پارامتر های مختلف را بر میزان تشکیل رسوب واکس برای نوع خاصی نفت، بررسی نمودند.

یان^۶ و همکارانش (۲۰۰۴)، توانستند مدل ترمودینامیکی ارائه شده در گذشته را گسترش دهند و نتایج را با نتایج تجربی مقایسه کنند. اسماعیل زاده^۷ و همکارانش (۲۰۰۶)، توانستند اثر مدل های مختلف ضریب فعالیت را برای تعیین مدل ترمودینامیکی تشکیل ذرات جامد واکس، بررسی کنند.

اسکوبار و رمولینا^۸ (۲۰۰۶)، یک مدل ترمودینامیکی جدید برای تشکیل ذرات جامد واکس ارائه کردند و توانستند اثرات معادلات حالت مختلف را بر نتایج بررسی کنند. چن^۹ و همکارانش (۲۰۰۷)،

¹ Hong and Watkinson

² Jaramillo

³ Won

⁴ Naranayan

⁵ Towler and Rebbapragada

⁶ Yan

⁷ Esmailzadeh

⁸ Escobar and Remolina

⁹ Chen

توانستند یک مدل ترمودینامیکی بر اساس تعادل فازها برای تعیین میزان ذرات جامد واکس و دمای ظهور واکس، ارائه نمایند.

زاو^۱ و همکارانش (۲۰۰۸)، مطالعات گسترده‌ای بر روی فرایند تشکیل ذرات واکس انجام دادند و نهایتاً توانستند دمای ظهور واکس را برای چند نمونه نفتی، تعیین کنند. طباطبایی نژاد و خدایانه^۲ (۲۰۰۹)، اثر و حساسیت پارامترهای مختلف از جمله دما و آنتالپی ذوب را بر مدل ترمودینامیکی خویش، بررسی نمودند.

رید^۳ و همکارانش (۱۹۸۷)، الشارکوی^۴ و همکارانش (۱۹۹۹) و طباطبایی^۵ (۱۹۹۹)، در کارهایشان هایشان روابطی برای تخمین برخی خواص ترکیبات هیدروکربنی از جمله دمای بحرانی و فشار بحرانی و ...، پیشنهاد کردند.

تقریباً تمامی مطالعات انجام شده بر روی رسوب ذرات آسفالتین و واکس، تنها شامل بررسی فرایند تشکیل و تجمع ذرات جامد این مواد می‌باشند، در حالی که این ذرات جامد الزاماً دچار ته‌نشینی و تشکیل رسوب در مخزن نمی‌گردند. لنتاریتیس^۶ (۲۰۰۵)، توانست در زمینه فرایند ته‌نشینی این ذرات مطالعاتی را انجام دهد.

در این پایان‌نامه سعی شده است که اثرات میزان تابش خورشیدی بر میزان رسوب جمع شده در کف مخازن ذخیره‌سازی نفت خام، بررسی شود که از این کار علمی می‌توان در انتخاب رنگ جداره خارجی این مخازن، استفاده نمود. همانطور که در آغاز فصل عنوان گردید، پایانه نفتی خارک یکی از بزرگترین پایانه‌های صادراتی نفت خام در دنیا می‌باشد که به لحاظ میزان صادرات و ذخیره‌سازی

¹ Zuo

² Tabatabaei Nejad and Khodapanah

³ Reid

⁴ Elsharkwy

⁵ Tabatabaei

⁶ Leontaritis

در جهان سرآمد می باشد. وجود مخازن با حجم های مختلف و اهمیت این پایانه نفتی در مسائل اقتصادی و استراتژیک ایران و جهان، عاملی بود که سبب شد، مطالعات بر روی مخازن واقع در این پایانه، انجام گیرد و از شرایط اقلیمی جزیره خارک و مشخصات مخازن واقع در آن، به عنوان پایه و اساس این پایان نامه استفاده شود.

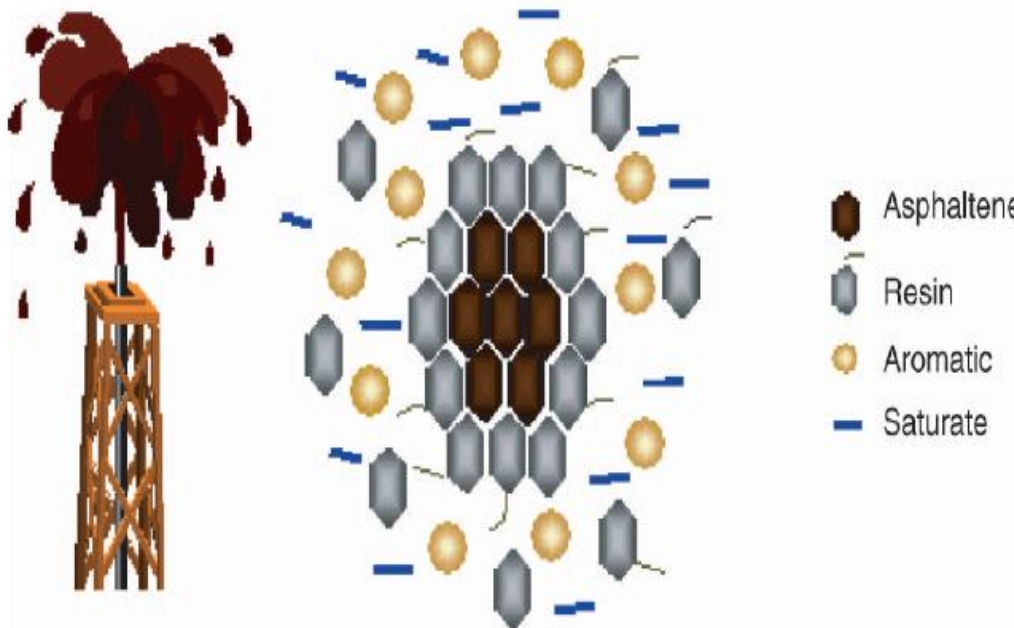
در فصل دوم، به معرفی آسفالتین و واکس به عنوان مواد اصلی تشکیل دهنده رسوب، پرداخته شده است. تعیین میزان رسوب ناشی از ذرات آسفالتین موضوعی می باشد که در فصل سوم تشریح گردیده است. در این فصل با استفاده از یک مدل تعادل ته نشینی، میزان رسوب ذرات آسفالتین، تعیین گردیده است. همچنین مروری مختصر بر تابع های توزیع احتمال و تابع گاما، از دیگر بخش های این فصل می باشد. در فصل چهارم، به تعیین میزان رسوب ناشی از ذرات واکس، پرداخته شده است. در این فصل با استفاده از یک مدل ترمودینامیکی و نرم افزار پی وی تی سیم^۱، نمودار میزان تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف، حاصل گردید. نتایج مربوط به میزان رسوب تشکیل شده در مخازن برای ماه های مختلف سال و همچنین انجام محاسبات برای مخازن با رنگ ها مختلف و نفت های مختلف، در فصل پنجم ارائه گردیده است. در این فصل می توان نتایج مربوط به تفاوت میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف را مشاهده نمود. در فصل ششم که یکی از مهمترین فصل های کار حاضر می باشد، مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی تشریح شده در این پایان نامه، با مقادیر اندازه گیری شده رسوب مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک، در یک دوره تقریباً دو ساله، انجام شده است. در فصل هفتم و پایانی به بیان نتایج نهایی حاصل از این پایان نامه، که کاربردی است و می تواند در صنعت نفت مورد استفاده قرار گیرد، پرداخته شده است.

^۱ PVTsim

فصل دوم

معرفی آسفالتین و واکس به عنوان مواد

تشکیل دهنده رسوب

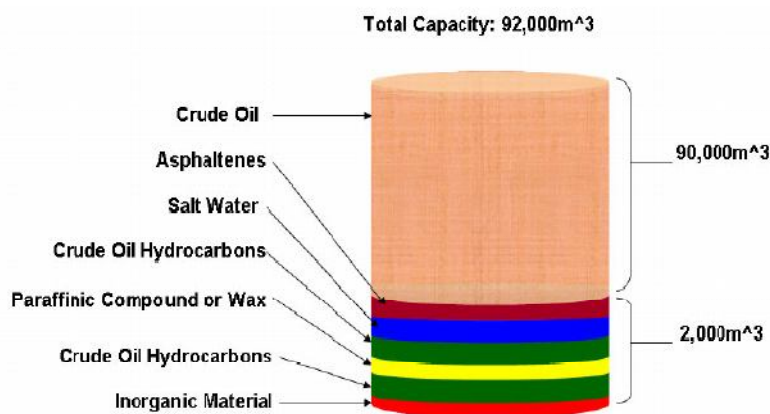


۲-۱- مقدمه

تشکیل رسوبات در صنعت نفت، یکی از مشکلات مهم در بخش های مختلف تولیدی آن می باشد. این رسوب ها می توانند در میداین نفتی، لوله های انتقال نفت و مخازن ذخیره نفت خام، تشکیل شده و سبب بروز مشکل در این قسمت ها گردند. در فرآیند تولید نفت، این رسوبات خلل و فرج مخازن را گرفته و باعث کاهش نفوذپذیری آن و در نتیجه کاهش ظرفیت تولید و استخراج می شوند. با ادامه تشکیل رسوبات، مسیرهای جریان نفت در چاه مسدود شده که خود باعث بسته شدن چاه و توقف عملیات بهره برداری می شود. در انتقال نفت خام، تغییر شرایط محیط و انتقال حرارت از دیواره لوله، باعث تشکیل رسوب در خطوط لوله انتقال نفت می شود. این رسوبات منجر به بسته شدن لوله ها، افزایش ضخامت لوله، کانالیزه شدن جریان نفت، کاهش سطح مقطع مؤثر لوله و در نتیجه افزایش افت فشار می شود. بنابراین هزینه های پمپاژ افزایش یافته و سرعت بهره برداری کاهش می یابد. تشکیل رسوب در مخازن، با گذشت زمان، باعث تشکیل لایه های لجنی در ته مخزن می شود. در تانک های ذخیره نفت خام، فاز سنگین به تدریج در کف تانک ته نشین می گردد و ماده خمیری شکل با خاصیت چسبندگی شدید تشکیل می دهد، که در اصطلاح رسوب یا لجن^۱ نامیده می شود. این رسوب شامل موادی مانند آسفالتین^۲، آب، نمک، هیدروکربن های سنگین، واکس و مواد غیر آلی مانند ماسه و زنگ فلزات می باشد، شکل (۲-۱).

^۱ Sludge

^۲ Asphaltene



شکل (۲-۱) ترکیبات تشکیل دهنده ی رسوب در مخزنی به حجم ۹۲۰۰۰ متر مکعب، (www.OPEC.ir)

تشکیل رسوب در مخازن ذخیره نفت خام، به نوبه خود موجب ایجاد مسائل خوردگی شده، مشکلات عملیاتی ایجاد کرده و هزینه ها را افزایش می دهد. بنابراین بررسی کامل و دقیق رسوب ها و عوامل موثر بر میزان تشکیل آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد.

قسمت عمده رسوب جمع شده در کف مخازن، شامل دو نوع ماده است:

- آسفالتین
- واکس^۱ یا پارافین

نفت خام مخلوطی پیچیده از هیدروکربن های متعلق به خانواده های مختلف شامل پارافین ها، آروماتیک ها، نفتن ها و الفین ها است که در سه حالت جامد، مایع و بخار وجود دارد. نفت خام سیستم کلوئیدی پیچیده ای می باشد که دارای ترکیباتی با وزن مولکولی و قطبیت متفاوت است که سبب ناپایداری ذاتی نفت و در نتیجه تشکیل رسوب در آن می شود. این ترکیبات (SARA) شامل چهار دسته:

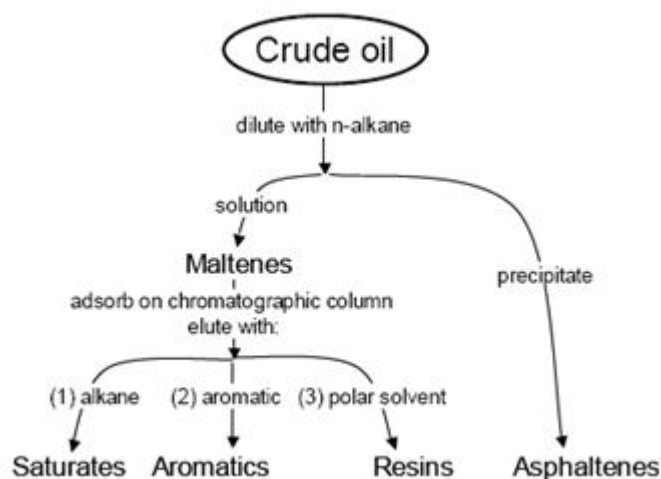
- ۱- اشباعات^۲ ۲- آروماتیک ها^۳ ۳- رزین ها ۴- آسفالتین ها

¹ Wax

² Saturate

³ Aromatics

پس رسوبات ممکن است طبیعت واکسی یا آسفالتی (ترکیب آسفالتین و رزین^۱) داشته باشند. این رسوبات را می توان تجمعی از ترکیبات آلی سنگین در نظر گرفت. خارج شدن سیستم کلوئیدی از حالت تعادل موجب رسوب اجزاء کلوئیدی نفت به ویژه آسفالتین می گردد و این عدم تعادل در اثر تغییر پارامترهای فیزیکی فشار، دما و حجم و تغییر نسبت اجزاء متشکله نفت اتفاق می افتد، (واسکیوز و منصور^۲، ۲۰۰۰). شکل (۲-۲)، نمونه ای از ترکیب نفت خام (شماتیک آنالیز SARA) را نشان می دهد.



شکل (۲-۲) نمونه ای از ترکیب نفت خام شماتیک آنالیز SARA، (واسکیوز و منصور، ۲۰۰۰)

۲-۲- آسفالتین

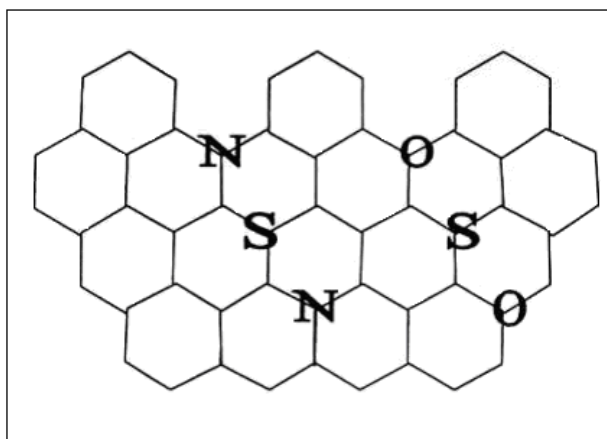
آسفالتین ها ترکیبات پیچیده ای هستند. این ترکیبات به دلیل اینکه ماهیت ترکیبی آنها از یک مخزن به مخزن دیگر تغییر می کند، دارای وزن مولکولی معینی نمی باشند. از طرف دیگر مواد آسفالتینی به دلیل دارا بودن ساختار حلقوی، در حلال های آروماتیکی و حلقوی مانند تولوئن، بنزن و غیره به خوبی حل می شوند. اما در حلال های شیمیایی نرمال آلکان ها مانند نرمال هگزان یا نرمال

¹ Resin

² Vasquez and Mansoori

هیپتان حل نمی شوند. پس به منظور خارج کردن مواد آسفالتینی از فاز نفت خام، آلکان اضافه می کنیم.

آسفالتین ها اغلب به ترکیبات NSO معروفند، زیرا حاوی اتم های O، S و N می باشند که بعضی از آنها جانشین کربن حلقه آروماتیک ها می شوند. ترکیبات NSO بالاترین وزن مولکولی را دارند و سنگین ترین اجزای تشکیل دهنده نفت های خام می باشند. عموماً آسفالتین ها همراه با نفت خام های آروماتیک سنگین یافت می شوند. شکل (۲-۳) مثالی از ساختمان یک رزین - آسفالتین را نشان می دهد.



شکل (۲-۳) نمونه ای از ساختمان یک رزین - آسفالتین، (اسک و همکارانش، ۲۰۰۱)

آسفالتین ها در اصل دارای هیدروژن و کربن همراه با یک تا سه اتم از نیتروژن، اکسیژن یا گوگرد در هر مولکول هستند. ساختمان اولیه آنها دارای حلقه های هیدروکربنی آروماتیکی با سه تا ده و حتی بیشتر برای هر مولکول است. اتم های غیر هیدروکربنی احتمال دارد که بخشی از حلقه هیدروکربنی یا چسبیده به حلقه باشد، (اسک^۱ و همکارانش، ۲۰۰۱).

علت رنگ سیاه نفت خام به واسطه وجود آسفالتین ها است. مولکول های آسفالتین دارای محدوده وسیع از اوزان مولکولی بوده و ساختمان آنها از چاهی به چاه دیگر مختلف می باشد. اهمیت ساختار

¹ Aske

مولکولی آسفالتین ها در فرایند نفت، شبیه به اهمیت ساختمان کلسترول های موجود در خون شریان های بیمار است، (منصوری^۱، ۱۹۹۷).

بر اساس روش های اشعه ایکس، سانتیوفوژ قوی و روش های شیمیائی شامل اکسیداسیون، هیدروژناسیون و ...، ساختمان آسفالتین را می توان بصورت نمونه به شکل $C_{74}H_{87}NS_{20}$ نشان داد. دوگانگی های چشمگیری میان رزین ها و آسفالتین ها دیده می شود. آسفالتین ها در نفت حل نمی شوند بلکه به شکل کلوئیدی پخش می شوند اما رزین ها به آسانی در نفت حل می شوند. آسفالتین های خالص به گونه جامد، خشک، پودرهای سیاه و غیره، هستند اما رزین های خالص به شکل مایعات سنگین یا جامدات چسبنده و به فراریت برخی هیدروکربن ها، یافت می شوند. رزین ها با وزن مولکولی بالا، قرمز رنگ هستند و رزین های سبک تر رنگ بسیار کمی دارند. از این رو هنگامی که به کمک تقطیر، نفت به بخش های جدا از هم تفکیک می شود آسفالتین ها در سنگین ترین بخش به نام پسمان می مانند ولی رزین ها بر پایه فراریتشان در بخش های گوناگون پخش می شوند. رنگ این بخش ها تا اندازه بالایی بستگی به بودن رزین ها دارد. رنگ پسمان به نسبت زیادی بستگی به بودن آسفالتین ها دارد. آسفالتین معمولاً به عنوان سنگین ترین و قطبی ترین ترکیب نفت معرفی می شود. پارامتر های مؤثر در تشکیل رسوب آسفالتین شامل ترکیب درصد یا غلظت، دما، فشار، حلال تشکیل دهنده رسوب و مشخصه های هیدرودینامیکی و پتانسیل جریان و ... می باشد.

بررسی و مطالعه مقالات مختلف در مورد مسائل مربوط به رسوب آسفالتین بیانگر برخورد عمده با این مسئله در بخش های عملیات بهره برداری از نفت و همین طور در روش های ازدیاد برداشت از مخازن نفت و غالباً در تزریق های امتزاجی است.

¹ Mansoori

۲-۳- مشکلات رسوب آسفالتین در مراحل مختلف صنعت نفت

رسوب آسفالتین در برخی میداین نفتی نقاط مختلف جهان در خلال تولید و فراورش نفت از مسائل بسیار جدی محسوب می گردد. در بعضی از میداین چاه هایی وجود داشته است که در آغاز بهره برداری ۳۰۰۰ بشکه در روز دبی تولیدی داشته اند اما ظرف مدت کوتاهی پس از تولید، جریان نفت در آنها قطع شده است. هزینه تعمیر و رفع اشکال این چاه ها از لحاظ اقتصادی بسیار قابل ملاحظه است. در برخی از موارد نیز رسوب آسفالتین در داخل لوله های مغزی، مشکلات متعددی ایجاد نموده است که شستشو یا تراشیدن و تمیز کردن لوله های مغزی را جهت حفظ سطح تولید ایجاب کرده است. در یک حالت دیگر مشکلات ناشی از آسفالتین، از رسوب آن در خلال تولید اولیه گرفته تا رسوب و انعقاد آن در اثر اسید زنی به چاه ها و تزریق انیدرید کربنیک برای ازدیاد برداشت از نفت مشاهده شده است. حتی برای مخازنی که رسوب آسفالتین در خلال تولید طبیعی یا اولیه گزارش نشده بود. این رسوب در حین پروژه های ازدیاد برداشت، در لوله های مغزی چاه های تولیدی مشاهده گردیده است.

لازم به ذکر است که مقدار ذرات جامد آسفالتین برای نفت سبک و سنگین جزیره خارک، طبق گزارش آزمایشگاه واقع در مکان مذکور، به ترتیب ۱/۵ و ۳ درصد می باشد.

۲-۴- رسوبات واکسی (پارافینی)

همانطور که ذکر شد، نفت خام مخلوطی پیچیده از هیدروکربن های متعلق به خانواده های مختلف شامل پارافین ها، آروماتیک ها، نفتن ها و الفین ها است که در سه حالت جامد، مایع و بخار وجود دارند. با کاهش دما، هیدروکربن های سنگین نفت رسوب کرده و تشکیل واکس، آسفالتین و ... می دهند. نفت در حالت جامد از هیدروکربن های سنگین و نیمه سنگین، تشکیل شده است. یکی از انواع

رسوباتی که در نفت خام تشکیل می شوند، رسوبات واکسی هستند که به رسوبات پارافینی، نیز مشهورند. پارافین ها، یکی از مهمترین اجزای تشکیل دهنده نفت خام هستند.

تغییر عواملی مانند دما، فشار و ترکیب اجزای سبک در ترکیبات نفتی، سبب تشکیل رسوب های واکس پارافینی جامد در این ترکیبات می شود. رسوب واکس تشکیل شده به طور عمده شامل پارافین ها، نفتن ها و به مقدار کمی از دیگر هیدروکربورها، مانند آروماتیک ها و آسفالتین ها می باشد. تشکیل این رسوبات در مرحله اول می تواند منافذ زیرزمینی را مسدود کرده، باعث کاهش شدید نفوذ پذیری آنها شده و راندمان استخراج نفت را کاهش دهد، (فیروز آبادی^۱، ۱۹۹۹).

در مراحل بعدی نیز تشکیل رسوبات، مشکلات زیادی را به دنبال خواهد داشت. به عنوان مثال تشکیل رسوبات واکس در خطوط انتقال نفت خام، می تواند باعث گرفتگی لوله ها و افزایش مقاومت در برابر جریان و در نتیجه افت فشار جریان شده و علاوه بر افزایش توان مورد نیاز جهت پمپ نمودن سیال، موجب استهلاک زودرس تاسیسات شود. تشکیل رسوبات واکس در تجهیزات پروسسی مانند مبدل های حرارتی و خطوط لوله کاهش کارایی این تجهیزات را به دنبال دارد.

مساله تشکیل رسوب واکس و عوامل موثر بر آن، سال های متمادی مورد بحث پژوهشگران بوده و روش ها و مدل هایی جهت توصیف و پیش بینی این پدیده ارائه شده است. این مدل ها اغلب دمایی پیدایش واکس و میزان رسوب تشکیل شده را بالاتر از مقدار تجربی و آزمایشگاهی آن، تخمین می زنند.

با توجه به توضیحات یاد شده، پیش بینی دمایی تشکیل رسوبات واکس و در نظر گرفتن این دما در طراحی تجهیزات مربوط به استخراج، تولید و بهره برداری از نفت خام، اهمیت خاصی دارد. مدل سازی ترمودینامیکی، یکی از راه های بررسی این پدیده می باشد.

¹ Firoozabadi

۲-۴-۱- اجزای تشکیل دهنده واکس

واکس ها ترکیبات سنگین هیدروکربوری هستند که به طور عمده از پارافین های نرمال که محدوده عدد کربنی آنها از ۱۵ تا ۷۵ متغیر است، تشکیل شده اند. البته واکس ها دارای ترکیبات شاخه دار پارافینی، ترکیبات نفتی و گاهی به مقدار کم ترکیبات آروماتیکی نیز هستند. با توجه به این توضیحات، واکس ها را می توان به دو گروه عمده واکس های کریستال بزرگ^۱ و واکس های کریستال کوچک^۲، تقسیم کرد، (پدرسون^۳، ۱۹۹۱).

گروه اول به طور عمده از ترکیبات پارافینی با شاخه های مستقیم تشکیل شده اند که به آنها واکس های پارافینی گفته می شود. گروه دوم از ترکیباتی که دارای پارافین های شاخه دار و هم چنین نفتن ها هستند، تشکیل شده اند و به آنها واکس های نفتنی گفته می شود. واکس های گروه اول، ارزش بیشتری به نسبت واکس های گروه دوم دارند. پارافین های نرمال اولین اجزایی هستند که در شرایط مناسب رسوب می کنند، ولی رسوب پارافین های شاخه دار با تاخیر همراه است.

۲-۴-۲- درجه حرارت های کلیدی در مورد واکس ها

پدیده تشکیل رسوبات واکس، معمولاً بوسیله سه نقطه (درجه حرارت) مهم مشخص می گردد:

۱- نقطه ابری شدن^۴

۲- نقطه ریزش^۵

۳- نقطه ذوب

^۱ Macrocrystalline

^۲ Microcrystalline

^۳ Pederson

^۴ Cloud Point

^۵ Pour Point

نقطه ابری شدن دمایی است که در آن اولین کریستال های واکس شکل می گیرند. همان گونه که قبلاً نیز توضیح داده شد، اولین رسوبات تشکیل شده، ترکیبات پارافینی با شاخه های مستقیم می باشند. این درجه حرارت به دمای ظهور واکس^۱ معروف است. نقطه ریزش، دمایی است که مخلوط موجود در یک ظرف، در صورت قرار گرفتن در وضعیت افقی، جریان نداشته باشد. این نقطه کاربرد صنعتی مهمی دارد و یکی از مشخصه های واکس های صنعتی و یا روغن های صنعتی (که شامل مقداری ترکیبات واکسی هستند) می باشد. روش های استاندارد توسط موسسات معتبر، جهت اندازه گیری این دما، ارائه شده است. نقطه ذوب نیز درجه حرارتی است که یک ماده خالص به مایع تبدیل می گردد. برای یک ماده خالص، نقطه ابری شدن و نقطه ذوب با هم برابر هستند و برای یک مخلوط، این نقاط تفاوت اندکی با هم دارند. با توجه به توضیحات ارائه شده، تشخیص نقطه ابری شدن، اهمیت خاصی در مدل سازی پدیده تشکیل رسوب واکس دارد، (طباطبایی، ۱۹۹۹).

۲-۴-۳- عوامل موثر در تشکیل رسوب واکس

اگر چه نقطه ابری شدن و نقطه ریزش، خواص ترمودینامیکی مشخصی برای ترکیبات نفتی دارای واکس هستند، میزان رسوب تشکیل شده و تجمع آن، به فاکتورهای مختلفی بستگی دارد که از جمله مهمترین این فاکتور ها عبارتند از:

ترکیب^۲ سیال، دمای ترکیب و سرعت سرد شدن، فشار ترکیب، غلظت پارفین ها، و جرم مولکولی پارافین ها. تحقیقات انجام شده نشان می دهد که تشکیل رسوب واکس در مراحل اولیه، حساسیت بسیار زیادی به ترکیب سیال و دما، دارد، (فیروز آبادی، ۱۹۹۹).

^۱Wax Appearance Temp

^۲ Composition

فصل سوم

تعیین میزان تشکیل رسوب آسفالتین



۳-۱- مقدمه

همانطور که در فصول قبل مختصری ذکر گردید، تمامی ذرات آسفالتین، الزاماً ته نشین نمی شوند، پس نمی توان آنها را رسوب جمع شده در کف مخزن نامید، بلکه به آنها ذرات جامد جمع شده در نفت^۱ اطلاق می شود. این ذرات اغلب کروی شکل بوده و دارای چگالی بین ۱/۰۵ تا ۱/۱۰، $\frac{gr}{cm^3}$ می باشند. علت اینکه وزن مولکولی ذرات آسفالتین بیشتر از ذرات نفت خام می باشد، وجود ملکول های آسفالتین و رزین می باشند، چرا که این ملکول ها سنگین ترین ملکول های تشکیل دهنده نفت خام می باشند. رزین ها معمولاً چگالی ۰/۹۵ تا ۱ $\frac{gr}{cm^3}$ و آسفالتین ها دارای چگالی بین ۱/۱ تا ۱/۲ $\frac{gr}{cm^3}$ می باشند. به واسطه همین بالا بودن چگالی، ذرات آسفالتین، به واسطه نیروی وزنشان و با شرط کم بودن میزان جریان و نیروی برشی، در تانک های ذخیره نفت خام، ته نشین می گردند. بعضی از این ذرات آن قدر بزرگ هستند که ممکن است بر نیرو های جریان و برشی غلبه کرده و در جدا کننده ها و یا حتی لوله ها ته نشین شوند. در محاسبات، طبق منابع موجود چگالی ذره آسفالتین در حال ته نشینی، ۱/۰۶ $\frac{gr}{cm^3}$ در نظر گرفته شده است، (لنتاریتیس^۲، ۲۰۰۵).

در این بخش، فرایند ته نشینی ذرات آسفالتین تشریح گردیده است. به این منظور به یک توزیع اندازه ذرات آسفالتین نیازمندیم که یک توزیع اندازه ذرات آسفالتین که دارای شرایط مشابه برای مخزن می باشد، انتخاب شده است، (لنتاریتیس، ۲۰۰۵).

لخته شدن آسفالتین در نفت خام با کاهش فشار، افزایش می یابد و در مجموع می توان گفت که عمل لخته شدن آسفالتین، به تغییرات دما حساس نمی باشد و در حقیقت تغییر دما، تاثیری بر میزان لخته شدن آسفالتین ندارد. لخته شدن آسفالتین می تواند هم برگشت پذیر و هم برگشت ناپذیر باشد. طبق دریافت اطلاعات از آزمایشگاه مرکزی شرکت پایانه های نفتی خارک، ۱/۵٪ از نفت خام سبک و

^۱ Precipitation particle

^۲ Leontaritis

۳٪ از نفت خام سنگین را ذرات جامد آسفالتین معلق در نفت، تشکیل می دهند. لازم به ذکر است که درصد ها، درصد وزنی نفت خام هستند.

از آن جایی که ذرات واکس و آسفالتین اغلب به شکل کروی می باشند، می توان با استفاده از قانون استوکس، یک تئوری ساده برای فرایند ته نشینی پیشنهاد کرد. البته با استفاده از قانون استوکس و برخی روابط مربوط به انتقال جرم، مدل مناسب تری مطرح گردیده است. توزیع اندازه ذرات آسفالتین و همچنین مقدار ذرات جامد آسفالتین باید از قبل مشخص باشد، تا بتوان این مدل را اجرا نمود.

۳-۲- قانون استوکس^۱

جورج گابریل استوکس^۲، یک ریاضیدان ایرلندی است که روابط مربوط به حرکت یک ذره کروی شکل در سیال را به دست آورد، شکل (۱-۳).



شکل (۱-۳) جورج گابریل استوکس، (www.wikipedia.org)

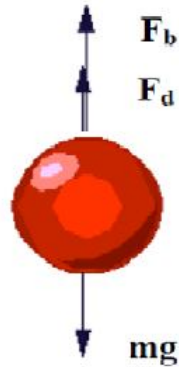
استوکس بیان کرد که در سقوط یک ذره کروی شکل در یک سیال، مقدار نیروی درگ اصطکاکی از رابطه زیر به دست می آید:

$$F_f = f v = 6 \pi r_p \mu v \quad (1-3)$$

¹ Stoke's Law

² George Gabriel Stokes

که در آن μ ویسکوزیته سیال، v سرعت ته نشینی ذره و r_p شعاع ذره می باشد. دیاگرام پایداری یک ذره کروی شکل را می توان در شکل (۲-۳)، مشاهده نمود.



شکل (۲-۳) دیاگرام پایداری ذره کروی شکل

در هنگام تعادل نیروها، بالانس نیروها برای شکل فوق به شکل زیر است:

$$F_b + F_d = mg \quad (۲-۳)$$

نیروی شناوری از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$F_b = \frac{4}{3}\pi r_p^3 \rho_f g \quad (۳-۳)$$

همچنین داریم:

$$mg = \frac{4}{3}\pi r_p^3 \rho_p g \quad (۴-۳)$$

پس از جایگزینی داریم:

$$\frac{4}{3}\pi r_p^3 \rho_f g + 6\pi\mu v r_p = \frac{4}{3}\pi r_p^3 \rho_p g \quad (۵-۳)$$

ذرات کروی در یک سیال ساکن، تحت تاثیر نیروی وزنشان، میل به ته نشینی دارند. در این حالت ترکیب نیروی شناوری و وزن جسم یک نیروی به شکل زیر ایجاد می کند:

$$F_g = \frac{4}{3}\pi r_p^3 (\rho_p - \rho_f) g \quad (۶-۳)$$

نیروی وزن که منجر به ته نشینی ذره می گردد، مقدار ثابتی است، در حالی که نیروی اصطکاک که از سقوط ذره جلوگیری می کند، به سرعت سقوط ذره وابسته می باشد.

در حالت حدی در یک سرعت ثابت مقادیر نیروی F_g و F_f برابر می گردند. این مقدار سرعت از رابطه زیر که از برابری روابط قبل حاصل گردیده، به دست می آید.

$$v = \frac{2}{9} (\rho_p - \rho_f) \frac{gr_p^2}{\mu} \quad (7-3)$$

لازم به ذکر است که به دست آوردن روابط فوق، شامل محدودیت هایی می باشد که در زیر بیان شده است:

- ۱- نیروی وزن مقدار ثابتی بوده است.
 - ۲- ذرات ته نشین شده دارای شکل کروی می باشند.
 - ۳- هیچگونه نفوذ و یا انتشار وجود ندارد، بدین معنی که ته نشینی یک ذره، تحت تاثیر سایر ذره ها قرار ندارد.
 - ۴- هیچگونه جریانی در سیال وجود ندارد.
- فرض های ۳ و ۴ از قانون استوکس سرچشمه می گیرند.

۳-۳- مدل تعادل ته نشینی

مدل دیگری که برای فرایند ته نشینی ذرات معلق پیشنهاد می شود، معادلات مفید تری را در اختیار ما قرار می دهد.

در این مدل فرض شده است که هیچگونه جریانی در مخزن وجود ندارد، ذرات نیز تحت تاثیر نیروی وزن خود، شروع به ته نشینی می کنند و تحت تاثیر گرادیان غلظت، به سمت بالا پخش می شوند. نیروی اصطکاک و نیروی وزن، هیچ کدام قابل مشاهده نمی باشند و در حقیقت میکروسکپی

هستند. در حالت تعادل نیز این دو نیرو یکدیگر را خنثی می کنند بدون اینکه در ظاهر چیزی مشاهده شود.

در شرایط تعادل، در هر ارتفاعی از مخزن، مقدار ته نشین شدن باید با مقدار پخش به سمت بالا در همان ارتفاع برابر باشد. این جریان پخش که ناشی از ته نشینی، که خود ناشی از نیروی وزن است، از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$\Psi_g = vc \quad (۸-۳)$$

که در آن v ، سرعت ته نشینی و c ، غلظت در ارتفاع داده شده است.

ذراتی که ته نشین می شوند، تحت تاثیر دو نیروی وزن، F_g و نیروی اصطکاک، F_f ، در خلاف جهت آن، قرار دارند. معادلات فوق با کمی تفاوت به شکل زیر بیان می شود:

$$F_g = m_p \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g \quad (۹-۳)$$

نیروی اصطکاک نیز از رابطه زیر حاصل می گردد:

$$F_f = f_1 v + f_2 v^2 + f_3 v^3 + \dots \quad (۱۰-۳)$$

برای مقادیر کم سرعت ته نشینی، مانند سرعت ته نشینی ذرات واکس و آسفالتین، می توان از بخش های غیر خطی معادله فوق صرف نظر کرد، (لنتاریتیس، ۲۰۰۵). اکنون نیرو های وزن و اصطکاک را برابر قرار می دهیم.

$$m_p \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g = f v \quad (۱۱-۳)$$

حال از معادله فوق، سرعت ته نشینی را در معادله مربوط به جریان پخش، جایگزین می کنیم تا مقدار پخش در اثر نیروی وزن بدست آید:

$$\Psi_g = \left[m_p \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g c \right] / f \quad (۱۲-۳)$$

۳-۴- قوانین پخش فیک^۱

انتقال جرم در طبیعت به دو مکانیزم صورت می گیرد. اولی پخش (نفوذ) و دومی جریان سیال می باشد. انتقال جرم با مکانیزم پخش، با استفاده از قوانین فیک، تشریح می گردد.

آدولف فیک در سال ۱۸۲۹ متولد شد، (شکل ۳-۳). او شیفته ریاضیات بود اما به توصیه برادر بزرگترش که یک متخصص آناتومی بود، به رشته پزشکی سوق داده شد. لازم به ذکر است که بیشتر کار علمی وی در رشته فیزیولوژی بود و نه در زمینه انتقال جرم.



شکل (۳-۳) آدولف فیک، (www.wikipedia.org)

قانون اول پخش فیک^۲، شار جریان پخش را برای یک سیال شیمیایی نا همگن، بیان می کند. برای یک سیستم یک بعدی، شار جریان پخش ماده حل شونده در محلول، از رابطه زیر حاصل می گردد:

(تیلور و کریشنا^۳، ۱۹۹۳)

$$J = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (۱۳-۳)$$

^۱ Fick's law of diffusion

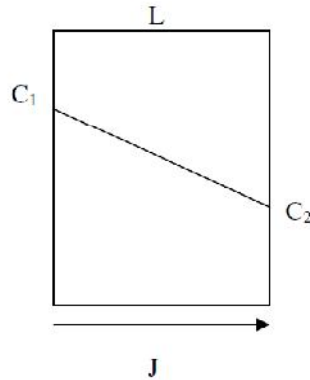
^۲ Fick's first law of diffusion

^۳ Taylor and Krishna

که در آن J : شار جریان پخش، D : ضریب پخش^۱ (نفوذ)، C : غلظت و x : مکان می باشد.

لازم به ذکر است که D ، با دما و ویسکوزیته سیال و اندازه ذرات رابطه دارد.

در حالت پایدار، پخش جرم مطابق شکل زیر ترسیم می گردد.



شکل (۳-۴) پخش جرم در حالت پایدار

$$J = D \frac{(C_1 - C_2)}{L} \quad (۱۴-۳)$$

قانون دوم پخش فیک^۲، از ترکیب قانون اول فیک و معادله پیوستگی حاصل می گردد، که در

حالت یک بعدی به شکل زیر می باشد: (تیلور و کریشنا^۳، ۱۹۹۳)

$$\frac{\delta c}{\delta t} = -\frac{\delta}{\delta x} J = \frac{\delta}{\delta x} \left(D \frac{\delta c}{\delta x} \right) \quad (۱۵-۳)$$

(

طبق قانون اول پخش فیک، شار جریان پخش برای ذرات آسفالتین تعیین می شود:

$$\Psi_d = -D \left(\frac{\partial c}{\partial h} \right) \quad (۱۶-۳)$$

که در آن D ، ضریب پخش بر حسب $\frac{m^2}{s}$ و h ، ارتفاع می باشد.

^۱ Diffusion coefficient

^۲ Fick's second law of diffusion

^۳ Taylor and Krishna

همانطور که ذکر گردید، در حالت تعادل، هر دو شار که در بالا تشریح گردیده اند، با یکدیگر برابر هستند، که از برابر قرار دادن معادلات آنها، به رابطه زیر می رسیم.

$$\left[\frac{m_p \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g c}{f} \right] = -D \left(\frac{\partial c}{\partial h} \right) \quad (17-3)$$

پس از انتگرال گیری از معادله فوق، به معادله زیر می رسیم:

$$\ln \frac{c}{c_{ref}} = \left[-m_p \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g (h - h_{ref}) \right] / D f \quad (18-3)$$

عبارت فوق یک توزیع تعادل برای ته نشینی ذرات در سیال را بیان می کند.

۳-۵- رابطه استوکس - انیشتین^۱ برای تعیین ضریب نفوذ

این معادله برای محاسبه ضریب نفوذ استفاده می شود و به شکل زیر بیان می گردد:

$$D = \frac{K_B T}{f} = \frac{K_B T}{6\pi\mu r_p} \quad (19-3)$$

که K_B ، ثابت بولتزمن و T ، دما بر حسب کلوین می باشد. (مایسلز^۲، ۱۹۷۸، الفن^۳، ۱۹۳۸)

$$K_B = 1.38048 \text{ J/k}$$

معادله فوق که یک رابطه تئوری و بسیار ساده می باشد، تنها باید در شرایطی به کار می رود که اندازه ملکول های ذرات جامد، بزرگتر از ذرات محلول باشد، (اوانس^۴ و همکارانش، ۱۹۸۱) که چنین شرایطی برای ذرات واکس و آسفالتین وجود دارد، (حداقل پنج برابر اندازه مولکول حلال). بار دیگر

¹ Stokes-Einstein law of diffusion

² Mysels

³ Olphen

⁴ Evans

متذکر می شویم که رابطه استوکس - انیشتین، برای محلول های کلوئیدی به دست آمده است یعنی ضریب نفوذ ذرات کلوئیدی (نه مولکول) در یک محلول را محاسبه می کند.

نیروی درگ اصطکاکی که طبق قانون استوکس بر ذره کروی شکل وارد می شود، به این ترتیب به دست می آید:

$$Drag\ Force = fv \quad (20-3)$$

که f ، ضریب اصطکاک می باشد که طبق قانون استوکس، به شکل زیر می باشد:

$$f = 6\pi\mu r_p \quad (21-3)$$

پس رابطه استوکس - انیشتین بیان می کند که:

$$Df = K_B T \quad (22-3)$$

اکنون به ادامه روند تعیین مدل ته نشینی، می پردازیم.

با جایگزینی معادله فوق در معادله مربوط به توزیع تعادل برای ته نشینی ذرات، داریم:

$$\ln \frac{c}{c_{ref}} = \left[-m_p \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g(h - h_{ref}) \right] / K_B T \quad (23-3)$$

این معادله برای محاسبه توزیع ذرات بسیار مناسب و راحت می باشد، زیرا به دانستن ضرایب نفوذ و اصطکاک و ویسکوزیته، نیازی ندارد.

بخش های معادله فوق را می توان کاملاً ماکروسکوپی کرد. این کار با تبدیل K_B و m به عدد آواگادرو (N_A)، وزن ملکولی (MW) و ثابت جهانی گازها (R) انجام می شود.

پس معادله فوق به شکل زیر تبدیل می گردد.

$$\ln \frac{c}{c_{ref}} = \left[-MW \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g(h - h_{ref}) \right] / RT \quad (24-3)$$

که در آن:

$$MW = \frac{4}{3}\pi(N_A)\rho_p r_p^3 \quad (25-3)$$

$$N_A: \text{عدد آواگادرو، } 6/0225 \times 10^{23}$$

$$g: \text{شتاب گرانش، } 980/665 \frac{cm}{sec^2}$$

$$R: \text{ثابت جهانی گاز ها، } 82/057 \frac{cm^3 \cdot atm}{Kmol \cdot ^\circ K}$$

T: دما بر حسب کلوین

برای داشتن شرایط ته نشینی، با استفاده از دو معادله آخر، می توان یک اندازه بحرانی ذره و یا وزن ملکولی بحرانی ذره^۱ را به دست آورد، که این اندازه بحرانی در حقیقت کوچکترین اندازه ذره است که تحت نیروی وزنش ته نشین می شود.

یکی از معیار های ته نشینی، تعیین تغییر غلظت ذرات، $\frac{c}{c_{ref}}$ در یک تغییر معین $h - h_{ref}$ می باشد. در حقیقت این معیار بیان می کند که با افزایش ارتفاع مخزن، مقدار غلظت ذرات در حال ته نشینی، با چه سرعتی کاهش می یابد. در این جا با توجه به پیشنهاد مرجع، (لنتاریتیس، ۲۰۰۵)، برای ذرات آسفالتین از مقادیر زیر استفاده شده است:

آسفالتین:

$$\frac{c}{c_{ref}} = 0.001 \quad , \quad h - h_{ref} = 0.001 \text{ cm}$$

برای به دست آوردن درصد ذرات در حال ته نشینی و درصد ذرات معلق که ته نشین نمی شوند، مقدار کل آسفالتین و همچنین توزیع اندازه ذرات آسفالتین باید معین باشد. توزیع اندازه ذرات از طریق آزمایش به دست می آید.

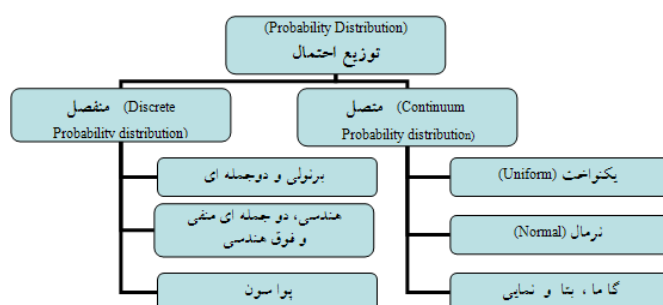
^۱ MW_{crit}

قبل از هر چیز به دلیل اینکه توزیع اندازه ذرات را با استفاده از علم آمار و احتمال بیان می کنند، مختصری از بخش های مورد نیاز از این علم، در زیر تشریح گردیده است.

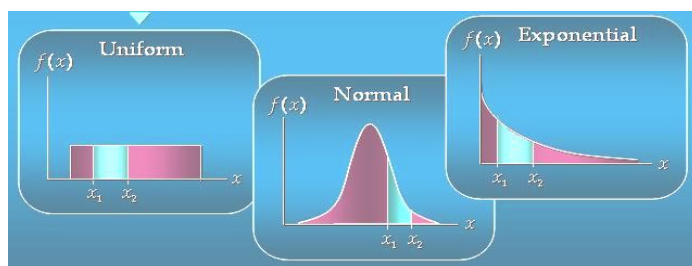
۳-۶- متغیرهای متصل و انواع توزیع های احتمالی آن

۳-۶-۱- متغیر تصادفی متصل^۱

همانطور که مشهود است، انواع توزیع احتمال منفصل (گسسته)، دوجمله ای، هندسی و پواسون، و انواع توزیع احتمالی متصل (پیوسته)، نرمال، یکنواخت و نمایی می باشند. بیشترین اهمیت را باید برای توزیع گاما قائل شده و ضروری است که این توزیع به دلیل ارتباط آن با توزیع اندازه ذرات جامد واکس و آسفالتین، بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. در شکل زیر انواع توزیع های احتمال ترسیم گردیده اند، (جانسون، ۱۳۸۵).



شکل (۳-۵) انواع توزیع های احتمال، (جانسون، ۱۳۸۵)



شکل (۳-۶) ترسیمی از انواع توزیع های احتمال، (جانسون، ۱۳۸۵)

¹ Continuous random variable

فرض کنید شما به دانستن احتمال وقوع یک تصادف در اتوبانی به طول ۵۰ کیلومتر یا احتمال وقوع یک تصادف در نقطه یا فاصله مشخصی از آن علاقمند باشید. همچنین فرض کنید که احتمال وقوع تصادف در هر نقطه از این اتوبان با هر نقطه دیگر آن برابر باشد. فضای نمونه این رویداد، پیوستاری از تمام نقاط اتوبان بین کیلومتر صفر تا ۵۰ می باشد. احتمال اینکه در هر کیلومتر از این اتوبان تصادفی به اندازه y رخ دهد برابر با $\frac{1}{50}y$ است، مثلاً احتمال اینکه تصادف در مکانی بین کیلومتر ۱۰ تا ۴۰ رخ دهد برابر $\frac{1}{6}$ است. به عبارت دیگر خواهیم داشت:

$$P(10 \leq y \leq 40) = \frac{30}{50} = \frac{3}{5} = 0.6$$

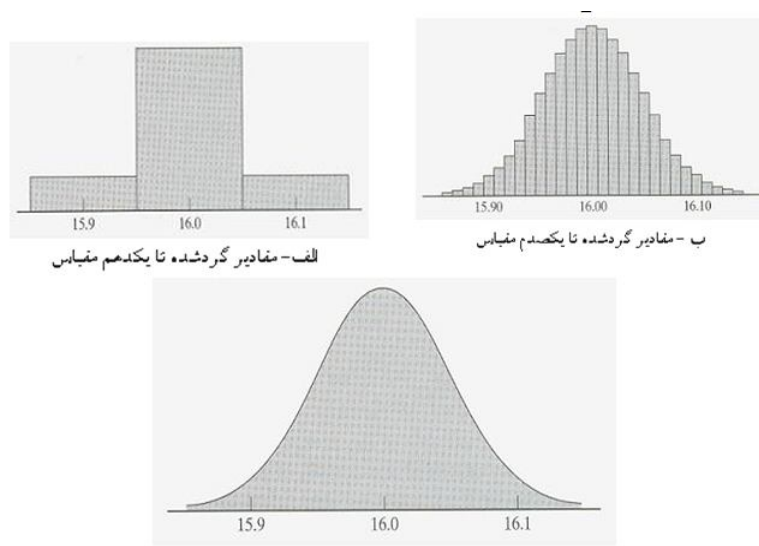
0 10 20 30 40 50 Km

بدیهی است هرچه فاصله کوتاهتر شود، احتمال وقوع رویداد از روی مساحت متناظر به آن نیز کوچک تر می شود. مثلاً احتمال این که یک تصادف در فاصله کوچکی مانند یک متر روی دهد برابر است با:

$$\frac{0.001}{50} = 0.0002$$

به همین ترتیب وقتی فاصله ها کوچک و کوچکتر مثلاً به یک سانتی متر می رسند، احتمال آنها نیز به طرف صفر گرایش پیدا کرده و احتمال در آن فواصل کوچک صفر، و از حالت گسسته تبدیل و نزدیک به پیوسته می شود. مجموع مساحت مستطیل ها که معرف احتمال است با مساحت ناحیه بین دو نقطه از منحنی یا در یک فاصله^۱ مشخص مساوی می شود. در واقع، در حالت پیوسته احتمال نقطه همیشه صفر تلقی می شود، این به این معنی نیست که هیچ رویدادی در آن نقطه اتفاق نمی افتد، زیرا که در یک فاصله طولانی اتوبان هر رویداد در نهایت در نقطه ای اتفاق می افتد.

^۱ Interval



شکل (۳-۷) توزیع احتمال برای متغیرهای ناپیوسته و پیوسته و روند تشکیل آن، (جانسون، ۱۳۸۵)

۳-۶-۲- تابع توزیع و تابع چگالی

نوعی از متغیر تصادفی که در هر لحظه بتواند یک مقدار در یک فاصله مشخص به خود بگیرد (مانند احتمال وقوع تصادف در هر فاصله از یک اتوبان)، به متغیر پیوسته^۱ موسوم است. برای بیان یک تعریف رسمی از یک متغیر تصادفی پیوسته نخست باید تابع توزیع^۲ آنرا تعریف کرد. اگر Y یک متغیر تصادفی باشد، تابع توزیع Y را که به $F(y)$ نشان می دهند عبارت است از:

$$F(y) = P(Y \leq y) \quad \text{for} \quad -\infty < y < \infty \quad (۳-۲۶)$$

حال به نکته جالب دیگری در نظریه های احتمالات و آمار توجه کنید: اگر به فرض، تابع توزیع $F(y)$ برای یک متغیر تصادفی Y پیوسته باشد، مشتق $F(y)$ یک تابع مهم دیگری مانند $f(y)$ می شود که :

$$f(y) = \frac{dF(y)}{dy} = F'(y) \quad (۳-۲۷)$$

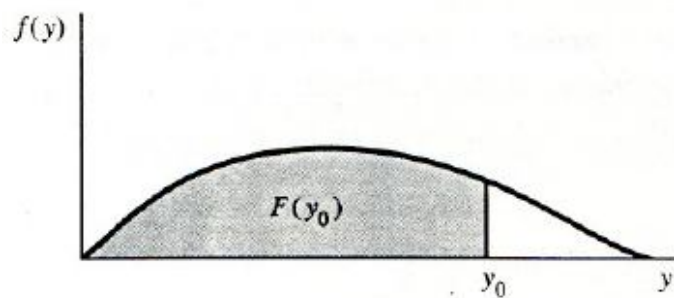
^۱ Continuous

^۲ Cumulative distribution function

به شرط وجود مشتق، این منحنی را تابع چگالی احتمال^۱ متغیر تصادفی Y گویند، یعنی با توجه به تعاریف فوق، می‌توان $F(y)$ را به صورت زیر نوشت:

$$F(y) = \int_{-\infty}^y f(t) dt \quad (28-3)$$

که در آن $f(y)$ تابع چگالی احتمال و t یک متغیر انتگرال است. رابطه بین یک تابع توزیع و تابع چگالی آن را می‌توان به صورت شکل زیر ترسیم کرد.



شکل (۳-۸) رابطه بین یک تابع توزیع و تابع چگالی، (جانسون، ۱۳۸۵)

تابع چگالی احتمال، یک مدل نظری برای توزیع فراوانی اندازه‌هایی از جمعیت یک جامعه (مانند عمر مفید یک لامپ) است. و چون، $F(y)$ برای هر متغیر تصادفی Y یک تابع غیرکاهشی می‌باشد، انباشت یا انتگرال^۲ و مشتق $f(y)$ نیز همیشه غیر منفی و $F(+\infty)=1$ است، در نتیجه:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1 \quad (29-3)$$

هم چنان که ذکر شد خواص یا ویژگی‌های تابع چگالی احتمالی را می‌توان به صورت روابط زیر تعریف کرد: یک تابع چگالی $f(y)$ (برای هر مقداری از y)، دارای دو خاصیت است:

$$f(y) \geq 0 \quad \text{for any value of } y \quad (30-3)$$

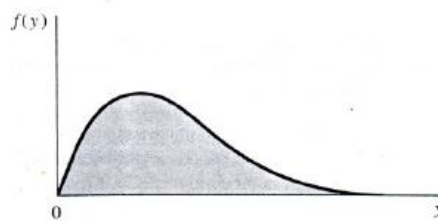
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(y) dy = 1 \quad (31-3)$$

¹ Probability density function

² Integration

۳-۶-۳- توزیع احتمالی گاما^۱

بعضی از متغیرهای تصادفی به دلایل مختلف همیشه غیر منفی بوده و دیتای آنها طوری است که شکل تابع توزیع آنها غیر متقارن و به سمت راست چولگی نشان می دهند. یعنی تراکم یا مقدار بیشتر مساحت تابع چگالی نزدیک به مبدأ مختصات بوده و این تراکم (مانند تابع احتمالی چوله شکل زیر) با افزایش تدریجی y کاهش می یابد.



شکل (۳-۹) تابع احتمالی چوله شکل

به عنوان مثال، طول زمان بین خرابی های موتور یک هواپیما دارای توزیع فراوانی چوله است. به همین ترتیب طول زمان بین ورود مشتری ها به صف باجه های پرداخت پول در فروشگاه های بزرگ، یا طول زمان تکمیل سرویس و تعمیرات موتور اتومبیل ها یا هواپیماها و نهایتاً توزیع اندازه ذرات آسفالتین و واکس، دارای یک توزیع فراوانی چوله می باشند. جمعیت جوامع مربوط به این متغیرهای تصادفی اغلب دارای نوعی توزیع هستند که با تقریب کافی آنها را می توان با یک تابع چگالی گاما مدل سازی کرد.

طبق تعریف یک متغیر تصادفی Y دارای توزیع گاما با پارامترهای $\alpha > 0$ و $\beta > 0$ است اگر و فقط اگر تابع چگالی Y آن به صورت زیر باشد:

$$f(y) = g(y, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{y^{\alpha-1} e^{-y/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} & ; \quad 0 \leq y < \infty \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3-32)$$

که در آن:

¹ The Gamma probability distribution

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3-33)$$

و مقدار $\Gamma(\alpha)$ موسوم به تابع گاما است.

انتگرال گیری مستقیم نشان می دهد که $\Gamma(1)=1$ بوده و انتگرال گیری قسمت ها برای هر مقداری از $\alpha \geq 1$ مقدار $\Gamma(\alpha) = (\alpha-1)\Gamma(\alpha-1)$ و نیز مقدار $\Gamma(n) = (n-1)!$ وقتی n عدد صحیح باشد، را تایید می کند.

توجه شود که شکل چگالی گاما برای مقادیر مختلف α و β متفاوت بوده و به همین دلیل گاهی اوقات، پارامتر α به پارامتر شکل^۱ یک توزیع گاما و پارامتر β معمولاً به پارامتر مقیاس^۲ معروف است (چون از حاصلضرب یک متغیر تصادفی توزیع گاما در یک عدد ثابت مثبت یعنی تغییر مقیاس تابعی که روی آن اندازه گیری صورت می گیرد)، یک متغیر تصادفی که دارای توزیع گاما با همان مقدار α (پارامتر شکل) اما با مقدار متفاوت β است، تولید می شود.

لازم به ذکر است که اگر Y دارای توزیع گاما با پارامترهای α و β باشد، سپس میانگین و واریانس آن عبارت است از:

$$\mu = \alpha\beta \quad \text{و} \quad \sigma^2 = \alpha\beta^2$$

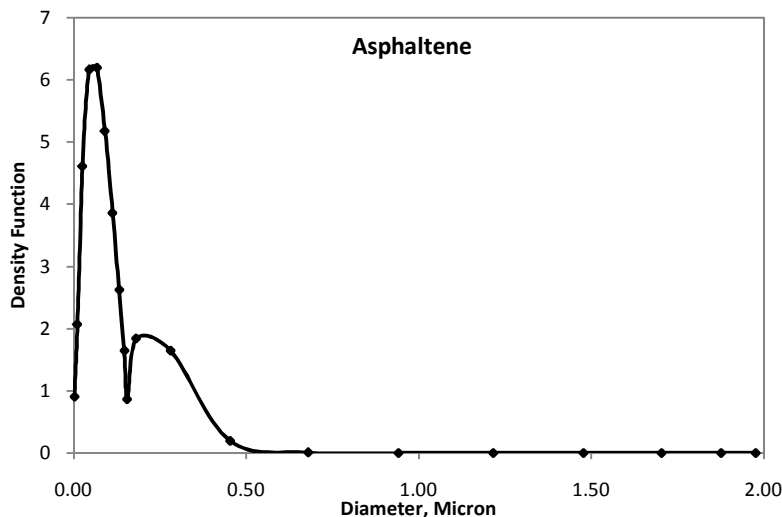
۳-۷- توزیع اندازه ذرات آسفالتین

برای بیان توزیع اندازه ذرات آسفالتین، از تابع چگالی گاما استفاده می شود. در حقیقت برای آنکه بدانیم که در یک شرایط دمایی مشخص، چه مقدار ذرات آسفالتین در حال ته نشینی هستند، باید احتمال اینکه ذرات در بازه قطر بحرانی تعیین شده قرار داشته باشند را محاسبه کنیم. از آنجایی که تابع چگالی گاما برای ذرات آسفالتین در شرایط مخزن را داریم، با توجه به توضیحات مربوط به بخش قبل، می توان با انتگرال گیری در بازه قطر بحرانی تا بینهایت، بر روی تابع چگالی، این احتمال را به

¹ Shape parameter

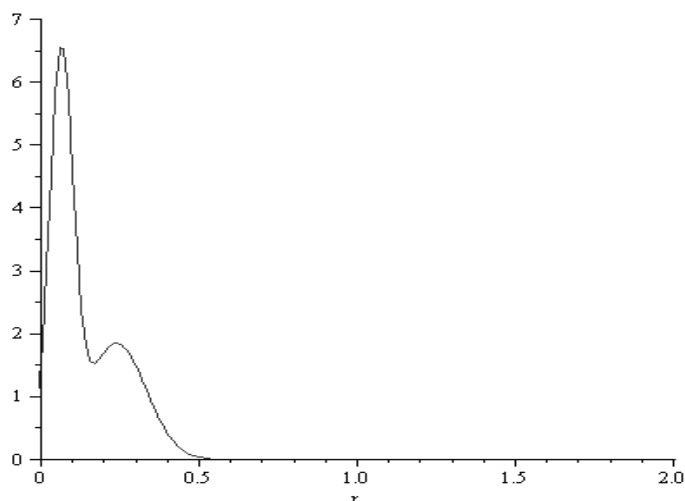
² Scale parameter

دست آورد. نمودار تابع چگالی برای ذرات آسفالتین در نمودار زیر (شکل ۳-۱۰)، آورده شده است،
(لنتاریتیس، ۲۰۰۵):



شکل (۳-۱۰) نمودار تابع چگالی گاما برای ذرات آسفالتین

به منظور انجام محاسبات ابتدا باید یک معادله برای نمودار فوق به دست آورد. این عمل با استفاده از نرم افزار های مطلب^۱ و میپل^۲، انجام گردید که نمودار آن به همراه معادله قرار داده شده بر آن مطابق شکل (۳-۱۱)، می باشد.



شکل (۳-۱۱) نمودار معادل نمودار تابع چگالی ذرات آسفالتین

¹ Matlab

² Maple

$$y = 6.324e^{-\left(\frac{x-0.06387}{0.05315}\right)^2} + 1.853e^{-\left(\frac{x-0.2393}{0.1319}\right)^2} \quad (3-34)$$

۳-۸- ضریب فشردگی ذره^۱

فضای خالی بین ذرات ته نشین شده آسفالتین و یا واکس، به وسیله مایع اطراف پر می شوند. این مایع در حقیقت همان نفت خام می باشد، پس این مقدار نفت خام نیز باید در محاسبات مقدار رسوب در مخزن محاسبه شود و در حقیقت جزئی از میزان رسوب می باشد. بررسی این موضوع با تعریف ضریب فشردگی ذره، ارتباط دارد.

درصد حجمی اشغال شده توسط ذره، ضریب فشردگی ذره نامیده می شود. در حقیقت ضریب فشردگی در مقابل تخلخل می باشد. تخلخل درصد حجمی فضای خالی هسته در حال ته نشینی می باشد.

$$Packing Factor \equiv PF \equiv \frac{Volume\ of\ Particle}{Volume\ of\ Unit\ Cell} = 1 - Porosity \quad (3-37)$$

برای ذرات کروی آسفالتین، ضریب فشردگی متناسب با اینکه ذرات چگونه قرار گرفته اند، با مدل های مختلفی محاسبه می شوند. تعدادی از تحقیق های انجام شده، مقدار ضریب فشردگی را برای ذرات آسفالتین در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۵۲ در نظر گرفته اند. به دلیل اینکه ته نشینی تنها تحت اثر نیروی وزن انجام می گیرد و هیچ فشردگی دیگری وجود ندارد، و با توجه به این که ضریب فشردگی با تغییر ارتفاع در مخزن، تغییر می کند، ما می توانیم از عبارت میانگین ضریب فشردگی استفاده کنیم. لنتاریتیس در سال ۲۰۰۵، ضریب فشردگی برای ذرات آسفالتین در شرایط مخزن، ۰/۳۵ در نظر گرفت.

¹ Packing Factor

۳-۹- مدت زمان لازم برای ته نشینی

اگر با استفاده از روابط فوق میزان ذرات آسفالتین که در حال ته نشینی هستند را محاسبه کنیم، به مقادیر بیشتری از مقدار واقعی می‌رسیم. این در حالی است که ما این میزان رسوب را برای یک روز محاسبه می‌کنیم، در حالی که ۲۴ ساعت فرصت لازم برای ته نشینی تمامی ذرات نمی‌باشد و تنها بخشی از این مقدار ته نشین و تبدیل به رسوب کف مخزن می‌شود. در ادامه به روند محاسبه این درصد، که باید در نتیجه آخر ضرب شود، می‌پردازیم.

همان طور که ذکر گردید، سرعت ته نشینی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$v = \frac{2}{9} (\rho_p - \rho_f) \frac{gr_p^2}{\mu} \quad (3-38)$$

لازم به ذکر است که به دست آوردن رابطه فوق، شامل محدودیت‌هایی می‌باشد که در زیر بیان می‌شود:

- ۱- نیروی وزن مقدار ثابتی بوده است.
 - ۲- ذرات ته نشین شده دارای شکل کروی می‌باشند.
 - ۳- هیچگونه پخش و یا انتشار وجود ندارد، بدین معنی که ته نشینی یک ذره، تحت تاثیر سایر ذره‌ها قرار ندارد.
 - ۴- هیچگونه جریانی در سیال وجود ندارد.
- اکنون فرض می‌کنیم که مخزن تا ارتفاع ۱۰ متر، پر باشد. در نتیجه حجم نفت خام موجود در مخزن عبارت است از:

$$\frac{10}{11.33} \times 1,000,000 = 882.612.53 \text{ barrel}$$

با استفاده از رابطه زیر می توان به طور تقریبی زمان ماندن ۴۰ هزار بشکه نفت خام ورودی در یک روز، در مخزن تا ارتفاع ۱۰ متر را محاسبه کرد.

$$\frac{882,612.53}{40,000} = 22.065 \text{ Day}$$

اکنون فرض می کنیم که تمامی ذرات در حال ته نشینی در ارتفاع ۵ متر (مرکز مخزن)، قرار داشته باشند. با دانستن سرعت ته نشینی و استفاده از رابطه زیر می توان ضریبی که باید در نتایج آخر ضرب شود را به دست آورد.

$$x = \frac{22.065}{500/v} \quad (3-39)$$

لازم به ذکر است که v در رابطه فوق، $\frac{cm}{Day}$ می باشد.

با مباحث مطرح شده در این فصل می توان مقدار تشکیل رسوب ذرات آسفالتین را برای یک مخزن، مشابه مخازن ذخیره نفت جزیره خارک، محاسبه نمود.

در ادامه به منظور آشنایی بیشتر با روند حل طبق الگوریتم فوق، محاسبات مربوط به مخزن ۲۸ که حاوی نفت خام سبک می باشد، برای ذرات آسفالتین، آورده شده است.

۳-۱۰- محاسبات مربوط به میزان رسوب آسفالتین در مخزن ۲۸

در این بخش ابتدا قطره بحرانی ذره برای آسفالتین در یک دمای مشخص و مشخصات نفت خام سبک موجود در مخزن ۲۸، حاصل گردیده و سپس روند محاسبه مقدار رسوب آسفالتین در این شرایط تشریح گردیده است.

نفت سبک موجود در مخزن ۲۶ دارای چگالی $0.8583 \frac{gr}{cm^3}$ می باشد. همانطور که ذکر گردید، چگالی ذره آسفالتین در حال ته نشینی را $1.06 \frac{gr}{cm^3}$ در نظر می گیریم.

هدف از کار حاضر تعیین تغییرات رسوب مخازن با تغییرات دمای مخزن که با تابش خورشیدی در طی روز تغییر می کند، می باشد که ما در این قسمت ابتدا میزان رسوب را برای دمای ۲۹۰ درجه کلون به دست آورده ایم.

از حل معادله (۳-۲۴) و با استفاده از معلومات زیر MW_{crit} را به دست می آید:

$$N_A: \text{عدد آواگادرو، } 6.0225 \times 10^{23}$$

$$g: \text{شتاب گرانش، } 980.665 \frac{cm}{sec^2}$$

$$R: \text{ثابت جهانی گازها، } 82/0.57 \frac{cm^3 \cdot atm}{Kmol \cdot ^\circ K}$$

$$\text{چگالی نفت خام سبک موجود در مخزن } 26, 0.8583 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\text{چگالی ذره آسفالتین در حال ته نشینی، } 1/0.6 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\text{دمای متوسط تانک ذخیره نفت، } 290 \text{ } ^\circ K$$

$$\text{کل آسفالتین موجود در نفت خام سبک، } 1/5\%$$

پس از حل معادله (۳-۲۴)، با استفاده از معادله زیر قطر بحرانی ذره آسفالتین محاسبه می شود:

$$MW = \frac{4}{3} \pi (N_A) \rho_p r_p^3 \quad (3-40)$$

$$d_p = 0.01382 \text{ micron}$$

تمامی ذراتی که دارای قطر بزرگتر از ۰/۰۱۳۸۲ میکرون در توزیع اندازه ذرات باشند، ته نشین می گردند. اکنون با استفاده از توزیع اندازه ذرات آسفالتین، میزان ذرات در حال ته نشینی تعیین می گردد.

همانطور که ذکر شد، خواص یا ویژگی های تابع چگالی احتمالی را می توان به صورت روابط زیر تعریف کرد:

$$f(y) \geq 0 \quad \text{for any value of } y \quad (41-3)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(y) dy = 1 \quad (42-3)$$

به دلیل اینکه توزیع اندازه ذرات با توزیع گاما بیان شده است، پس با توجه به توضیحات داده شده در مورد توزیع گاما، خاصیت دوم به شکل زیر خلاصه می گردد:

$$\int_0^{\infty} f(y) dy = 1 \quad (43-3)$$

حال برای اینکه بدانیم احتمال وجود ذرات آسفالتین در بازه ۰/۰۱۳۸۲ تا ۱/۹۷۵۹ میکرون چقدر است، کافی است از تابع مربوط به چگالی احتمال ذرات آسفالتین، در بازه فوق، انتگرال گیری کنیم. پس داریم:

$$\int_{0.01382}^{1.9759} \left(6.324e^{-\left(\frac{x-0.06387}{0.05315}\right)^2} + 1.853e^{-\left(\frac{x-0.2393}{0.1319}\right)^2} \right) dx \quad (44-3)$$

پس از انتگرال گیری با استفاده از نرم افزار مطلب، جواب به شکل زیر مشخص می گردد:

$$\int_{0.01382}^{1.9759} \left(6.324e^{-\left(\frac{x-0.06387}{0.05315}\right)^2} + 1.853e^{-\left(\frac{x-0.2393}{0.1319}\right)^2} \right) dx = 0.9710 \quad (45-3)$$

این نتیجه به این معنا می باشد که، ۰/۹۷۱۰ کل آسفالتین که به حالت معلق در نفت می باشد، دچار ته نشینی می گردد.

اکنون فرض کنیم که دبی ورودی به مخزن ۴۰۰۰۰ بشکه در روز باشد، بدین معنی که حجم نفت ورودی به مخزن، ۴۰۰۰۰ بشکه در روز است. با توجه به اینکه، از داده های آزمایشگاهی، برای نفت سبک داریم که ۱/۵٪ وزنی نفت را آسفالتین تشکیل می دهد، مقدار کل آسفالتین معلق در نفت با توجه به روابط زیر به دست می آید:

$$1 \text{ barrel} = 115.6271 \text{ liter} \quad (46-3)$$

با استفاده از دانسیته نفت، وزن کل نفت موجود برابر است با:

$$40.000 \times 115.6271 \times 0.8583 \times 1000 = 3.969.709.597 \text{ kg}$$

داریم:

$$3.969.709.597 \times \frac{1.5}{100} \times 0.9710 = 57.818.820.28 \text{ kg}$$

پس مقدار کل آسفالتین در حال ته نشینی = $57818820.28 / 28$ کیلوگرم

چگالی آسفالتین را $\frac{gr}{cm^3}$ ۱.۰۶، در نظر گرفتیم، پس با استفاده از روابط زیر حجم کل آسفالتین در

حال ته نشینی به دست می آید:

$$\frac{57.818.820.28}{1.06 \times 1000} = 54.546.05 \text{ liter}$$

$$\frac{54.546.05}{115.6271} = 471.741 \text{ barrel}$$

با توجه به توضیحات داده شده در بخش ضریب فشردگی، و با فرض ضریب فشردگی برابر ۰/۳۵،

مقدار کل رسوب ناشی از آسفالتین که در حال ته نشینی می باشد، عبارت است از:

$$\frac{471.741}{0.35} = 1347.83 \text{ barrel}$$

اکنون با استفاده از رابطه زیر می توان ضریب مورد بحث در قبل را که مربوط به درصد ته نشینی

رسوب در یک روز می باشد را به دست آورد. لازم به ذکر است که این مقدار تنها برای آسفالتین می

باشد و برای واکس در فصل بعدی محاسبه شده است.

$$x = \frac{22.065}{500/0.8973} = 0.03960 \quad (47-3)$$

در نتیجه میزان تشکیل رسوب در طی یک روز برابر است با:

$$1347.83 \times 0.03960 = 53.37 \frac{\text{barrel}}{\text{day}}$$

این مقدار را می توان با یک حساب ساده به ارتفاع تبدیل کرد:

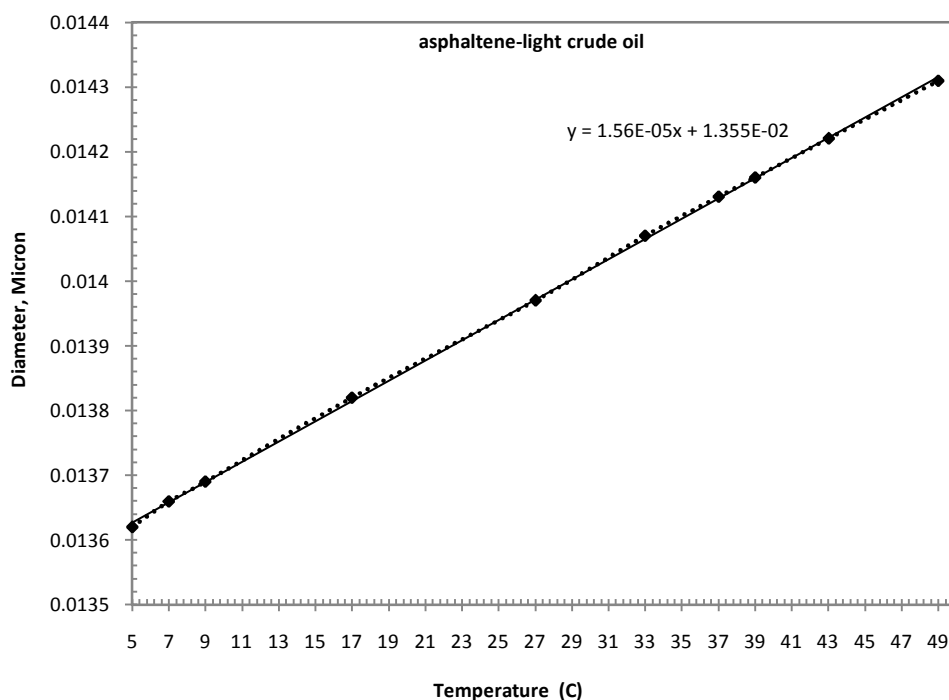
$$\frac{53.37 \times 1133}{1.000.000} = 0.0604 \text{ cm}$$

همانطور که در فوق ذکر گردید، دمای متوسط نفت خام مخزن ۲۹۰ درجه کلوین، در نظر گرفته شده است. با توجه به هدف تشریح شده در فصل اول، باید نتایج مربوط به میزان تشکیل رسوب آسفالتین برای متوسط دما های مختلف نفت خام موجود در مخزن، حاصل گردد. روند محاسبه برای سایر دما ها، مشابه حل فوق می باشد که نتایج آن در بخش بعدی ارائه گردیده است.

۳-۱۱- نتایج مقدار رسوب آسفالتین برای دما های مختلف

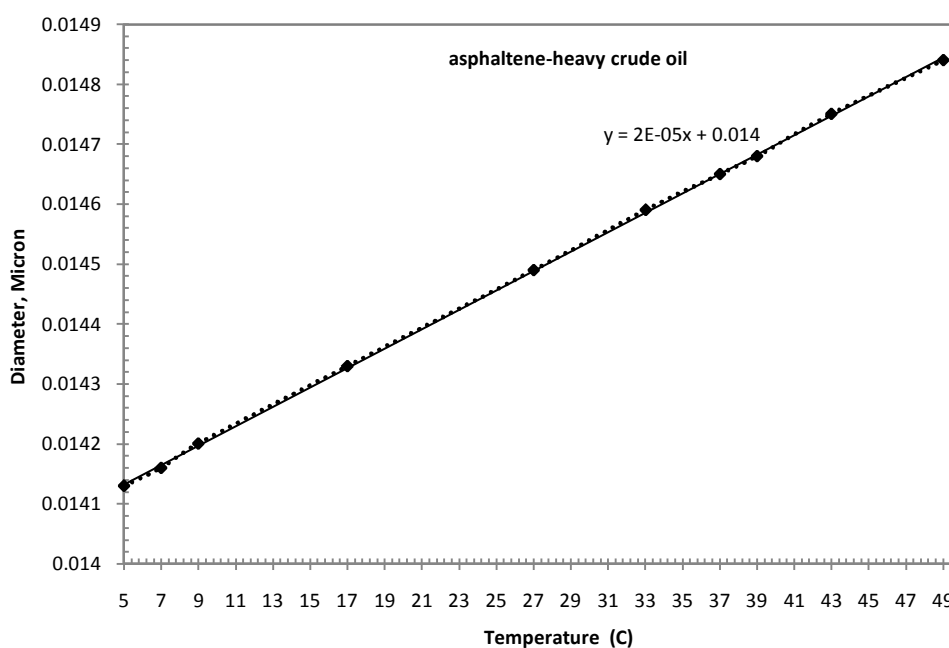
با استفاده از روند محاسبات تشریح شده در بخش قبل، می توان برای شرایط مختلف دمایی، میزان رسوب آسفالتین را به دست آورد. لازم به ذکر است که نتایج برای دو نوع نفت خام سبک و سنگین ارائه گردیده است.

نتایج مربوط به قطر بحرانی ذرات آسفالتین، برای دما های مختلفی که می تواند در شرایط مختلف سال ایجاد گردد و برای دو نوع نفت سبک و سنگین در نمودار های زیر نشان داده شده است. برای راحتی در محاسبات برای هر کدام از منحنی ها، یک معادله خط در نظر گرفته شده است.



شکل (۳-۱۲) تغییرات قطر بحرانی ذرات آسفالتین برحسب تغییرات دما برای نفت سبک

در شکل (۳-۱۲) می توان میزان تغییرات قطر بحرانی ذره برای دما های مختلف را برای ذرات آسفالتین موجود در نفت سبک، مشاهده کرد.



شکل (۳-۱۳) تغییرات قطر بحرانی ذرات آسفالتین برحسب تغییرات دما برای نفت سنگین

به طور مشابه در شکل (۳-۱۳) نیز می توان میزان تغییرات قطر بحرانی ذره برای دما های مختلف را برای ذرات آسفالتین موجود در نفت سنگین، مشاهده کرد.

۳-۱۱-۱- نتایج محاسبات برای نفت سبک

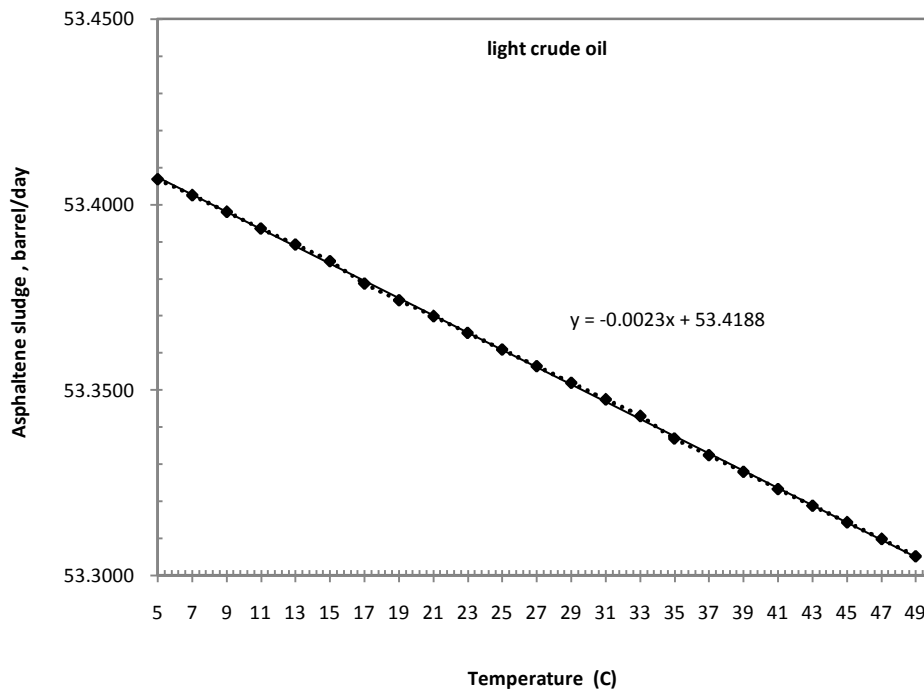
نتایج مربوط به روند محاسبه میزان ذرات آسفالتین که در حال ته نشینی هستند، به همراه میزان تشکیل رسوب در جدول زیر به تفکیک نشان داده شده است.

در جدول (۳-۱)، نتایج مربوط به محاسبات آسفالتین برای نفت سبک در یک روز، برای دما های مختلف، ارائه گردیده است.

جدول (۳-۱) نتایج مربوط به محاسبات آسفالتین برای نفت سبک در یک روز

Temperature	Dia.	integral	asph.deposition kg	asph.deposition liter	asph.deposition barrel	sludge barrel
5	0.013628	0.9715961	57854313	54579.54052	472.031	53.4069
7	0.013659	0.9715154	57849510	54575.00962	471.992	53.4025
9	0.013690	0.9714347	57844702	54570.47392	471.952	53.3980
11	0.013722	0.9713538	57839889	54565.93344	471.913	53.3936
13	0.013753	0.9712729	57835071	54561.38816	471.874	53.3891
15	0.013784	0.9711919	57830248	54556.8381	471.834	53.3847
17	0.013815	0.9710838	57823810	54550.76388	471.782	53.3787
19	0.013846	0.9710026	57818975	54546.20262	471.742	53.3743
21	0.013878	0.9709213	57814135	54541.63656	471.703	53.3698
23	0.013909	0.9708399	57809290	54537.0657	471.663	53.3653
25	0.013940	0.9707585	57804439	54532.49003	471.624	53.3609
27	0.013971	0.9706770	57799584	54527.90956	471.584	53.3564
29	0.014002	0.9705953	57794724	54523.32427	471.545	53.3519
31	0.014034	0.9705136	57789858	54518.73418	471.505	53.3474
33	0.014065	0.9704318	57784988	54514.13926	471.465	53.3429
35	0.014096	0.9703226	57778486	54508.00522	471.412	53.3369
37	0.014127	0.9702406	57773603	54503.39907	471.372	53.3324
39	0.014158	0.9701585	57768715	54498.7881	471.332	53.3279
41	0.014190	0.9700764	57763823	54494.17231	471.292	53.3234
43	0.014221	0.9699941	57758925	54489.55168	471.252	53.3188
45	0.014252	0.9699118	57754022	54484.92623	471.212	53.3143
47	0.014283	0.9698294	57749114	54480.29595	471.172	53.3098
49	0.014314	0.9697468	57744200	54475.66084	471.132	53.3053

در نمودار زیر می توان میزان تشکیل رسوب آسفالتین را برای دما های مختلف نفت موجود در مخزن، مشاهده نمود. لازم به ذکر است که مقدار تشکیل رسوب برای یک دمای معلوم، در یک روز می باشد. از این نتایج برای محاسبه میزان تشکیل رسوب برای ماه های مختلف سال، استفاده شده است.



شکل (۳-۱۴) میزان رسوب آسفالتین برحسب دما های مختلف برای نفت سبک

در شکل (۳-۱۴)، میزان تشکیل رسوب آسفالتین را برای دما های مختلف در یک روز، بیان شده است. مشاهده می شود که اثر تغییرات دما بر میزان تشکیل رسوب آسفالتین، بسیار کم می باشد.

۲-۱۱-۳- نتایج محاسبات برای نفت سنگین

روش حل برای نفت سنگین نیز مشابه نفت سبک می باشد، با این تفاوت که برخی از پارامتر های مشخصات نفت تفاوت دارد. در ضمن مقادیر به دست آمده برای ضریب مطرح شده در قبل که مربوط به زمان ته نشینی می باشد برای آسفالتین نفت سنگین به قرار زیر محاسبه شده است:

برای آسفالتین: ۰/۰۳۵۴۹

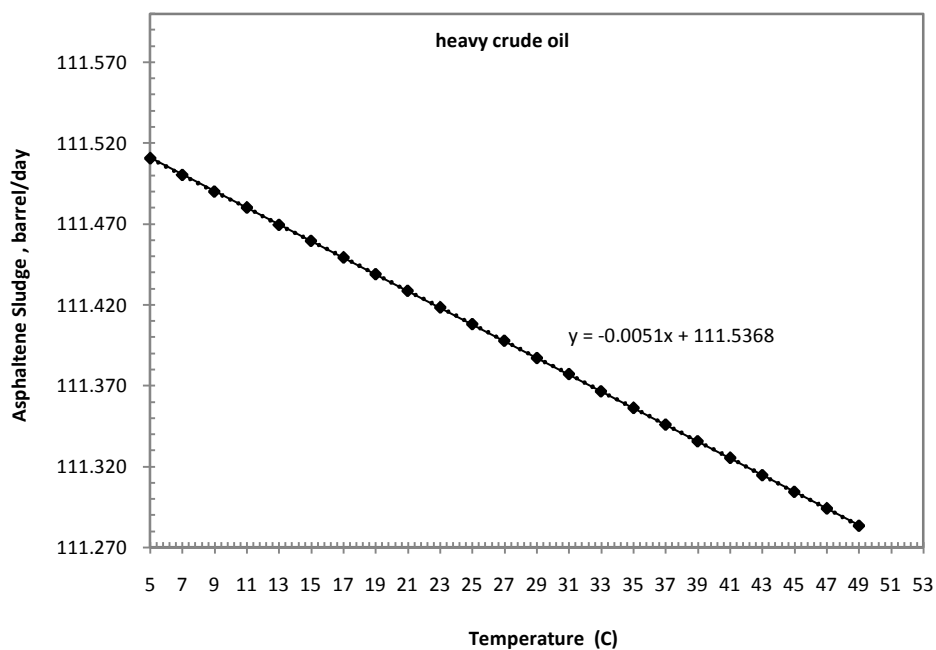
نتایج مربوط به روند محاسبات مربوط به میزان ذرات آسفالتین که در حال ته نشینی هستند، به همراه میزان تشکیل رسوب برای نفت سنگین در جدول زیر نشان داده شده است.

در جدول (۲-۳)، نتایج مربوط به محاسبات رسوب آسفالتین برای نفت سنگین در یک روز، برای دماهای مختلف، ارائه گردیده است.

جدول (۲-۳) نتایج مربوط به محاسبات آسفالتین برای نفت سنگین در یک روز

Tem.	Dia.	integral	asph.deposition kg	asph.deposition liter	asph.deposition barrel	sludge barrel
5	0.014181	0.970101038	134785679	127156.3	1099.710	111.511
7	0.014213	0.970013325	134773492.2	127144.8	1099.611	111.501
9	0.014246	0.969922768	134760910.3	127132.9	1099.508	111.490
11	0.014278	0.969834857	134748695.8	127121.4	1099.408	111.480
13	0.014311	0.969744095	134736085.5	127109.5	1099.306	111.470
15	0.014343	0.969655985	134723843.4	127098.0	1099.206	111.459
17	0.014375	0.969567776	134711587.7	127086.4	1099.106	111.449
19	0.014408	0.969476709	134698934.8	127074.5	1099.002	111.439
21	0.014440	0.969388301	134686651.5	127062.9	1098.902	111.429
23	0.014473	0.969297028	134673970	127050.9	1098.799	111.418
25	0.014505	0.969208421	134661658.9	127039.3	1098.698	111.408
27	0.014537	0.969119716	134649334.3	127027.7	1098.598	111.398
29	0.014570	0.969028136	134636610.1	127015.7	1098.494	111.387
31	0.014602	0.968939231	134624257.7	127004.0	1098.393	111.377
33	0.014635	0.968847445	134611505	126992.0	1098.289	111.367
35	0.014667	0.96875834	134599124.8	126980.3	1098.188	111.356
37	0.014699	0.968669137	134586730.9	126968.6	1098.087	111.346
39	0.014732	0.968577043	134573935.4	126956.5	1097.983	111.335
41	0.014764	0.96848764	134561513.8	126944.8	1097.881	111.325
43	0.014797	0.96839534	134548689.6	126932.7	1097.777	111.315
45	0.014829	0.968305737	134536240.1	126921.0	1097.675	111.304
47	0.014861	0.968216034	134523776.9	126909.2	1097.573	111.294
49	0.014894	0.968123426	134510909.9	126897.1	1097.468	111.283

در شکل (۱۵-۳) می توان نتایج مربوط به میزان تشکیل رسوب با منشاء آسفالتین را مشاهده نمود. مشابه نمودار مربوط به نفت سبک، میزان رسوب برای یک روز می باشد.



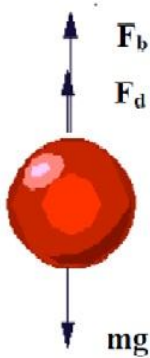
شکل (۳-۱۵) میزان رسوب آسفالتین برحسب دما های مختلف برای نفت سنگین

مشاهده می شود که مشابه نفت سبک، میزان تغییرات رسوب ناشی از ذرات آسفالتین با دما، بسیار

ناچیز می باشد.

فصل چهارم

تعیین میزان تشکیل رسوب واکس



۴-۱- مقدمه

در فصل قبل، میزان تشکیل رسوب ناشی از ذرات آسفالتین برای دماهای مختلف، مطرح و نتایج آن ارائه گردید. مشابه ذرات آسفالتین، در برخی شرایط ترمودینامیکی، ذرات واکس نیز به ذرات بزرگتر تبدیل شده که به آن تشکیل ذرات جامد واکس، گفته می شود. بار دیگر متذکر می شویم که این ذرات الزاماً ته نشین نمی شوند، پس نمی توان آنها را رسوب جمع شده در کف مخزن نامید، بلکه به آن ها ذرات جامد واکس جمع شده در نفت^۱ اطلاق می شود. ذرات رسوب واکس نیز ممکن است به ته نشینی تحت اثر نیروی وزنشان منجر شوند. این ذرات نیز اغلب به صورت کروی در نظر گرفته می شوند. اگرچه ذرات واکس دارای چگالی بین ۰/۸ تا ۰/۸۵ $\frac{gr}{cm^3}$ می باشند، ولی اغلب چگالی آن ها بیشتر از ۰/۹ $\frac{gr}{cm^3}$ در نظر گرفته می شود. دلیل این امر این است که واکس ها اغلب همراه با رزین ها و آسفالتین ها ته نشین می شوند. بنابراین آسفالتین ها و رزین ها بیشترین نقش را در ته نشینی ذرات واکس دارا هستند. ما در محاسبات خود طبق منابع موجود، چگالی ذره واکس در حال ته نشینی را ۰/۹۴ $\frac{gr}{cm^3}$ در نظر می گیریم، (لنتاریتیس، ۲۰۰۵). در این فصل، فرایند ته نشینی ذرات واکس تشریح می گردد. مشابه ذرات آسفالتین، به یک توزیع اندازه ذرات واکس نیز نیازمندیم که یک توزیع اندازه ذرات واکس که دارای شرایط مشابه برای مخزن می باشد، انتخاب شده است. (لنتاریتیس، ۲۰۰۵).

بخشی از روند محاسبه میزان تشکیل رسوب ناشی از ذرات واکس، مشابه ذرات آسفالتین می باشد که مختصراً مطرح گردیده است. آن بخش متفاوت در حقیقت تعیین میزان ذرات جامد واکس معلق در نفت خام می باشد. همانطور که در فصل قبل ذکر شد، این مقدار برای آسفالتین به صورت تجربی مطرح و ارائه گردید، اما با توجه به موثر بودن این مقدار با تغییرات دما برای واکس، باید این مقدار را برای دماهای مختلف، محاسبه و در روند حل دخیل نمود. به منظور تعیین این وابستگی، از یک مدل

^۱ Precipitation wax

ترمودینامیکی استفاده شده است. لازم به ذکر است که فرایند لخته شدن ذرات واکس، معمولاً برگشت پذیر می باشد و این فرایند در دماهای پایین اتفاق می افتد و به تغییرات فشار حساس نمی باشد.

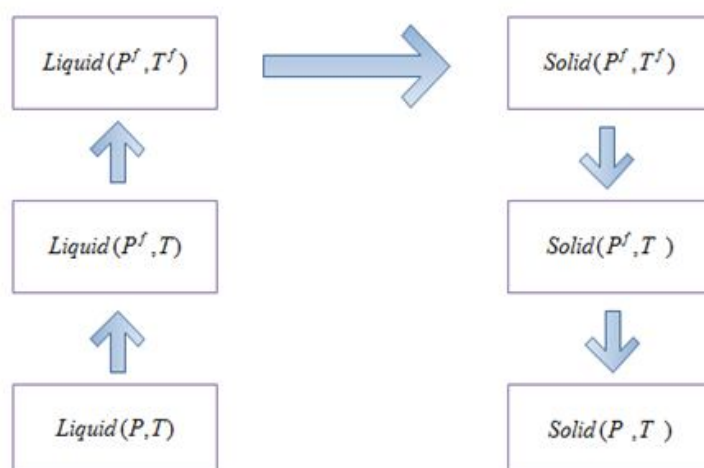
مشابه ذرات آسفالتین، ذرات واکس نیز اغلب به شکل کروی می باشند و می توان با استفاده از قانون استوکس، یک تئوری ساده برای فرایند ته نشینی ذرات واکس نیز پیشنهاد کرد.

۴-۲- مدل ترمودینامیکی تشکیل ذرات جامد واکس

قبل از هر چیز باید متذکر شد که منظور از تشکیل ذرات جامد واکس، ظاهر شدن ذرات جامد واکس در نفت می باشد و به معنای ته نشینی ذرات واکس و تشکیل رسوب در کف مخزن نمی باشد. در حقیقت این مرحله ای که مدل ترمودینامیکی آن بررسی می شود، شرط لازم برای تشکیل رسوب و ته نشینی است ولی شرط کافی نمی باشد.

فیروز آبادی، ۱۹۹۹، نشان داد که تشکیل ذرات جامد واکس شدیداً به دما وابسته است و فشار اثر بسیار ناچیزی دارد. برای تعیین مدل ترمودینامیکی تشکیل ذرات واکس، مدل های مختلفی ارائه شده است که اساس هر یک تقریباً یکسان می باشد. به نام برخی از آن ها در فصل اول مختصراً اشاره گردید. در این بخش مدل فیروز آبادی، تشریح گردیده است.

معادله حالتی که بتواند رفتار یک فاز جامد را بررسی کند، وجود ندارد. هر چند می توان از روابط بین پتانسیل شیمیایی فاز جامد، برای بررسی رفتار های فاز جامد، استفاده کرد. دیاگرام ارتباط پتانسیل شیمیایی ماده خالص i ، در فاز مایع و جامد در شکل زیر نمایش داده شده است، (شکل ۴-۱).



شکل (۱-۴) دیاگرام ارتباط پتانسیل شیمیایی ماده خالص i ، در فاز مایع و جامد، (فیروز آبادی، ۱۹۹۹) ما می توانیم اختلاف بین پتانسیل شیمیایی در دو فاز مایع و جامد، برای یک ماده خالص را به دست آوریم. یعنی:

$$\Delta\mu_i = \mu_{pure\ i}^l(P, T) - \mu_{pure\ i}^s(P, T) \quad (1-4)$$

معادل پتانسیل شیمیایی ماده خالص i ، در فشار P و دمای T در فاز جامد می باشد، و به همین ترتیب برای فاز مایع.

همان طور که در شکل فوق مشهود است، برای به دست آوردن اختلاف پتانسیل، کافی است پتانسیل شیمیایی بین این ۶ نقطه بررسی شود.

از آن جا که فرایند ۱ تا ۶ یک فرایند دما ثابت می باشد، پس داریم:

$$\Delta\mu_i = \Delta H_i - T\Delta S_i \quad (2-4)$$

همچنین داریم:

$$\Delta H_i = H_{pure\ i}^l(P, T) - H_{pure\ i}^s(P, T) \quad (3-4)$$

و برای S هم به همین ترتیب.

اکنون کافی است مقادیر ΔS_i و ΔH_i را برای مسیر های ۱ تا ۲، ۲ تا ۳ و ... تا ۶، به دست آوریم.

سه رابطه زیر ما را در محاسبه ΔH_i راهنمایی می کنند.

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T dP \quad (۴-۴)$$

$$C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P \quad (۵-۴)$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = -T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P + v \quad (۶-۴)$$

از سه رابطه فوق داریم:

$$dH = C_P dT + \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \right] dP \quad (۷-۴)$$

پس داریم:

$$\Delta H_i^{2 \rightarrow 1} = \int_{P_i^f}^{P_i^s} \left[v_i^s - T \left(\frac{\delta v_i^s}{\delta T}\right)_P \right] dP \quad (۸-۴)$$

به ترتیب فشار و دما در نقطه ذوب می باشند. برای مسیر ۲ تا ۳، با توجه به اینکه یک فرایند فشار ثابت است، داریم:

$$\Delta H_i^{3 \rightarrow 2} = \int_{T_i^f}^{T_i^s} C_{pi}^s dT \quad (۹-۴)$$

برای مسیر ۳ تا ۴، ΔH_i ، در حقیقت همان گرمای ذوب در T_i^f و P_i^f می باشد. پس:

$$\Delta H_i^{4 \rightarrow 5} = \Delta H_i^f \quad (۱۰-۴)$$

برای سایر مسیر ها داریم:

$$\Delta H_i^{5 \rightarrow 4} = \int_{T_i^f}^T C_{pi}^l dT \quad (۱۱-۴)$$

$$\Delta H_i^{6 \rightarrow 5} = \int_{P_i^f}^P \left[v_i^l - T \left(\frac{\delta v_i^l}{\delta T}\right)_P \right] dP \quad (۱۲-۴)$$

پس:

$$\Delta H_i = \Delta H_i^{2 \rightarrow 1} + \Delta H_i^{3 \rightarrow 2} + \Delta H_i^{4 \rightarrow 3} + \Delta H_i^{5 \rightarrow 4} + \Delta H_i^{6 \rightarrow 5} \quad (13-4)$$

حال باید روابط زیر را در نظر گرفت:

$$\Delta C_{p_i} = C_{p_i}^l - C_{p_i}^s \quad (14-4)$$

$$\Delta v_i = v_i^l - v_i^s \quad (15-4)$$

با استفاده از دو عبارت فوق داریم:

$$\Delta H_i = \Delta H_i^f - \int_{T_i}^{T_i^f} \Delta C_{p_i} dT + \int_{P_i}^{P_i^f} \left[-\Delta v_i^l + T \left(\frac{\delta \Delta v_i}{\delta T} \right)_P \right] dP \quad (16-4)$$

اکنون از تاثیرات دما بر ΔC_{p_i} ، صرف نظر کرده و داریم:

$$\Delta H_i = \Delta H_i^f + \Delta c_{p_i} (T - T_i^f) - \int_{P_i}^{P_i^f} \Delta v_i dP + T \int_{P_i}^{P_i^f} \left(\frac{\delta \Delta v_i}{\delta T} \right)_P dP \quad (17-4)$$

به راحتی می توان مراحل فوق را برای ΔS_i ، انجام داد و به عبارت زیر دست یافت:

$$\Delta S_i = \frac{\Delta H_i^f}{T_i^f} + \Delta c_{p_i} \ln \frac{T}{T_i^f} + \int_{P_i}^{P_i^f} \left(\frac{\partial \Delta v_i}{\partial T} \right)_P dP \quad (18-4)$$

با جایگزینی دو رابطه اخیر در رابطه (۲-۴)، که مربوط به تعریف پتانسیل شیمیایی بود، و با یک

بی بعد سازی ساده، می توان معادله زیر را به دست آورد.

$$\frac{\mu_{pure i}^l(P,T) - \mu_{pure i}^s(P,T)}{RT} = \frac{\Delta H_i^f}{RT_i^f} \left(\frac{T_i^f}{T} - 1 \right) - \frac{\Delta c_{p_i}}{R} \left(\frac{T_i^f}{T} - 1 \right) + \frac{\Delta c_{p_i}}{R} \left[\ln \frac{T_i^f}{T} \right] + \frac{1}{RT} \int_{P_i^f}^P \Delta v_i dP \quad (19-4)$$

در هنگام تشکیل ذرات جامد واکس، در حقیقت یک تعادل ترمودینامیکی بین فاز های جامد و

مایع وجود دارد، پس می توان رابطه زیر را در نظر گرفت.

$$\mu_i^l(P,T,x^l) = \mu_i^s(P,T,x^s) \quad (20-4)$$

از طرفی رابطه زیر برای شرایط موجود برقرار است:

$$(d\mu_i = RTd \ln f_i)_T \quad (21-4)$$

لازم به ذکر است که شرط برقراری رابطه فوق ثابت بودن دما می باشد. f ، فوگاسیته^۱، کمیتی می باشد که دیمانسیون آن همان دیمانسیون فشار می باشد و در حقیقت ضریب بهبود فشار برای بیان صحیح تمایل ملکول ها، برای تغییر فاز می باشد.

پس داریم:

$$\mu_i^l(P, T, x^l) = \mu_{pure\ i}^l(P, T) + RT \ln \frac{f_i^l(P, T, x^l)}{f_{pure\ i}^l(P, T)} \quad (22-4)$$

$$\mu_i^s(P, T, x^s) = \mu_{pure\ i}^s(P, T) + RT \ln \frac{f_i^s(P, T, x^s)}{f_{pure\ i}^s(P, T)} \quad (23-4)$$

از برابر قرار دادن دو معادله فوق و دانستن این که، فوگاسیته ترکیب i ، در دو فاز مایع و جامد برابر است، خواهیم داشت:

$$f_{pure\ i}^s(P, T) = f_{pure\ i}^l(P, T) \exp \left[\frac{\mu_{pure\ i}^l(P, T) - \mu_{pure\ i}^s(P, T)}{RT} \right] \quad (24-4)$$

حال از تغییرات ظرفیت گرمایی بین دو فاز جامد و مایع نیز صرفنظر کرده و به عبارت زیر می رسیم:

$$f_{pure\ i}^s(P, T) = f_{pure\ i}^l(P, T) \times \exp \left(\left[\frac{\Delta H_i^f}{RT_i^f} \left(1 - \frac{T_i^f}{T} \right) \right] - \left(\frac{P \Delta V_i}{RT} \right) \right) \quad (25-4)$$

اریکسون^۲ و همکارانش (۱۹۹۳)، عبارت زیر را برای ثابت تعادل بیان کردند:

¹ Fugacity
² Erickson

$$K_i^S = \frac{\phi_i^l \times f_{pure\ i}^l(P,T)}{\phi_i^o \times f_{pure\ i}^s(P,T)} \quad (۲۶-۴)$$

که در آن K ، ثابت تعادل جامد-مایع می باشد. با جایگزینی از معادله (۲۵-۴) داریم:

$$K_i^S = \frac{\phi_i^l}{\phi_i^o} \exp \left[\left[\frac{\Delta H_i^f}{RT} \left(1 - \frac{T}{T_i^f} \right) \right] + \left(\frac{P \Delta V_i}{RT} \right) \right] \quad (۲۷-۴)$$

که در آن:

Δv_i ، تفاوت حجم مولی فاز مایع و جامد، با بعد cm^3/mol می باشد.

ϕ_i^o ، ضریب فوگاسیته ماده خالص i ، در فاز مایع می باشد.

ϕ_i^l ، ضریب فوگاسیته ماده i ، در مخلوط مایع می باشد.

اریکسون و همکارانش نشان دادند که:

$$\Delta v_i = 0.17 M_i \quad (۲۸-۴)$$

احمد^۱ (۲۰۰۷)، روابط زیر را برای محاسبه دما و آنتالپی ذوب ارائه کرد:

$$T_i^f = 374.5 + 0.02617 M_i - \frac{20.172}{M_i} \quad (۲۹-۴)$$

$$\Delta H_i^f = 0.1426 M_i T_i^f \quad (۳۰-۴)$$

ضریب فوگاسیته ماده خالص i ، در فاز مایع و ضریب فوگاسیته ماده i ، در مخلوط مایع، با استفاده از یک معادله حالت قابل محاسبه می باشند. لازم به ذکر است که ما در این بخش، از معادله حالت پینگ-رابینسون^۲، استفاده کرده ایم. در اکثر منابع به رابطه این دو مقدار اشاره گردیده است.

¹ Ahmed

² Peng-Robinson

$$\ln(\varphi_i^0) = (Z - 1) - \ln(Z - B) - \frac{A}{2\sqrt{2}B} \ln \left[\frac{Z^l + (1 + \sqrt{2})B}{Z^l - (1 - \sqrt{2})B} \right] \quad (31-4)$$

$$\ln(\varphi_i^l) = \frac{b_i(Z^l - 1)}{b_m} - \ln(Z - B) - \frac{A}{2\sqrt{2}B} \left[\frac{2\Psi_i}{(a\alpha)_m} - \frac{b_i}{b_m} \right] \ln \left[\frac{Z^l + (1 + \sqrt{2})B}{Z^l - (1 - \sqrt{2})B} \right] \quad (32-4)$$

پارامترهای موجود در معادلات فوق را می توان از مراجعی که در آن ها معادلات حالت مختلف، بررسی شده اند، استخراج نمود، (احمد، ۲۰۰۷).

بالانس جرم برای ترکیب به شکل زیر می باشد:

$$z_i n = x_i n_l + s_i n_s \quad (33-4)$$

از طرفی داریم:

$$\sum_i z_i = 1 \quad (34-4)$$

$$\sum_i x_i = 1 \quad (35-4)$$

$$\sum_i s_i = 1 \quad (36-4)$$

بهتر است که تمامی محاسبات را برای یک مول از نفت، انجام دهیم. پس n را یک در نظر می گیریم.

اکنون از تعریف K ، استفاده کرده و به رابطه زیر می رسیم.

$$x_i n_l + (x_i K_i^s) n_s = z_i \quad (37-4)$$

حال معادله فوق را برای x ، حل می کنیم:

$$x_i = \frac{z_i}{n_l + n_s K_i^s} \quad (38-4)$$

معادله فوق را می توان بر حسب s ، نیز حل کرد:

$$S_i = x_i K_i^S = \frac{z_i K_i^S}{n_l + n_s K_i^S} \quad (39-4)$$

$$\sum_i x_i = \sum_i \frac{z_i}{n_l + n_s K_i^S} = 1 \quad (40-4)$$

$$\sum_i S_i = \sum_i \frac{z_i K_i^S}{n_l + n_s K_i^S} = 1 \quad (41-4)$$

اکنون با استفاده از روابط فوق می توان، درصد مولی هر یک از ترکیبات را در فاز جامد و مایع به دست آورد و نهایتاً با جمع زدن این درصد مولی، می توان رابطه میزان تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف را محاسبه کرد. برای انجام محاسبات مربوط به این قسمت، از یک نرم افزار (پی وی تی سیم)^۱، که مطابق فرایند تشریح شده در فوق، قادر به محاسبه روند فوق می باشد، استفاده شده است، (پیوست ب). مشخصات نفت پس از مدلسازی در نرم افزار هایسیس^۲ (پیوست الف)، و مطابق با گزارش آزمایشگاه پایانه نفتی خارک، به شرح زیر می باشد. جدول (۱-۴)

جدول (۱-۴) مشخصات نفت سبک جزیره خارک

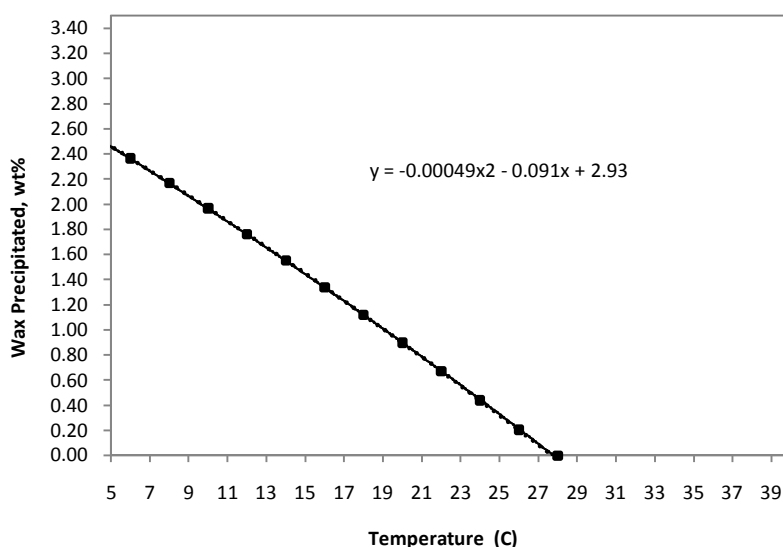
Light Crude Oil			
component	Mole %	component	Wt %
Propane	0.060	Propane	0.01
I-Butane	0.139	I-Butane	0.04
N-Butane	0.897	N-Butane	0.25
I-Pentane	1.704	I-Pentane	0.59
N- Pentane	2.501	N- Pentane	0.87
2DiMethyl Butane.2	0.399	2DiMethyl Butane.2	0.02
3DiMethyl Butane.2	0.329	3DiMethyl Butane.2	0.13
2Methyl Pentane	1.056	2Methyl Pentane	0.44
3Methyl Pentane	0.628	3Methyl Pentane	0.26
N-Hexane	0.688	N-Hexane	0.28
Methyl Cyclo Pentane	0.130	Methyl Cyclo Pentane	0.05
Benzene	0.110	Benzene	0.04
Cyclo Hexane	0.020	Cyclo Hexane	0.01
N-Heptane+	91.341	N-Heptane+	97.01
Total	100	Total	100

Mw C7+ =221.497

¹ PVTsim

² Hysys

پس از وارد کردن درصد مولی و یا وزنی ترکیبات نفت مطابق جدول فوق، نرم افزار مذکور با انجام محاسبات فوق و مطابق با معادله حالت پینگ-رابینسون اصلاح شده، نتایج را در اختیار قرار می دهد. این نتایج به صورت نمودار هایی برای نفت های سبک و سنگین در نمودار های زیر ارائه گردیده است. همچنین یک معادله منحنی، برای تسریع در عملیات حل، بر هر یک از این نمودار ها، فیت گردیده است. در شکل (۲-۴)، اثر دما بر میزان تشکیل ذرات جامد واکس ارائه گردیده است.

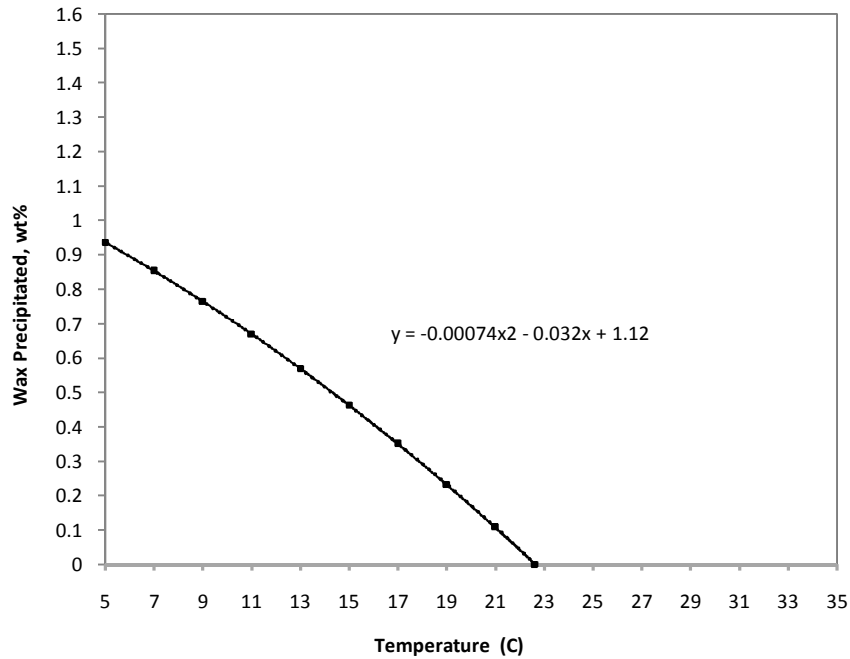


شکل (۲-۴) میزان تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف برای نفت سبک

همانطور که در نمودار فوق ملاحظه می شود در دما های بیشتر از ۲۸ درجه سانتی گراد، هیچ ذره واکسی تشکیل نمی شود. این دما همان دمای ظهور ذرات واکس^۱ می باشد که برای نفت سبک حدوداً، ۲۸ درجه سانتی گراد می باشد. به عبارت دیگر در دما های بالاتر از دمای ظهور واکس، هیچ ذره جامد واکس در نفت وجود ندارد و طبق مباحث مطرح شده در ابتدای این فصل، هیچ رسوب ناشی از ذرات واکسی نیز تشکیل نمی گردد.

¹ Wax Appearance Temperature

در شکل (۳-۴)، تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف برای نفت سنگین ترسیم گردیده است. یک معادله منحنی درجه ۲، در نظر گرفته شده است تا محاسبات مربوط به آن ساده تر صورت گیرد.



شکل (۳-۴) میزان تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف برای نفت سنگین مشهود است که مشابه نفت سبک، در دمای بیشتر از ۲۳ درجه سانتی گراد، هیچ ذره جامد واکسی در نفت سنگین ظاهر نمی شود. پس دمای ظهور ذرات واکس، برای نفت سنگین، حدوداً ۲۳ درجه سانتی گراد می باشد.

۳-۴- مدل تعادل ته نشینی

مشابه مدل تعادل ته نشینی برای ذرات آسفالتین که در فصل قبل به طور کامل تشریح گردید، برای ذرات واکس نیز این مدل بر قرار است. پس داریم:

$$\ln \frac{c}{c_{ref}} = \left[-MW \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g(h - h_{ref}) \right] / RT \quad (۴۲-۴)$$

که در آن:

$$MW = \frac{4}{3}\pi(N_A)\rho_p r_p^3 \quad (4-43)$$

$$N_A: \text{عدد آوگادرو، } 6.0225 \times 10^{23}$$

$$g: \text{شتاب گرانش، } 980/665 \frac{cm}{sec^2}$$

$$R: \text{ثابت جهانی گاز ها، } 82/0.57 \frac{cm^3 \cdot atm}{Kmol \cdot ^\circ K}$$

T: دما برحسب کلوین

پس مشابه فصل قبل، برای داشتن شرایط ته نشینی، می توان یک اندازه بحرانی ذره و یا وزن ملکولی بحرانی ذره^۱ را به دست آورد، که این اندازه بحرانی در حقیقت کوچکترین اندازه ذره است که تحت نیروی وزنش ته نشین می شود.

همانطور که ذکر شد، یکی از معیار های ته نشینی، تعیین تغییر غلظت ذرات، $\frac{c}{c_{ref}}$ در یک تغییر معین $h - h_{ref}$ می باشد. در حقیقت این معیار بیان می کند که با افزایش ارتفاع مخزن، مقدار پخش ذرات در حال ته نشینی، با چه سرعتی کاهش می یابد. بیشترین تغییرات در غلظت در قسمت فصل مشترک بین ذرات ته نشینی و سیال وجود دارد. در این جا با توجه به پیشنهاد مرجع، (لنتاریتیس، ۲۰۰۵) برای ذرات واکس از مقادیر زیر استفاده شده است:

واکس:

$$\frac{c}{c_{ref}} = 0.001 \quad , \quad h - h_{ref} = 0.001 \text{ cm}$$

برای به دست آوردن درصد ذرات در حال ته نشینی و درصد ذرات معلق که ته نشین نمی شوند، مقدار کل واکس در شرایط ترمودینامیکی معلوم، و همچنین توزیع اندازه هر یک از ذرات، باید معین

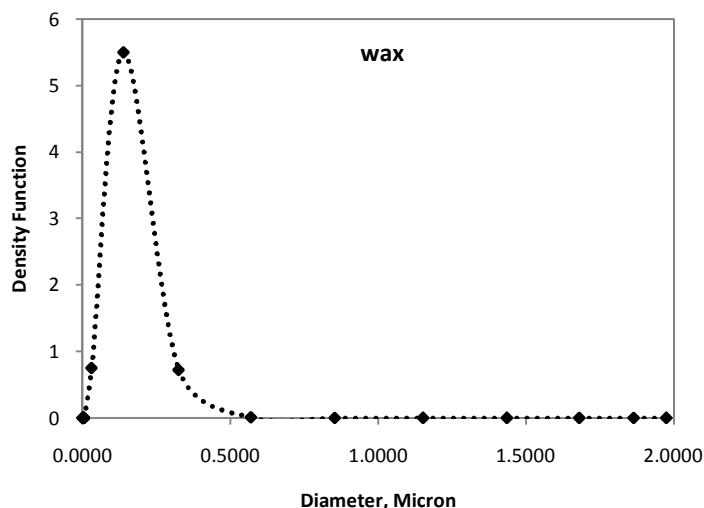
^۱ MW_{crit}

باشد. لازم به ذکر است که توزیع اندازه ذرات از طریق آزمایش به دست می آید. همانطور که در فصل قبل مطرح گردید، توزیع اندازه ذرات را با استفاده از علم آمار و احتمال بیان می کنند، که مختصری از بخش های مورد نیاز از این علم، در فصل گذشته تشریح گردیده است.

۴-۴- توزیع اندازه ذرات واکس

مشابه ذرات آسفالتین، برای بیان توزیع اندازه ذرات واکس، از تابع چگالی گاما استفاده می شود. در حقیقت برای آنکه بدانیم که در یک شرایط دمایی مشخص، چه مقدار ذرات آسفالتین و یا واکس در حال ته نشینی هستند، باید احتمال اینکه ذرات در بازه قطر بحرانی تعیین شده قرار داشته باشند را محاسبه کنیم. از آنجایی که تابع چگالی گاما برای ذرات واکس در شرایط مخزن را داریم، (لنتاریتیس، ۲۰۰۵)، با توجه به توضیحات مربوط به فصل قبل، می توان با انتگرال گیری در بازه قطر بحرانی تا بینهایت، بر روی تابع چگالی، این احتمال را به دست آورد. نمودار تابع چگالی برای ذرات واکس در نمودار های زیر آورده شده است. (لنتاریتیس، ۲۰۰۵)

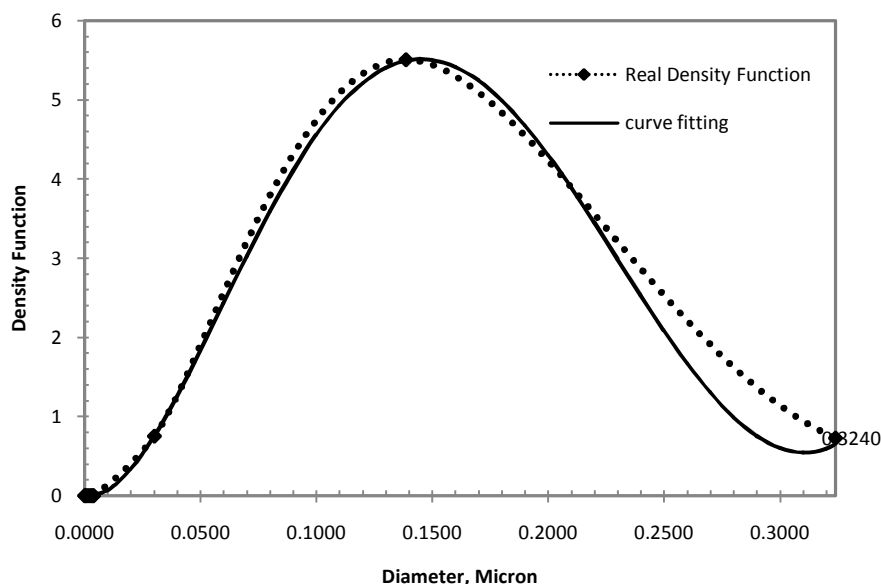
برای ذرات واکس تابع چگالی گاما مطابق شکل (۴-۴) می باشد:



شکل (۴-۴) نمودار تابع چگالی گاما برای ذرات واکس

همانند ذرات آسفالتین، برای ذرات واکس نیز باید یک معادله برای نمودار فوق به دست آوریم. به دلیل اینکه امکان ارائه یک معادله واحد و دقیق برای تابع چگالی ذرات واکس وجود ندارد، لذا این منحنی را با دو معادله جدا از هم، به طوری که هر یک بخشی از تابع چگالی را بیان می کنند، مطابق زیر تقسیم می کنیم. لازم به ذکر است که این عمل نیز با استفاده از نرم افزار های مطلب و میپل، انجام گرفته است. بخش اول که شامل اندازه ذرات صفر تا 0.3240 میکرون می باشد در شکل زیر مشخص گردیده و معادله آن بیان شده است.

بخش اول از نمودار تابع چگالی برای ذرات واکس در شکل (۴-۵)، نشان داده شده است.

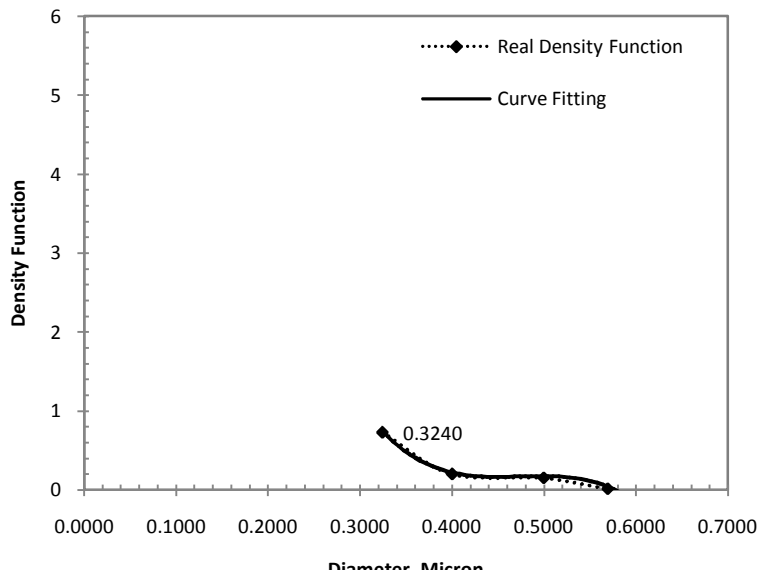


شکل (۴-۵) بخش اول نمودار تابع چگالی برای ذرات واکس

معادله نمودار فوق به قرار زیر می باشد:

$$y = -22170x^5 + 26510x^4 - 10130x^3 + 1274.3x^2 - 4.927x + .002671 \quad (4-4)$$

بخش دوم که شامل اندازه ذرات 0.3240 تا 0.6 میکرون می باشد نیز در شکل (۴-۶)، مشخص گردیده و معادله آن بیان شده است.



شکل (۴-۶) بخش دوم نمودار تابع چگالی برای ذرات واکس

معادله نمودار فوق به قرار زیر است:

$$y = -1.62x^7 + 15.47x^6 - 61.99x^5 + 134.8x^4 - 171.4x^3 + 127.1x^2 - 50.66x + 8.352 \quad (۴۵-۴)$$

۴-۵- ضریب فشردگی ذره

همانطور که در مباحث مربوط به ذرات آسفالتین ذکر گردید، فضای خالی بین ذرات ته نشین شده آسفالتین و یا واکس، به وسیله مایع اطراف پر می شوند. این مایع در حقیقت همان نفت خام می باشد، پس این مقدار نفت خام نیز باید در محاسبات مقدار رسوب در مخزن محاسبه شود و در حقیقت جزئی از میزان رسوب می باشد. بررسی این موضوع با تعریف ضریب فشردگی ذره، ارتباط دارد.

مشابه آسفالتین، به دلیل اینکه ته نشینی تنها تحت اثر نیروی وزن انجام می گیرد و هیچ فشردگی دیگری وجود ندارد، و با توجه به این که ضریب فشردگی با تغییر ارتفاع در مخزن، تغییر می کند، ما

می توانیم از عبارت میانگین ضریب فشردگی استفاده کنیم. لنتاریتیس در سال ۲۰۰۵، ضریب فشردگی را برای ذرات واکس، ۰/۲۰ در نظر گرفت.

در ادامه به منظور آشنایی بیشتر با روند حل طبق الگوریتم فوق، محاسبات مربوط به مخزن ۲۸ که حاوی نفت خام سبک می باشد، برای ذرات واکس، آورده شده است.

۴-۶- محاسبات مربوط به میزان رسوب واکس در مخزن ۲۸

در این بخش ابتدا قطر بحرانی ذره را برای واکس در یک دمای مشخص و مشخصات نفت خام سبک موجود در مخزن ۲۸ به دست آورده شده و سپس روند محاسبه مقدار رسوب واکس در این شرایط تشریح گردیده است.

نفت سبک موجود در مخزن ۲۸ دارای چگالی $0.8583 \frac{gr}{cm^3}$ می باشد. همانطور که ذکر گردید، چگالی ذره واکس در حال ته نشینی را $0.94 \frac{gr}{cm^3}$ در نظر می گیریم. میزان رسوب واکس را برای دمای ۳۰۰ درجه کلوین به دست می آوریم. از (۳-۲۴) و با استفاده از معلومات زیر MW_{crit} را به دست می آوریم:

$$N_A: \text{عدد آواگادرو، } 6.0225 \times 10^{23}$$

$$g: \text{شتاب گرانش، } 980.665 \frac{cm}{sec^2}$$

$$R: \text{ثابت جهانی گاز ها، } 82/0.57 \frac{cm^3 \cdot atm}{Kmol \cdot ^\circ K}$$

$$\text{چگالی نفت خام سبک موجود در مخزن ۲۶، } 0.8583 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\text{چگالی ذره واکس در حال ته نشینی، } 0.94 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\text{دمای متوسط تانک ذخیره نفت، } 300 \text{ } ^\circ K$$

پس با حل معادله (۳-۲۴) و با استفاده از معادله زیر می توان قطر بحرانی ذره واکس را محاسبه کرد:

$$MW = \frac{4}{3}\pi(N_A)\rho_p r_p^3 \quad (۴-۴۶)$$

$$d_p = 0.01888 \text{ micron}$$

تمامی ذراتی که دارای قطر بزرگتر از ۰/۰۱۸۸۸ میکرون در توزیع اندازه ذرات باشند، ته نشین می گردند.

مشابه بخش محاسبات مربوط به بخش آسفالتین، برای اینکه بدانیم احتمال وجود ذرات آسفالتین در بازه ۰/۰۱۸۸۸ تا ۱/۹۷۴۰ چقدر است، کافی است از تابع مربوط به چگالی احتمال ذرات آسفالتین، در بازه فوق، انتگرال گیری کنیم. پس از انتگرال گیری با استفاده از نرم افزار مطلب، جواب به شکل زیر مشخص می گردد:

$$A = \int_{0.01888}^{0.3240} (-22170x^5 + 26510x^4 - 10130x^3 + 1275x^2 - 4.927x + .002671)dx \quad (۴۷-۴)$$

$$B = \int_{0.3240}^{1.9740} (-1.62x^7 + 15.47x^6 - 61.99x^5 + 134.8x^4 - 171.4x^3 + 127.1x^2 - 50.66x + 8.352)dx \quad (۴۸-۴)$$

پس داریم:

$$\int_{0.01888}^{1.9740} f(x) = A + B = 0.93586 + 0.06218 = 0.99804 \quad (۴۹-۴)$$

این نتیجه به این معنا می باشد که، ۰/۹۹۸۰۴٪ کل واکس که به حالت معلق در نفت می باشد، دچار ته نشینی می گردد.

کل ذرات جامد واکس موجود در نفت بر خلاف آسفالتین که مقدار ثابتی می باشد، با دما تغییر می کند، که این مقدار برای دمای مورد نظر و با استفاده از بخش مدل ترمودینامیکی تشکیل ذرات جامد واکس، ۰/۱۱۵۸٪ می باشد.

مشابه قبل، با استفاده از دانسیته نفت، وزن کل نفت موجود برابر است با:

$$40.000 \times 115.6271 \times 0.8583 \times 1000 = 3.969.709.597 \text{ kg}$$

۱۱۵۸٪ آن برابر است با:

$$\frac{3.969.709.597 \times 0.1158}{100} = 4.596.923.71 \text{ kg}$$

۹۹۸۰۴٪ این مقدار برابر است با مقدار کل واکس در حال ته نشینی:

$$4.596.923.71 \times 0.99804 = 4.587.913.74$$

مقدار کل واکس در حال ته نشینی = ۴۵۸۷۹۱۳ کیلوگرم

چگالی واکس را ۰/۹۴، در نظر گرفتیم، پس با استفاده از روابط زیر حجم کل واکس در حال

ته نشینی به دست می آید:

$$\frac{4.587.913.74}{0.94 \times 1000} = 4880.7 \text{ liter}$$

$$\frac{4880.7}{115.6271} = 42.21 \text{ barrel}$$

با توجه به توضیحات داده شده در بخش ضریب فشردگی، و با دانستن اینکه ضریب فشردگی ذرات

واکس، برابر ۰/۲ باشد، مقدار کل رسوب ناشی از واکس که در حال ته نشینی می باشد، عبارت است از:

$$\frac{42.21}{0.20} = 211.05 \text{ barrel}$$

اکنون با استفاده از مقادیر زیر می توان ضریب مورد بحث در فصل قبل را که مربوط به درصد ته

نشینی رسوب واکس در یک روز می باشد را به دست آورد.

$$x = \frac{22.065}{500/0.6595} = 0.02910$$

در نتیجه میزان تشکیل رسوب واکس در طی یک روز برابر است با:

$$211.05 \times 0.02910 = 6.1 \frac{\text{barrel}}{\text{day}}$$

این مقدار را می توان با یک حساب ساده به ارتفاع تبدیل کرد:

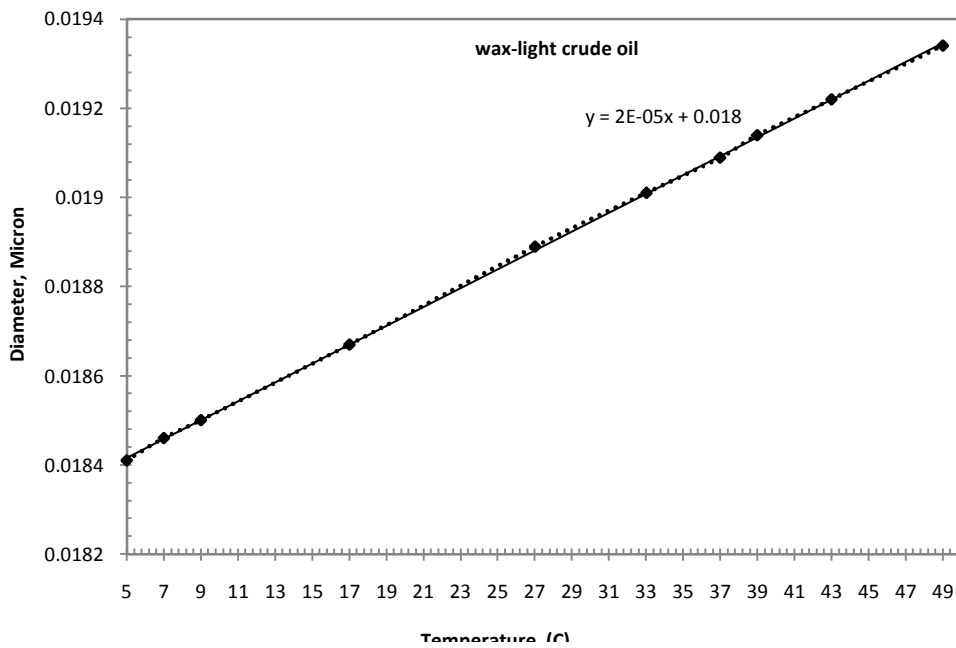
$$\frac{6.1 \times 1133}{1.000.000} = 0.007 \text{ cm}$$

۷-۴- نتایج مقدار رسوب واکس برای دما های مختلف

با استفاده از روند محاسبات تشریح شده در بخش قبل، می توان برای شرایط مختلف دمایی، میزان رسوب واکس را به دست آورد.

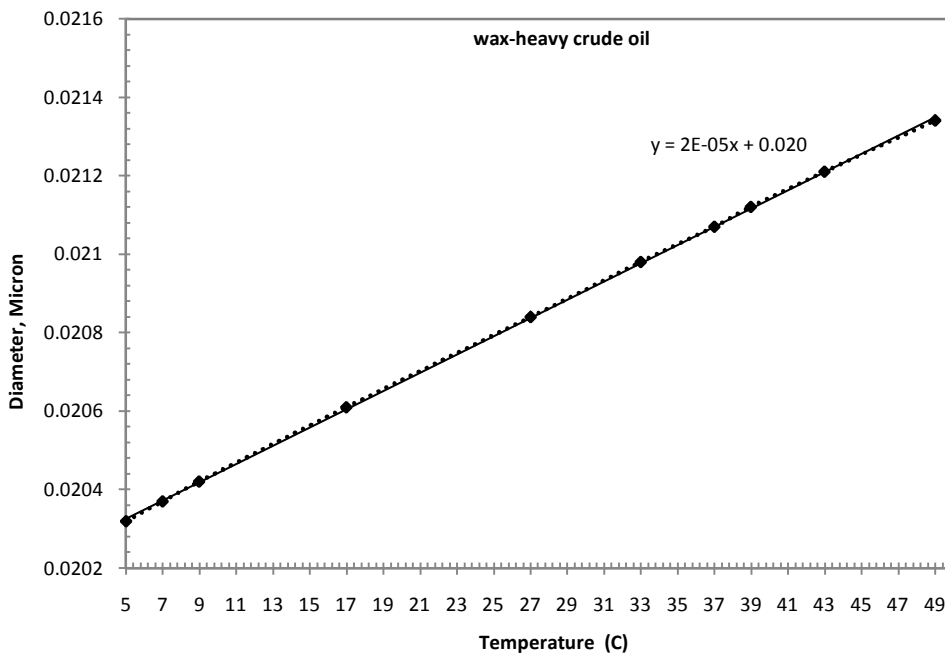
نتایج مربوط به قطر بحرانی ذرات واکس، برای دما های مختلفی که می تواند در شرایط مختلف سال ایجاد گردد، و برای دو نوع نفت سبک و سنگین در نمودار های زیر نشان داده شده است. برای راحتی در محاسبات برای هر کدام از منحنی ها ، یک معادله خط در نظر گرفته شده است.

در شکل (۷-۴) می توان میزان تغییرات قطر بحرانی ذره برای دما های مختلف را برای ذرات واکس موجود در نفت سبک، مشاهده نمود.



شکل (۷-۴) تغییرات قطر بحرانی ذرات واکس برحسب تغییرات دما برای نفت سبک

در شکل (۸-۴) می توان میزان تغییرات قطر بحرانی ذره برای دما های مختلف را برای ذرات واکس موجود در نفت سنگین، مشاهده کرد.



شکل (۸-۴) تغییرات قطر بحرانی ذرات واکس برحسب تغییرات دما برای نفت سنگین

۴-۷-۱- نتایج محاسبات برای نفت سبک

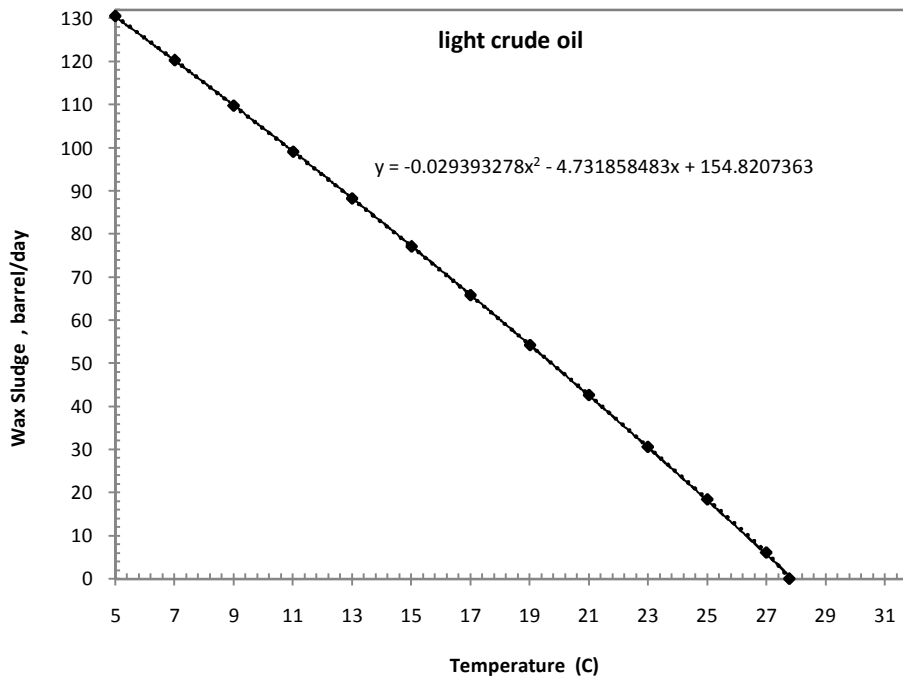
نتایج مربوط به روند حل و تعیین میزان ذرات جامد واکس که در حال ته نشینی هستند، به همراه میزان تشکیل رسوب آنان در جدول و نمودار های زیر به تفکیک نشان داده شده است.

در جدول (۴-۲)، پارامتر های مربوط به روند حل الگوریتم مطرح شده در این فصل، برای دما های مختلف ارائه گردیده است. همانطور که ملاحظه می شود در دما های بالاتر از ۲۷/۷۶ درجه سانتی گراد، نتایج ارائه نشده اند، دلیل این امر این می باشد که در دما های بالاتر از این دما، دیگر رسوب واکس تشکیل نمی شود و این مقدار صفر است.

جدول (۴-۲) نتایج مربوط به محاسبات واکس برای نفت سبک در یک روز

Tem.	%wax preci.	D crit	integ.A	integ.B	integ.Total	wax depo. Kg	wax depo.litr	wax depo.barrel	barrel.sludge
5	2.46275	0.018406	0.936007518	0.062183281	0.9981908	97587148.39	103816	898	131
7	2.26899	0.018448	0.935995582	0.062183281	0.998178863	89908279.77	95647	827	120
9	2.07131	0.018491	0.935983302	0.062183281	0.998166583	82074239.18	87313	755	110
11	1.86971	0.018533	0.93597125	0.062183281	0.998154531	74085082.8	78814	682	99
13	1.66419	0.018576	0.935958851	0.062183281	0.998142132	65940772.88	70150	607	88
15	1.45475	0.018618	0.935946683	0.062183281	0.998129964	57641356.99	61321	530	77
17	1.24139	0.018660	0.935934457	0.062183281	0.998117738	49186820.88	52326	453	66
19	1.02411	0.018703	0.93592188	0.062183281	0.998105161	40577159.79	43167	373	54
21	0.80291	0.018745	0.935909536	0.062183281	0.998092818	31812407.33	33843	293	43
23	0.57779	0.018788	0.935896839	0.062183281	0.998080121	22892549.6	24354	211	31
25	0.34875	0.018830	0.935884379	0.062183281	0.99806766	13817610.21	14700	127	18
27	0.11579	0.018872	0.93587186	0.062183281	0.998055142	4587587.148	4880	42	6
27.76	0	0.018889	0.935866777	0.062183281	0.998050058	0	0	0	0

در شکل (۴-۹)، می توان میزان تشکیل رسوب واکس را برای دما های مختلف، در یک روز مشاهده کرد. برای سادگی در محاسبات مراحل بعدی، یک معادله خط برای این گراف در نظر گرفته شده است.



شکل (۹-۴) میزان رسوب واکس برحسب دما های مختلف برای نفت سبک

۴-۷-۲- نتایج محاسبات برای نفت سنگین

روش حل برای نفت سنگین نیز مشابه نفت سبک می باشد، با این تفاوت که برخی از پارامتر های مشخصات نفت تفاوت دارد. در ضمن مقادیر به دست آمده برای ضریب مطرح شده در قبل که مربوط به زمان ته نشینی می باشد برای واکس نفت سنگین به قرار زیر محاسبه شده اند:

برای واکس: ۰/۰۲۱۶۵

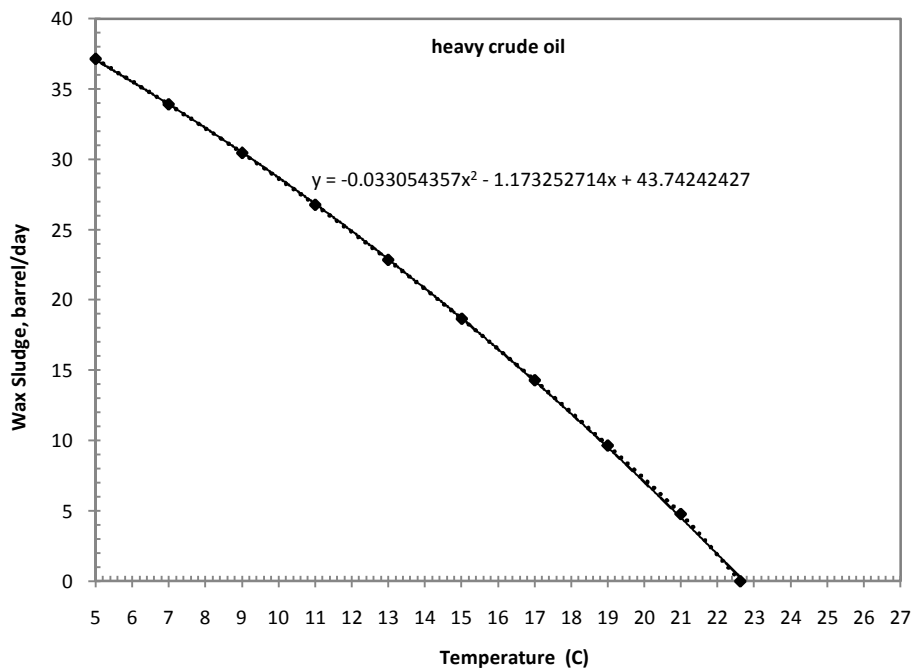
نتایج مربوط به میزان ذرات واکس که در حال ته نشینی هستند، به همراه میزان تشکیل رسوب برای نفت سنگین در جداول و نمودار های زیر به تفکیک نشان داده شده است. در جدول (۳-۴) پارامتر های مربوط به روند حل محاسبات، ارائه گردیده اند.

جدول (۳-۴) نتایج مربوط به محاسبات واکس برای نفت سنگین در یک روز

Tem.	%wax preci.	D crit	integ.A	integ.B	integ.Total	wax depo. Kg	wax depo.litr	wax depo.barrel	barrel-sludge
5	0.9415	0.020316	0.935405254	0.06218328	0.997588536	37284687.82	39665	343	37
7	0.85974	0.020362	0.935389208	0.06218328	0.997572489	34046332.33	36220	313	34
9	0.77206	0.020409	0.935372736	0.06218328	0.997556017	30573635.4	32525	281	30
11	0.67846	0.020455	0.935356538	0.06218328	0.99753982	26866631.96	28582	247	27
13	0.57894	0.020502	0.935339912	0.06218328	0.997523193	22925314.17	24389	211	23
15	0.4735	0.020548	0.935323563	0.06218328	0.997506844	18749712.15	19947	173	19
17	0.36214	0.020594	0.935307139	0.06218328	0.99749042	14339828.85	15255	132	14
19	0.24486	0.020641	0.93529028	0.06218328	0.997473561	9695673.351	10315	89	10
21	0.12166	0.020687	0.935273704	0.06218328	0.997456985	4817267.081	5125	44	5
22.6	0	0.020725	0.935259953	0.06218328	0.997443234	0	0	0	0
25	0	0.020780	0.93523996	0.06218328	0.997423241	0	0	0	0
27	0	0.020826	0.935223155	0.06218328	0.997406436	0	0	0	0

در شکل (۴-۱۰) می توان میزان تشکیل رسوب واکس برای دما های مختلف، در یک روز و برای

نفت سنگین، را مشاهده نمود.



شکل (۴-۱۰) میزان رسوب واکس برحسب دما های مختلف برای نفت سنگین

فصل پنجم

تعیین میزان رسوب برای رنگ های

مختلف مخزن



۵-۱- مقدمه

در بخش اول فصل حاضر، میزان کل رسوب تشکیل شده برای دما های مختلف، که حاصل جمع بندی فصول ۳ و ۴ می باشد، به صورت نمودار هایی ارائه گردیده است.

همانطور که در فصل اول ذکر گردید، هدف اصلی این پایان نامه، بررسی اثر تابش خورشیدی بر میزان تشکیل رسوب درون مخازن ذخیره نفت می باشد. میزان تابش خورشیدی و همچنین سایر شرایط اقلیمی و آب و هوایی، اثر خود را بر دمای نفت خام ذخیره شده، می گذارند. به منظور تعیین میزان تابش خورشیدی و متوسط دمای نفت خام ذخیره شده، از نتایج یک پایان نامه موازی با کار حاضر، استفاده شده است. در قسمت دوم این فصل به ارائه و تحلیل این نتایج پرداخته شده است.

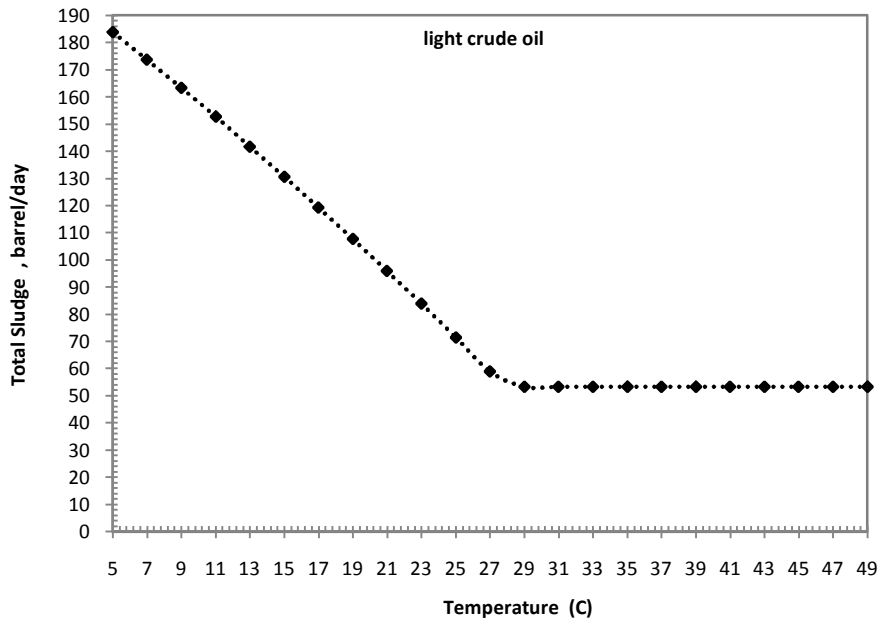
در ادامه نتایج مربوط به میزان تشکیل رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف، برای ماه های مختلف سال ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که دمای مورد نظر برای هر مورد، از اطلاعات مربوط به بخش دوم همین فصل، استخراج گردیده است. نمودار های مربوط به میزان تشکیل رسوب ماهانه و سالانه برای هر دو نوع نفت سبک و سنگین نیز ارائه شده است.

۵-۲- نتایج مربوط به تعیین میزان کل رسوب

همانطور که در فصول قبلی ذکر گردید، کل رسوب تشکیل شده در کف مخزن، شامل رسوب ها با منشا آسفالتین و واکس، در نظر گرفته شده است. در فصل های ۳ و ۴، ارتباط میزان رسوب آسفالتین و واکس را با دما، به صورت جداگانه تعیین شد. اکنون نتایج مربوط به میزان تشکیل رسوب کل، برای دما های مختلف ارائه گردیده است.

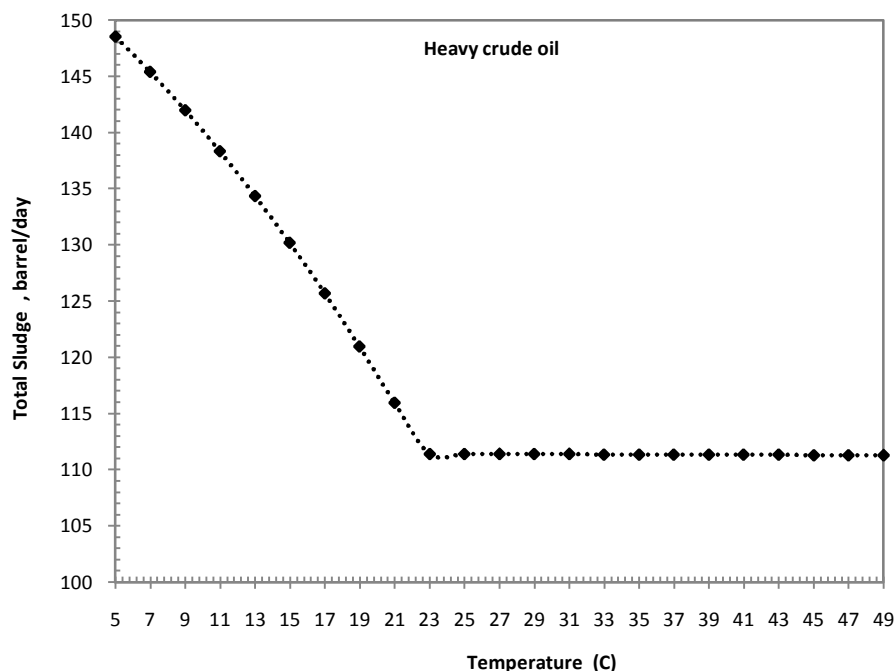
در شکل (۵-۱) میزان کل رسوب جمع شده در کف مخزن برای نفت سبک، نشان داده شده

است.



شکل (۱-۵) میزان کل رسوب برحسب دما های مختلف برای نفت سبک

همانطور که در نمودار فوق مشهود است، در دما های بالاتر از ۲۸ درجه سانتی گراد، میزان رسوب، تقریباً ثابت می باشد که دلیل این امر حذف رسوبات واکسی، از میزان کل رسوب می باشد. میزان تغییرات مقدار کل رسوب جمع شده در کف مخزن در یک روز برای دما های مختلف برای نفت سنگین، در شکل (۲-۵) ترسیم گردیده است.



شکل (۲-۵) میزان کل رسوب برحسب دما های مختلف برای نفت سنگین

با توجه به نمودار فوق، مشاهده می شود که با کاهش دما تا ۲۳ درجه سانتی گراد، میزان رسوب برای نفت سنگین تغییر زیادی نمی کند، ولی با کاهش بیشتر دمای متوسط نفت خام، میزان رسوب شدیداً افزایش یافته که دلیل آن، اضافه شدن رسوبات واکسی به میزان کل رسوب می باشد.

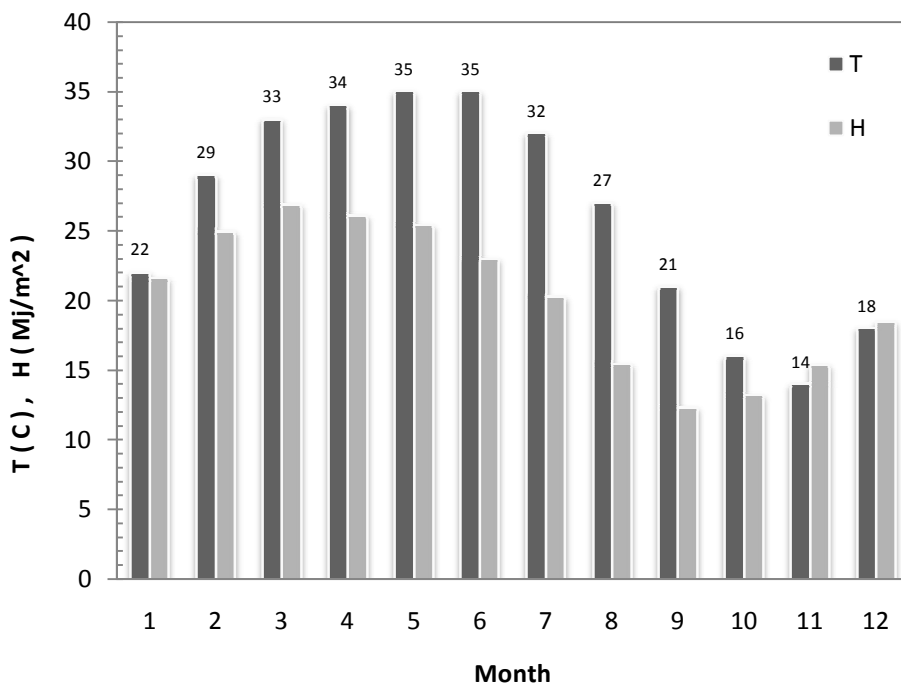
۳-۵- نتایج مربوط به دمای نفت خام

همانطور که مطرح شد، نتایج مربوط به تعیین میزان دمای نفت خام درون مخزن، از یک پایان نامه موازی با کار حاضر، استخراج گردیده است. با توجه به اهمیت شرکت پایانه های نفتی خارک که در فصل اول ذکر شد، اثرات تابش خورشیدی در این منطقه بررسی و تحلیل گردیده است.

از طرفی مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک به عنوان مخزن مورد مطالعه^۱، انتخاب و اندازه گیری های تجربی بر روی این مخزن، انجام گردیده است.

روش های مختلفی برای محاسبه میزان تابش خورشیدی، متناسب با شرایط جغرافیایی و آب و هوایی هر منطقه وجود دارد، که روش انگسترم^۲ بیشترین مطابقت را با شرایط منطقه ایران و خارک دارا می باشد.

برای تعیین دما متوسط نفت خام برای هر ماه از سال نیز از نتایج حاصل شده از پایان نامه موازی کار حاضر، که با نرم افزار وینترم^۳ محاسبه شده است، استفاده شده است. این نتایج در بخش بعدی ارائه و استفاده گردیده اند.



شکل (۳-۵) متوسط تابش روزانه و دمای متوسط برای هر ماه

¹ Case study

² Angstrom

³ Wintherm

در شکل (۳-۵) می توان متوسط تابش روزانه و متوسط دمای محیط را برای هر ماه از سال مشاهده نمود. لازم به ذکر است که شماره ۱ معادل فروردین ماه و شماره ۱۲ معادل اسفند ماه می باشد، همچنین منطقه مورد بررسی، جزیره خارک می باشد.

در ادامه نتایج مربوط دما و میزان تشکیل رسوب برای ماه های مختلف سال برای مخازن با رنگ های مختلف (۷ رنگ)، برای هر دو نوع نفت خام سبک و سنگین، ارائه و تحلیل گردیده است.

۴-۵- نفت سبک

نتایج مربوط به میزان تشکیل رسوب برای ماه های مختلف سال، برای نفت سبک و مخازن با رنگ های مختلف، در زیر ارائه گردیده است. در ۱۲ جدول زیر، ستون اول، رنگ جداره خارجی مخزن را بیان می کند. ستون دوم دمای متوسط نفت خام را برای ماه مورد نظر نشان می دهد. در ستون سوم میزان تشکیل رسوب آسفالتین، ستون پنجم، رسوب واکس بر حسب بشکه در یک روز، بیان شده است. نهایتاً در ستون چهارم میزان تشکیل رسوب کل، متناسب با شرایط تشریح شده، ارائه گردیده است.

جدول (۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مهر ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	29.173	53.35	53.3511	0
white	29.251	53.35	53.3509	0
yellow	29.307	53.35	53.3508	0
green	29.421	53.35	53.3505	0
alum galvanize	29.456	53.35	53.3504	0
brown	29.57	53.35	53.3502	0
black	29.66	53.35	53.3500	0

جدول (۱-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در مهر ماه می باشد. مشاهده می شود که رسوب ناشی از ذرات واکس، صفر می باشد که دلیل آن بیشتر بودن دمای نفت از دمای ظهور ذرات واکس می باشد.

همچنین مشهود است که در ماه مهر، تفاوت رنگ مخزن، تاثیر کمی بر میزان تشکیل رسوب در کف مخزن دارد.

جدول (۲-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آبان ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	26.106	53.3582	64.6	11.3
white	26.165	53.3581	64.2	10.9
yellow	26.206	53.3580	64.0	10.6
green	26.29	53.3578	63.5	10.1
alum galvanize	26.335	53.3577	63.2	9.8
brown	26.4	53.358	62.8	9.4
black	26.47	53.357	62.3	9.0

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در آبان ماه می باشد. ملاحظه می شود که بخشی از رسوب کل را رسوب ناشی از ذرات واکس، تشکیل می دهند. ملاحظه می شود که بیشترین تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۲/۳ بشکه در روز می باشد.

جدول (۳-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آذر ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	20.101	53.3722	101.2	47.8
white	20.155	53.3720	100.9	47.5
yellow	20.194	53.3720	100.7	47.3
green	20.272	53.3718	100.2	46.8
alum galvanize	20.304	53.3717	100.0	46.6
brown	20.37	53.3715	99.6	46.2
black	20.43	53.3714	99.3	45.9

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه آذر می باشد. با توجه به کاهش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس افزایش یافته ولی همچنان کمتر از رسوبات آسفالتینی می باشد. ملاحظه می شود که بیشترین تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۱/۹ بشکه در روز می باشد.

جدول (۴-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در دی ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	14.117	53.3861	135.5	82.2
white	14.167	53.3860	135.3	81.9
yellow	14.204	53.3859	135.1	81.7
green	14.277	53.3857	134.7	81.3
alum galvanize	14.297	53.3857	134.5	81.2
brown	14.37	53.3855	134.1	80.8
black	14.43	53.3854	133.8	80.4

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه دی می باشد. با توجه به کاهش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس افزایش یافته و بیشتر از رسوبات آسفالتینی می باشد. ملاحظه می شود که حداکثر تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۱/۷ بشکه در روز می باشد.

جدول (۵-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در بهمن ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	12.143	53.3907	146.4	93.0
white	12.206	53.3905	146.1	92.7
yellow	12.252	53.3904	145.8	92.4
green	12.343	53.3902	145.3	91.9
alum galvanize	12.373	53.3901	145.2	91.8
brown	12.46	53.3899	144.7	91.3
black	12.53	53.3898	144.3	90.9

مشابه قبل، جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، می باشد که ماه شمسی مورد مطالعه، بهمن ماه است. در این ماه، کمترین مقدار دمای متوسط نفت خام را در بین ماه های مختلف سال دارا هستیم. بطبع بنا به نتایج مربوط به فصل قبل، بیشترین مقدار تشکیل رسوب ناشی از ذرات واکس در این ماه اتفاق می افتد. ملاحظه می شود که حداکثر تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۲/۱ بشکه در روز می باشد.

جدول (۵-۶) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اسفند ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	15.167	53.3836	129.7	76.3
white	15.24	53.3835	129.3	75.9
yellow	15.292	53.3834	129.0	75.6
green	15.397	53.3831	128.4	75.0
alum galvanize	15.434	53.3830	128.2	74.8
brown	15.53	53.3828	127.6	74.2
black	15.62	53.3826	127.1	73.7

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب به صورت تفکیک شده، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه اسفند می باشد. با توجه به افزایش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس کاهش یافته ولی همچنان بیشتر از رسوبات آسفالتینی می باشد. ملاحظه می شود که حداکثر تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۲/۶ بشکه در روز می باشد.

جدول (۵-۷) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در فروردین ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	19.204	53.3743	106.5	53.1
white	19.286	53.3741	106.0	52.6
yellow	19.346	53.3739	105.7	52.3
green	19.467	53.3736	104.9	51.6
alum galvanize	19.499	53.3736	104.8	51.4
brown	19.62	53.3733	104.0	50.7
black	19.72	53.3731	103.5	50.1

جدول فوق مشابه جداول قبل، بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب به صورت تفکیک شده، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه فروردین می باشد. با توجه به افزایش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس کاهش یافته و کمی کمتر از رسوبات آسفالتینی می باشد. ملاحظه می شود که حداکثر تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۳ بشکه در روز می باشد.

جدول (۵-۸) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اردیبهشت ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	25.256	53.3602	69.9	16.6
white	25.348	53.3600	69.4	16.0
yellow	25.416	53.3598	68.9	15.6
green	25.552	53.3595	68.1	14.7
alum galvanize	25.58	53.3594	67.9	14.5
brown	25.73	53.3591	67.0	13.6
black	25.84	53.3588	66.3	12.9

جدول فوق مشابه جداول قبل، بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب به صورت تفکیک شده، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه اردیبهشت می باشد. با توجه به افزایش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس کاهش یافته و بسیار کمتر از رسوبات آسفالتینی می باشد. ملاحظه می شود که حداکثر تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف در این ماه، ۳/۶ بشکه در روز می باشد.

جدول (۵-۹) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در خرداد ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	30.28	53.3485	53.349	0
white	30.373	53.3483	53.348	0
yellow	30.443	53.3481	53.348	0
green	30.582	53.3478	53.348	0
alum galvanize	30.603	53.3478	53.348	0
brown	30.76	53.3474	53.347	0
black	30.87	53.3471	53.347	0

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در خرداد ماه می باشد. مشاهده می شود که رسوب ناشی از ذرات واکس، صفر می باشد که دلیل آن بیشتر بودن دمای نفت از دمای ظهور ذرات واکس می باشد. همچنین مشهود است که در ماه خرداد، تفاوت رنگ مخزن، تاثیر کمی بر میزان تشکیل رسوب در کف مخزن دارد.

جدول (۵-۱۰) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در تیر ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	32.24	53.3440	53.3440	0
white	32.329	53.3438	53.3438	0
yellow	32.394	53.3436	53.3436	0
green	32.524	53.3433	53.3433	0
alum galvanize	32.556	53.3432	53.3432	0
brown	32.69	53.3429	53.3429	0
black	32.8	53.3427	53.3427	0

نتایج مربوط به دما و میزان تشکیل رسوب به صورت تفکیک شده، برای مخزن مورد بحث، در تیر ماه در نمودار فوق بیان شده است. مشابه ماه گذشته (خرداد)، سهم ذرات واکس از رسوب، صفر می باشد.

جدول (۵-۱۱) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مرداد ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	32.262	53.3439	53.3439	0
white	32.351	53.3437	53.3437	0
yellow	32.418	53.3435	53.3435	0
green	32.551	53.3432	53.3432	0
alum galvanize	32.574	53.3432	53.3432	0
brown	32.72	53.3428	53.3428	0
black	32.83	53.3426	53.3426	0

نتایج مربوط به دما و میزان تشکیل رسوب به صورت تفکیک شده، برای مخزن مورد بحث، در مرداد ماه در نمودار فوق بیان شده است. مشابه ماه گذشته (تیر)، سهم ذرات واکس از رسوب، صفر می باشد.

جدول (۵-۱۲) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در شهریور ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	32.232	53.3440	53.3440	0
white	32.319	53.3438	53.3438	0
yellow	32.384	53.3436	53.3436	0
green	32.514	53.3433	53.3433	0
alum galvanize	32.538	53.3433	53.3433	0
brown	32.68	53.3429	53.3429	0
black	32.78	53.3427	53.3427	0

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در شهریور ماه می باشد. مشاهده می شود که رسوب ناشی از ذرات واکس، صفر می باشد که دلیل آن مشابه ماه قبلی، بیشتر بودن دمای نفت از دمای ظهور ذرات واکس می باشد. همچنین مشهود است که در ماه شهریور، تفاوت رنگ مخزن، تاثیر کمی بر میزان تشکیل رسوب در کف مخزن دارد.

در جدول (۵-۱۳)، مقدار رسوب کل تشکیل شده برای هر یک از ماه های سال، برای مخزن با رنگ های مختلف ارائه گردیده است. با توجه به تعداد ماه های هر سال به راحتی می توان مقدار کل رسوب تشکیل شده در یک سال را بر حسب ارتفاع بیان نمود، که برای مخازن با رنگ های مختلف در جداول موجود می باشند.

جدول (۵-۱۳) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید براق^۱

Color	White zinc oxide			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge-mm
Farvardin	31	106.5	3301.5	37.406
Ordibehesht	31	69.9	2166.9	24.551
Khordad	31	53.349	1653.819	18.738
Tir	31	53.344	1653.664	18.736
Mordad	31	53.343	1653.633	18.736
Shahrivar	31	53.344	1653.664	18.736
Mehr	30	53.351	1600.53	18.134
Aban	30	64.6	1938	21.958
Azar	30	101.2	3036	34.398
Dey	30	135.5	4065	46.056
Bahaman	30	146.4	4392	49.761
Esfand	30	129.7	3891	44.085
Sludge for one year		31005.7		351.3

جدول فوق، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سفید براق حاوی نفت سبک را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۵۱/۵ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود.

¹ White zinc oxide

جدول (۵-۱۴) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید^۱

Color		White		
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	106	3286	37.230
Ordibehesht	31	69.4	2151.4	24.375
Khordad	31	53.348	1653.788	18.737
Tir	31	53.343	1653.633	18.736
Mordad	31	53.343	1653.633	18.736
Shahrivar	31	53.343	1653.633	18.736
Mehr	30	53.35	1600.5	18.134
Aban	30	64.2	1926	21.822
Azar	30	100.9	3027	34.296
Dey	30	135.3	4059	45.988
Bahaman	30	146.1	4383	49.659
Esfand	30	129.3	3879	43.949
Sludge for one year		30926.6		350.4

جدول (۵-۱۴) نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سفید معمولی حاوی نفت

سبک را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۵۰/۴ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۳۰۹۲۶ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۵-۱۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ زرد^۲

Color		Yellow		
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	105.7	3276.7	37.125
Ordibehesht	31	68.9	2135.9	24.200
Khordad	31	53.348	1653.788	18.737
Tir	31	53.343	1653.633	18.736
Mordad	31	53.343	1653.633	18.736
Shahrivar	31	53.343	1653.633	18.736
Mehr	30	53.35	1600.5	18.134
Aban	30	64	1920	21.754
Azar	30	100.7	3021	34.228
Dey	30	135.1	4053	45.920
Bahaman	30	145.8	4374	49.557
Esfand	30	129	3870	43.847
Sludge for one year		30865.8		349.7

¹ White

² Yellow

جدول (۵-۱۵) نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ زرد حاوی نفت سبک را

بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۴۹/۷ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف

مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۳۰۸۶۵ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۵-۱۶) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سبز^۱

Color		Green		
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	104.9	3251.9	36.844
Ordibehesht	31	68.1	2111.1	23.919
Khordad	31	53.348	1653.788	18.737
Tir	31	53.343	1653.633	18.736
Mordad	31	53.343	1653.633	18.736
Shahrivar	31	53.343	1653.633	18.736
Mehr	30	53.35	1600.5	18.134
Aban	30	63.5	1905	21.584
Azar	30	100.2	3006	34.058
Dey	30	134.7	4041	45.785
Bahaman	30	145.3	4359	49.387
Esfand	30	128.4	3852	43.643
Sludge for one year		30741.2		348.3

جدول (۵-۱۷) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ آلومینیومی^۲

Color		Aluminum galvanized		
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	104.8	3248.8	36.809
Ordibehesht	31	67.9	2104.9	23.849
Khordad	31	53.348	1653.788	18.737
Tir	31	53.343	1653.633	18.736
Mordad	31	53.343	1653.633	18.736
Shahrivar	31	53.343	1653.633	18.736
Mehr	30	53.35	1600.5	18.134
Aban	30	63.2	1896	21.482
Azar	30	100	3000	33.990
Dey	30	134.5	4035	45.717
Bahaman	30	145.2	4356	49.353
Esfand	30	128.2	3846	43.575
Sludge for one year		30701.9		347.9

¹ Green

² Aluminum galvanized

جدول (۵-۱۶) نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سبز حاوی نفت سبک را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۴۸/۳ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۳۰۷۴۱ بشکه رسوب می باشد. جدول (۵-۱۷) نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ آلومینیومی حاوی نفت سبک را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۴۷/۹ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۳۰۷۰۱ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۵-۱۸) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ قهوه ای^۱

Color	brown			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	104	3224	36.528
Ordibehesht	31	67	2077	23.532
Khordad	31	53.347	1653.757	18.737
Tir	31	53.3429	1653.6299	18.736
Mordad	31	53.3428	1653.6268	18.736
Shahrivar	31	53.3429	1653.6299	18.736
Mehr	30	53.3502	1600.506	18.134
Aban	30	62.8	1884	21.346
Azar	30	99.6	2988	33.854
Dey	30	134.1	4023	45.581
Bahaman	30	144.7	4341	49.184
Esfand	30	127.6	3828	43.371
Sludge for one year		30580.1		346.5

جدول فوق نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ قهوه ای حاوی نفت سبک را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۴۶/۵ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۳۰۵۸۰ بشکه رسوب می باشد.

¹ Brown

جدول (۵-۱۹) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سیاه^۱

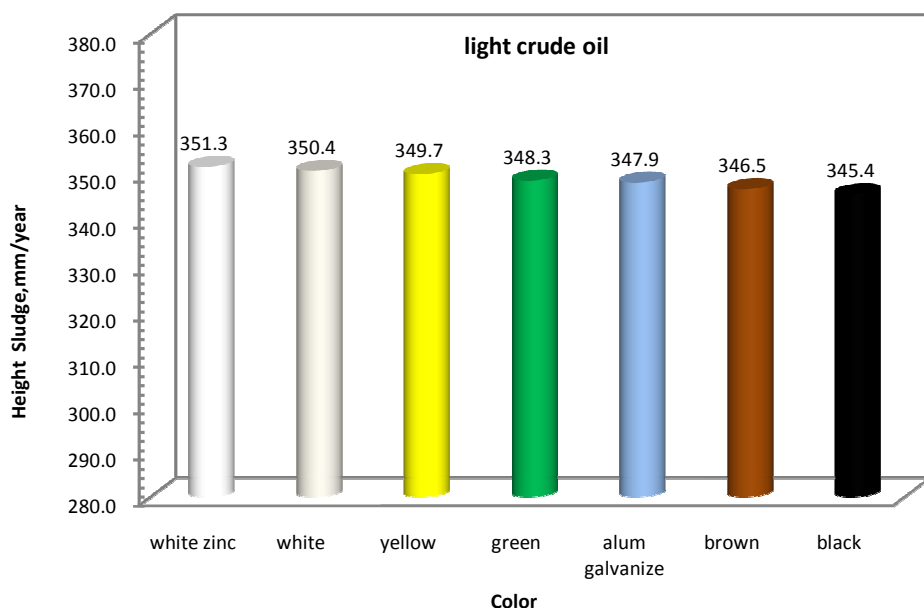
Color	black			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	103.5	3208.5	36.352
Ordibehesht	31	66.3	2055.3	23.287
Khordad	31	53.347	1653.757	18.737
Tir	31	53.3427	1653.6237	18.736
Mordad	31	53.3426	1653.6206	18.736
Shahrivar	31	53.3427	1653.6237	18.736
Mehr	30	53.35	1600.5	18.134
Aban	30	62.3	1869	21.176
Azar	30	99.3	2979	33.752
Dey	30	133.8	4014	45.479
Bahaman	30	144.3	4329	49.048
Esfand	30	127.1	3813	43.201
Sludge for one year		30482.9		345.4

جدول فوق نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سیاه حاوی نفت سبک را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۳۴۵/۴ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۳۰۴۸۲ بشکه رسوب می باشد.

لذا از جداول فوق می توان تفاوت میزان رسوب تشکیل شده برای مخازن مشابه و با رنگ های مختلف را فهمید. مثلاً این مقدار تفاوت برای یک مخزن یک میلیون بشکه ای با رنگ سفید همراه با اکسید روی (سفید براق) حاوی نفت سبک، با مخزن مشابه، با رنگ آلومنیومی، حدوداً ۳/۴ میلیمتر ارتفاع رسوب در یک سال می باشد. همچنین از جداول فوق می توان فهمید که میزان رسوب در ماه های مختلف سال برای رنگ سفید براق از همه بیشتر و برای رنگ سیاه از همه کمتر، می باشد. نکته مهم در نمودار های فوق، این مطلب می باشد که، میزان تشکیل رسوب در ماه بهمن، در مقایسه با سایر ماه های سال، بیشترین مقدار را دارد. در ادامه، نتایج مربوط به میزان رسوب تشکیل شده در یک سال را برای مخازن با رنگ های مختلف مطرح گردیده است.

¹ Black

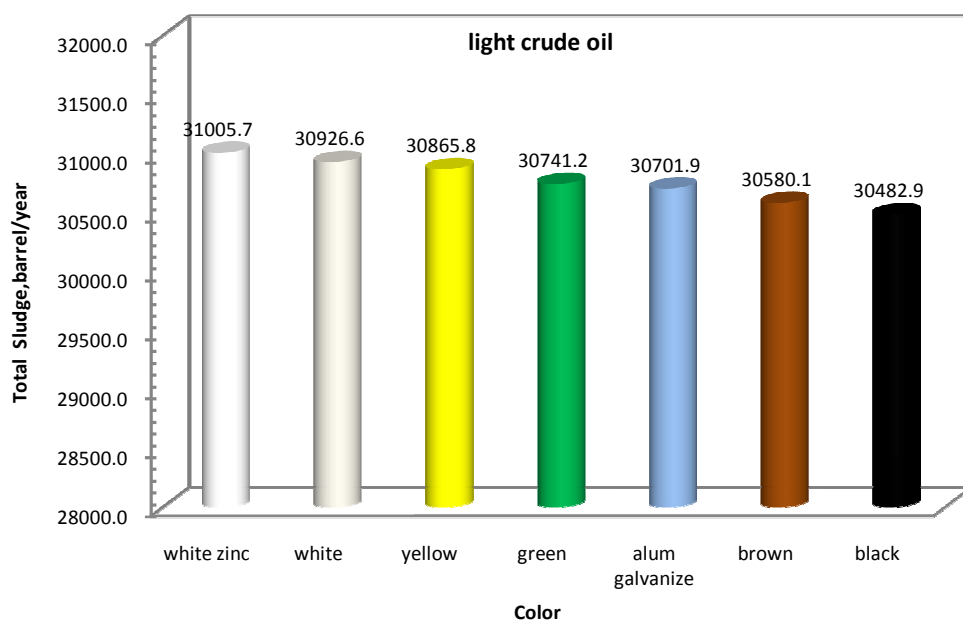
لازم به ذکر است که این نتایج مربوط به نفت سبک می باشد.



شکل (۴-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سبک

در شکل (۴-۵)، میزان ارتفاع رسوب تشکیل شده برای مخازن مشابه که دارای رنگ های

مختلف می باشند، در یک سال، ارائه گردیده است.



شکل (۵-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سبک

در شکل (۵-۵) نیز، میزان رسوب تشکیل شده برای مخازن مشابه که دارای رنگ های مختلف می باشند، در یک سال، ارائه گردیده است.

۵-۵- نفت سنگین

نتایج مربوط به میزان تشکیل رسوب برای ماه های مختلف سال، برای نفت سنگین و مخازن با رنگ های مختلف، در زیر ارائه گردیده است. در ۱۲ جدول زیر، مشابه نفت سبک، ستون اول رنگ جداره خارجی مخزن را بیان می کند. ستون دوم دمای متوسط نفت خام را برای ماه مورد نظر، نشان می دهد. در ستون سوم میزان تشکیل رسوب آسفالتین، ستون پنجم، رسوب واکس، بر حسب بشکه، در یک روز، بیان شده است. نهایتاً در ستون چهارم میزان تشکیل رسوب کل، متناسب با شرایط تشریح شده، ارائه گردیده است.

در جداول و نمودار های زیر نتایج مربوط به محاسبات نفت سنگین ارائه گردیده است.

جدول (۲۰-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مهر ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	35.93	111.3512	111.3512	0
white	35.96	111.3511	111.3511	0
yellow	35.98	111.3510	111.3510	0
green	36.01	111.3508	111.3508	0
alum galvanize	36.04	111.3506	111.3506	0
brown	36.07	111.3505	111.3505	0
black	36.1	111.3503	111.3503	0

جدول (۲۰-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در مهر ماه می باشد. مشاهده می شود که رسوب ناشی از ذرات واکس، صفر می باشد که دلیل آن بیشتر بودن دمای نفت از دمای ظهور ذرات واکس می باشد. همچنین مشهود است که در ماه مهر، تفاوت رنگ مخزن، تاثیر کمی بر میزان تشکیل رسوب در کف مخزن دارد.

جدول (۲۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آبان ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	30.94	111.3770	111.3770	0.0
white	30.96	111.3769	111.3769	0.0
yellow	30.98	111.3768	111.3768	0.0
green	31	111.3767	111.3767	0.0
alum galvanize	31.02	111.3766	111.3766	0.0
brown	31.04	111.3765	111.3765	0.0
black	31.06	111.3764	111.3764	0.0

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک

مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در آبان ماه می باشد. ملاحظه می شود که مشابه ماه مهر، سهم ذرات واکس از رسوب، صفر می باشد، چرا که دمای نفت خام در این ماه بیشتر از ۲۳ درجه سانتی گراد (دمای ظهور ذرات واکس برای نفت سنگین) است.

جدول (۲۲-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در آذر ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	24.95	111.4079	111.408	0.0
white	24.96	111.4079	111.408	0.0
yellow	24.98	111.4078	111.408	0.0
green	25	111.4077	111.408	0.0
alum galvanize	25.02	111.4076	111.408	0.0
brown	25.04	111.4075	111.407	0.0
black	25.06	111.4074	111.407	0.0

جدول (۲۲-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک

مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در آذر ماه می باشد. ملاحظه می شود که مشابه ماه مهر و آبان، سهم ذرات واکس از رسوب، صفر می باشد.

جدول (۲۳-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در دی ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	19.94	111.4338	118.64	7.21
white	19.95	111.4338	118.61	7.18
yellow	19.96	111.4337	118.59	7.16
green	19.99	111.4335	118.51	7.08
alum galvanize	20	111.4335	118.49	7.06
brown	20.02	111.4334	118.44	7.01
black	20.04	111.4333	118.39	6.96

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه دی می باشد. با توجه به کاهش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس افزایش یافته ولی همچنان بسیار کمتر از رسوبات آسفالتینی می باشد. ملاحظه می شود که بیشترین تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۰/۲۵ بشکه در روز می باشد.

جدول (۲۴-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در بهمن ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	17.96	111.4440	123.45	12.0
white	17.98	111.4439	123.41	12.0
yellow	17.99	111.4439	123.38	11.9
green	18.02	111.4437	123.31	11.9
alum galvanize	18.03	111.4437	123.29	11.8
brown	18.06	111.4435	123.22	11.77
black	18.09	111.4434	123.14	11.70

جدول (۲۴-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه بهمن می باشد. با توجه به کاهش دما نسبت به ماه قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس افزایش یافته. ملاحظه می شود که بیشترین تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۰/۲۳ بشکه در روز می باشد. کمترین مقدار دما در بین ماه های سال در بهمن ماه رخ می دهد. جدول زیر بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در ماه اسفند می باشد. با توجه به افزایش دما نسبت به ماه

قبل، میزان رسوب ناشی از ذرات واکس کاهش یافته و بسیار کم می باشد. ملاحظه می شود که بیشترین تفاوت میزان تشکیل رسوب بین رنگ های مختلف، ۰/۳۹ بشکه در روز می باشد.

جدول (۵-۲۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اسفند ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	21.94	111.4235	113.51	2.1
white	21.96	111.4234	113.46	2.0
yellow	21.98	111.4233	113.41	2.0
green	22.01	111.4231	113.33	1.9
alum galvanize	22.03	111.4230	113.28	1.9
brown	22.07	111.4228	113.17	1.75
black	22.09	111.4227	113.12	1.70

جدول (۵-۲۶) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در فروردین ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	25.96	111.4027	111.4027	0.0
white	25.98	111.4026	111.4026	0.0
yellow	26	111.4025	111.4025	0.0
green	26.04	111.4023	111.4023	0.0
alum galvanize	26.06	111.4022	111.4022	0.0
brown	26.1	111.4020	111.4020	0.0
black	26.13	111.4018	111.4018	0.0

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن ۱ میلیون بشکه ای، با رنگ های مختلف، در فروردین ماه می باشد. ملاحظه می شود که مشابه ماه مهر و آبان و آذر، سهم ذرات واکس از رسوب، صفر می باشد، چرا که دمای نفت خام در این ماه بیشتر از ۲۳ درجه سانتی گراد (دمای ظهور ذرات واکس برای نفت سنگین) است.

جدول (۵-۲۷) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در اردیبهشت ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	32.95	111.3666	111.3666	0.0
white	32.99	111.3664	111.3664	0.0
yellow	33.01	111.3663	111.3663	0.0
green	33.05	111.3661	111.3661	0.0
alum galvanize	33.07	111.3660	111.3660	0.0
brown	33.12	111.3657	111.3657	0.0
black	33.16	111.3655	111.3655	0.0

جدول (۲۷-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در اردیبهشت ماه می باشد. باز هم سهم ذرات واکس از رسوب، در این ماه نیز صفر می باشد.

جدول (۲۸-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در خرداد ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	36.98	111.3458	111.3458	0
white	37.02	111.3456	111.3456	0
yellow	37.04	111.3455	111.3455	0
green	37.08	111.3453	111.3453	0
alum galvanize	37.1	111.3452	111.3452	0
brown	37.15	111.3449	111.3449	0
black	37.18	111.3448	111.3448	0

جدول فوق بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در خرداد ماه می باشد. باز هم سهم ذرات واکس از رسوب، در این ماه صفر می باشد.

جدول (۲۹-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در تیر ماه

Color	Tem.	Asph.sludge·barrel	Total sludge·barrel	Wax sludge·barrel
white zinc	37.98	111.3406	111.3406	0
white	38.01	111.3405	111.3405	0
yellow	38.03	111.3404	111.3404	0
green	38.07	111.3402	111.3402	0
alum galvanize	38.09	111.3401	111.3401	0
brown	38.15	111.3397	111.3397	0
black	38.17	111.3396	111.3396	0

جدول (۲۹-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در تیر ماه می باشد. باز هم سهم ذرات واکس از رسوب، در این ماه صفر می باشد و میزان تشکیل رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف، تفاوت زیادی نمی کند. جدول زیر بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های

مختلف، در مرداد ماه می باشد و مشابه ماه قبل، سهم ذرات واکس از رسوب، در این ماه صفر می باشد و میزان تشکیل رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف، تفاوت زیادی نمی کند.

جدول (۳۰-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در مرداد ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	38.97	111.3355	111.3355	0
white	39	111.3354	111.3354	0
yellow	39.02	111.3353	111.3353	0
green	39.06	111.3350	111.3350	0
alum galvanize	39.08	111.3349	111.3349	0
brown	39.13	111.3347	111.3347	0
black	39.16	111.3345	111.3345	0

جدول (۳۱-۵) تعیین میزان رسوب برای رنگ های مختلف در شهریور ماه

Color	Tem.	Asph.sludge+barrel	Total sludge+barrel	Wax sludge+barrel
white zinc	38.96	111.3356	111.3356	0
white	38.99	111.3354	111.3354	0
yellow	39.02	111.3353	111.3353	0
green	39.06	111.3350	111.3350	0
alum galvanize	39.09	111.3349	111.3349	0
brown	39.13	111.3347	111.3347	0
black	39.16	111.3345	111.3345	0

جدول (۳۱-۵) بیانگر دما و میزان تشکیل رسوب آسفالتین و واکس و رسوب کل، برای یک مخزن، با رنگ های مختلف، در شهریور ماه می باشد و مشابه ماه قبل (مرداد)، سهم ذرات واکس از رسوب، در این ماه صفر می باشد و میزان تشکیل رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف، تفاوت زیادی نمی کند.

در جداول زیر، مقدار رسوب کل تشکیل شده برای هر یک از ماه های سال، برای مخزن با رنگ های مختلف ارائه گردیده است. با توجه به تعداد ماه های هر سال به راحتی می توان مقدار کل رسوب تشکیل شده در یک سال را بر حسب ارتفاع بیان نمود. محاسبات مربوط به نفت سنگین می باشد. جدول (۳۲-۵)، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سفید براق، حاوی نفت سنگین را بیان

می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۴۶۹/۴۱۱ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۴۱۴۰۴ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۳۲-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید براق

Color	White zinc oxide			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.462	39.128
Ordibehesht	31	111.367	3452.377	39.115
Khordad	31	111.346	3451.726	39.108
Tir	31	111.340	3451.54	39.106
Mordad	31	111.335	3451.385	39.104
Shahrivar	31	111.335	3451.385	39.104
Mehr	30	111.351	3340.53	37.848
Aban	30	111.377	3341.31	37.857
Azar	30	111.408	3342.24	37.868
Dey	30	118.640	3559.2	40.326
Bahaman	30	123.450	3703.5	41.961
Esfand	30	113.510	3405.3	38.582
Sludge for one year		41404.0		469.11

جدول (۳۳-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سفید

Color	White			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.462	39.128
Ordibehesht	31	111.366	3452.346	39.115
Khordad	31	111.346	3451.726	39.108
Tir	31	111.34	3451.54	39.106
Mordad	31	111.335	3451.385	39.104
Shahrivar	31	111.335	3451.385	39.104
Mehr	30	111.351	3340.53	37.848
Aban	30	111.376	3341.28	37.857
Azar	30	111.408	3342.24	37.868
Dey	30	118.61	3558.3	40.316
Bahaman	30	123.41	3702.3	41.947
Esfand	30	113.46	3403.8	38.565
Sludge for one year		41400.3		469.07

جدول فوق نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سفید معمولی، حاوی نفت سنگین را

بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۴۶۹/۰۷ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۴۱۴۰۰ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۳۴-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ زرد

Color		Yellow		
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.462	39.128
Ordibehesht	31	111.366	3452.346	39.115
Khordad	31	111.345	3451.695	39.108
Tir	31	111.34	3451.54	39.106
Mordad	31	111.335	3451.385	39.104
Shahrivar	31	111.335	3451.385	39.104
Mehr	30	111.351	3340.53	37.848
Aban	30	111.376	3341.28	37.857
Azar	30	111.408	3342.24	37.868
Dey	30	118.59	3557.7	40.309
Bahaman	30	123.38	3701.4	41.937
Esfand	30	113.41	3402.3	38.548
Sludge for one year		41397.3		469.03

جدول (۳۴-۵) نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ زرد، حاوی نفت سنگین را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود $469/03$ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل 41397 بشکه رسوب می باشد.

جدول زیر نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سبز، حاوی نفت سنگین را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود $468/95$ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل 41390 بشکه رسوب می باشد.

جدول (۳۵-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سبز

Color		Green		
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.462	39.128
Ordibehesht	31	111.366	3452.346	39.115
Khordad	31	111.345	3451.695	39.108
Tir	31	111.34	3451.54	39.106
Mordad	31	111.335	3451.385	39.104
Shahrivar	31	111.335	3451.385	39.104
Mehr	30	111.35	3340.5	37.848
Aban	30	111.376	3341.28	37.857
Azar	30	111.408	3342.24	37.868
Dey	30	118.51	3555.3	40.282
Bahaman	30	123.31	3699.3	41.913
Esfand	30	113.33	3399.9	38.521
Sludge for one year		41390.3		468.95

جدول (۳۶-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ آلومینیومی

Color	Aluminum galvanized			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.462	39.128
Ordibehesht	31	111.366	3452.346	39.115
Khordad	31	111.345	3451.695	39.108
Tir	31	111.34	3451.54	39.106
Mordad	31	111.334	3451.354	39.104
Shahrivar	31	111.334	3451.354	39.104
Mehr	30	111.35	3340.5	37.848
Aban	30	111.376	3341.28	37.857
Azar	30	111.408	3342.24	37.868
Dey	30	118.49	3554.7	40.275
Bahaman	30	123.29	3698.7	41.906
Esfand	30	113.28	3398.4	38.504
Sludge for one year		41387.6		468.92

جدول فوق نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ آلومینیومی، حاوی نفت سنگین را

بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۴۶۸/۹۲ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف

مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۴۱۳۸۷ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۳۷-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ قهوه ای

Color	Brown			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.462	39.128
Ordibehesht	31	111.366	3452.3367	39.115
Khordad	31	111.345	3451.6919	39.108
Tir	31	111.340	3451.5307	39.106
Mordad	31	111.335	3451.3757	39.104
Shahrivar	31	111.335	3451.3757	39.104
Mehr	30	111.351	3340.515	37.848
Aban	30	111.377	3341.295	37.857
Azar	30	111.407	3342.21	37.867
Dey	30	118.440	3553.2	40.258
Bahaman	30	123.220	3696.6	41.882
Esfand	30	113.170	3395.1	38.466
Sludge for one year		41380.7		468.84

جدول (۳۷-۵) نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ قهوه ای، حاوی نفت سنگین را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۴۶۸/۸۴ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۴۱۳۸۰ بشکه رسوب می باشد.

جدول (۳۸-۵) محاسبه میزان رسوب مخزن در یک سال برای مخزن با رنگ سیاه

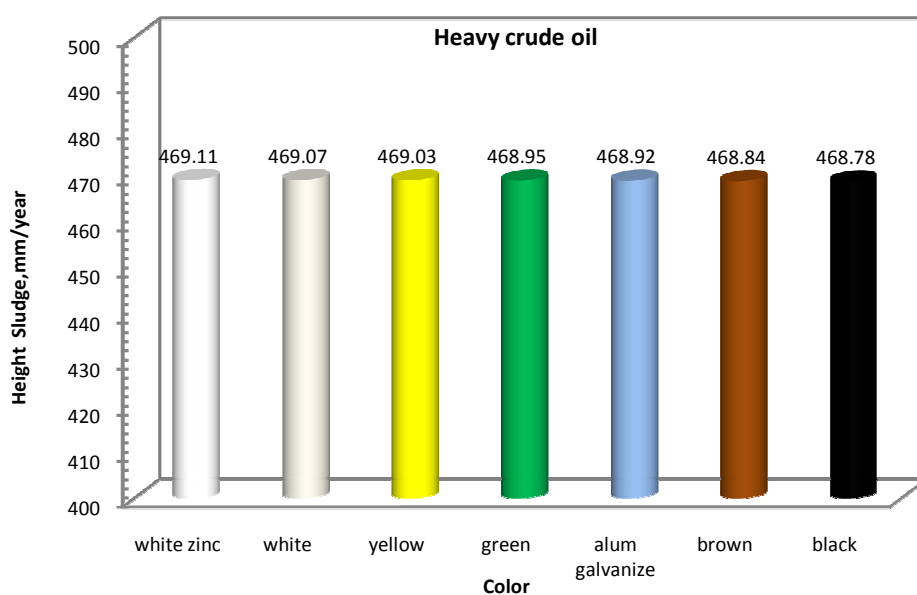
Color	Black			
Month	number day	Sludge for one day·barrel	Sludge for one month·barrel	Height Sludge·mm
Farvardin	31	111.402	3453.4558	39.128
Ordibehesht	31	111.366	3452.3305	39.115
Khordad	31	111.345	3451.6888	39.108
Tir	31	111.340	3451.5276	39.106
Mordad	31	111.335	3451.3695	39.104
Shahrivar	31	111.335	3451.3695	39.104
Mehr	30	111.350	3340.509	37.848
Aban	30	111.376	3341.292	37.857
Azar	30	111.407	3342.21	37.867
Dey	30	118.390	3551.7	40.241
Bahaman	30	123.140	3694.2	41.855
Esfand	30	113.120	3393.6	38.449
Sludge for one year		41375.3		468.78

جدول فوق نیز، میزان تشکیل رسوب در یک مخزن با رنگ سیاه، حاوی نفت سنگین را بیان می کند. مشاهده می شود که سالانه حدود ۴۶۸/۷۸ میلیمتر به ارتفاع متوسط رسوب در کف مخزن اضافه می شود. این مقدار معادل ۴۱۳۷۵ بشکه رسوب می باشد.

از جداول فوق می توان فهمید که، مشابه نفت سبک، میزان رسوب در ماه های مختلف سال برای رنگ سفید براق از همه بیشتر و برای رنگ سیاه از همه کمتر، می باشد. همچنین می توان تفاوت میزان رسوب تشکیل شده برای مخازن مشابه و با رنگ های مختلف را فهمید. مثلاً این مقدار تفاوت برای یک مخزن یک میلیون بشکه ای با رنگ سفید براق حاوی نفت سنگین، با مخزن مشابه، با رنگ آلومینیومی، حدوداً ۱۶/۴ بشکه رسوب در یک سال می باشد که مقدار بسیار کمی است. با توجه به نتایج فصول قبل و اینکه دمای ظهور ذرات واکس برای نفت سنگین (حدوداً ۲۳ درجه سانتی گراد)

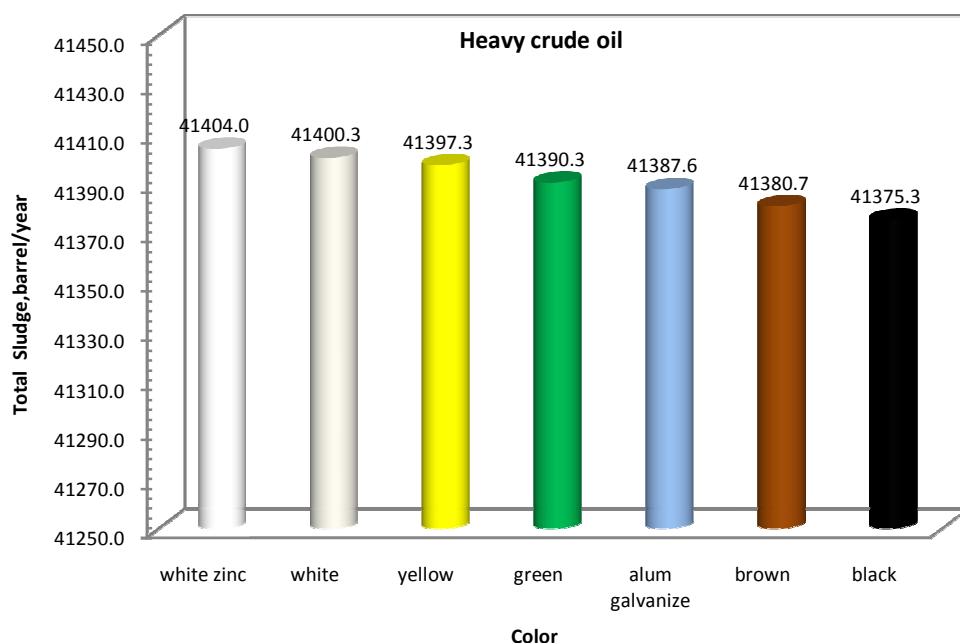
پایین تر از نفت سبک (حدوداً ۲۸ درجه سانتی گراد) است، پس رسوب ناشی از ذرات واکس نفت سنگین، نقش کمتری در میزان کل رسوب، نسبت به نفت سبک دارند.

در ادامه، نتایج مربوط به میزان رسوب تشکیل شده در یک سال را برای مخازن با رنگ های مختلف حاوی نفت سنگین، مطرح گردیده است.



شکل (۵-۶) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سنگین

در شکل (۵-۶)، میزان ارتفاع رسوب تشکیل شده برای مخازن مشابه که دارای رنگ های مختلف می باشند، در یک سال، ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که این نتایج مربوط به نفت سنگین می باشد.



شکل (۷-۵) مقایسه میزان رسوب برای مخازن با رنگ های مختلف در یک سال برای نفت سنگین

در شکل (۷-۵) نیز، میزان رسوب تشکیل شده برای مخازن مشابه که دارای رنگ های

مختلف می باشند، در یک سال، ارائه گردیده است.

نمودار های فوق بیانگر این موضوع می باشند که، در مقایسه با نفت سبک، برای نفت سنگین نوع

رنگ، تاثیر کمتری بر میزان رسوب دارد.

فصل ششم

مقایسه نتایج با مقادیر اندازه گیری شده
مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک



۶-۱- مقدمه

با استفاده از نتایج ارائه شده در فصل قبل، به آسانی می توان مقدار تشکیل رسوب در هر بازه زمانی را تعیین نمود. در فصل جاری نتایج مربوط به اندازه گیری ارتفاع رسوب در ۱۰ بازه زمانی، ارائه و تحلیل گردیده است. این اندازه گیری های تجربی برای مخزن شماره ۲۸ واقع در جزیره خارک، انجام شده است. این ۱۰ بازه زمانی در حدود ۵۷۰ روز می باشند. مقایسه نتایج تجربی با نتایج حاصل از مدل عددی تشریح شده در این پایان نامه نیز در پایان این فصل ارائه گردیده است.

۶-۲- تشریح بررسی موردی^۱

جزیره خارک از لحاظ جغرافیایی در ۳۰ مایلی (۴۸ کیلومتری) شمال غربی بندر بوشهر واقع می باشد. طول جزیره ۸ کیلومتر و عرض آن ۴ کیلومتر بوده و دارای هوای گرم و مرطوب می باشد. در واقع این جزیره در ۳۸ کیلومتری ساحل ایران (بندر گناوه) در خلیج همیشه فارس و بخشی از استان بوشهر است. بلندترین نقطه جزیره کوه دیده بان نام دارد که ارتفاع آن از سطح دریا ۸۷ متر است. این جزیره دارای رطوبت نسبی بالایی می باشد. خارک در مختصات جغرافیایی به عرض ۲۹ و طول ۵۰ قرار دارد. شکل (۶-۱)، نشان دهنده یک عکس هوایی از جزیره خارک می باشد. در این شکل مخازن ذخیره سازی نفت و فرآورده های نفتی و همچنین پراکندگی آنها نیز مشخص می باشد.

¹ Case study



شکل (۱-۶) نقشه هوایی از جزیره خارک

در جزیره خارک و شرکت پایانه های نفتی، حدوداً ۵۰ مخزن ذخیره نفت خام با حجم های مختلف وجود دارد که انواع مختلف می باشند. پر اهمیت ترین و بیشترین این مخازن از نوع سقف شناور خارجی می باشند.

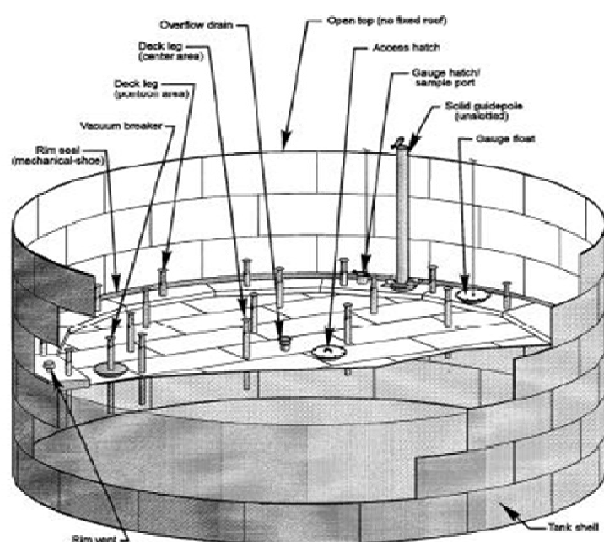
یک مخزن معمولی سقف شناور خارجی دارای پوسته ای استوانه ای فولادی سر بازی است که مجهز به سقف هایی است که روی سطح مخزن شناور بوده و با سطح مایع بالا و پایین می شوند. سقف شناور نیز شامل عرشه، اتصالات و سیستم آب بندی دیواره ها می باشد. عرشه سقف های شناور از صفحات فولادی جوشی هستند که معمولاً دارای سه نوع می باشند. تشتی شکل^۱، قایقی^۲ و دو

^۱ Pan

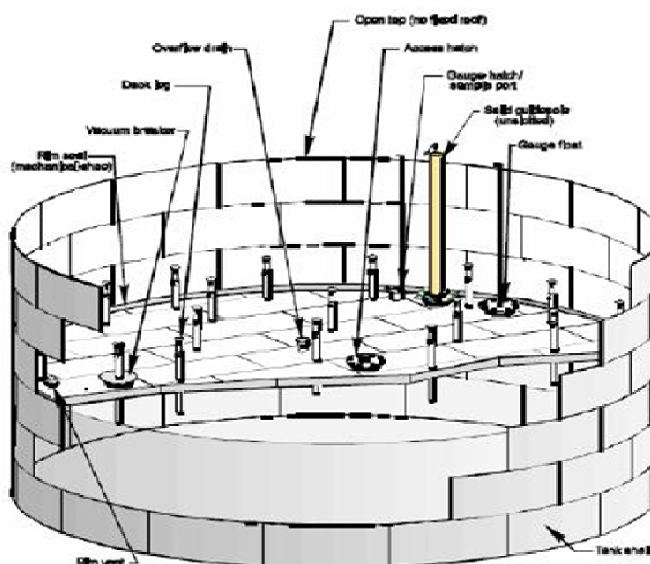
^۲ Pontoon

عرشه ای^۱. دو نوع مخزن با سقف های شناور قایقی و دو عرشه ای به ترتیب در شکل های (۲-۶)

و (۳-۶) آورده شده است. (سیولک^۲، ۲۰۰۶)



شکل (۲-۶) مخزن سقف شناور خارجی نوع قایقی



شکل (۳-۶) مخزن سقف شناور خارجی نوع دو عرشه ای

¹ Double deck

² Ciolek

برای تایید صحت مدل عددی تشریح شده در این پایان نامه، میزان تشکیل رسوب درون مخزن، در ۱۰ روز مختلف سال در یک بازه ۵۷۰ روزه، اندازه گیری شده است. مخزن انتخابی مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک که حاوی نفت سبک و دارای رنگ سفید می باشد، است. حجم این مخزن مخزن، ۱ میلیون بشکه می باشد و از نوع مخزن سقف شناور خارجی قایقی می باشد. موقعیت مکانی مخزن شماره ۲۸، در بین سایر مخازن موجود در جزیره خارک در شکل (۴-۶) نشان داده شده است.



شکل (۴-۶) نمایی از موقعیت مکانی مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک

نمایی از مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک را می توان در شکل (۵-۶) مشاهده نمود. کمر بند رنگی که در اطراف این مخزن کشیده شده است، بدین معنا است که این مخزن قابلیت ذخیره سازی هر دو نوع نفت سبک و سنگین را دارا می باشد.



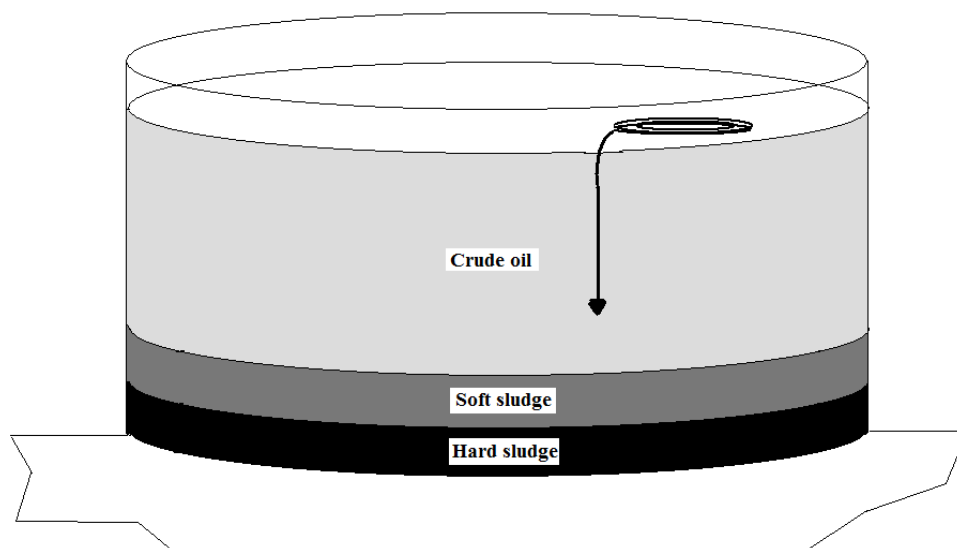
شکل (۵-۶) نمایی نزدیک از مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک

۳-۶- نحوه اندازه گیری و تحلیل نتایج تجربی

روش اندازه گیری ارتفاع رسوب درون مخزن، ساده می باشد. ابتدا یکی از پایه های موجود در سقف که از قبل انتخاب شده است، خارج می گردد. سپس یک قطعه فلزی که مشابه شاقول در ساختمان سازی می باشد، به وسیله یک طناب وارد مخزن می شود. ابتدا جسم در نفت خام با سرعت ثابتی شروع به پایین رفتن می کند. پس از طی ارتفاعی که با استفاده از طناب قابل اندازه گیری است، سرعت پایین رفتن جسم درون مخزن، کند تر می شود. این ارتفاع در حقیقت ارتفاع شروع رسوب نرم^۱ می باشد. با ادامه پایین رفتن جسم درون مخزن، باز هم مشاهده می شود که سرعت پایین رفتن، کاهش می یابد، که این ارتفاع، شروع ارتفاع رسوب سخت^۲ می باشد. لازم به ذکر است که ارتفاع رسوب، حاصل جمع ارتفاع رسوب نرم و رسوب سخت، در نظر گرفته شده است. موارد مطرح شده در فوق را می توان به صورت شماتیک در شکل (۶-۶) مشاهده نمود.

^۱ Soft sludge

^۲ Hard sludge



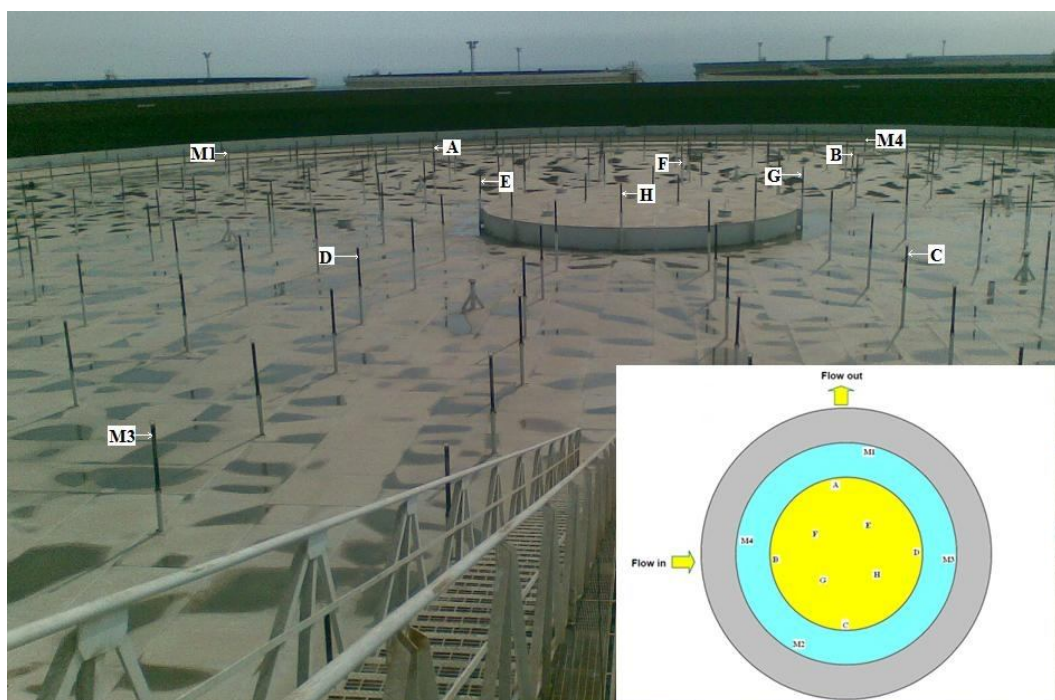
شکل (۶-۶) نمایی شماتیک از مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک

در شکل زیر نمایی از مجموعه پایه های سقف برای مخزن شماره ۲۸، ارائه گردیده است.



شکل (۷-۶) نمایی دورتر از پایه های سقف مخزن ۲۸ جزیره خارک

نقاط مختلف اندازه گیری در سقف مخزن، در شکل (۸-۶) نشان داده شده است. در حقیقت این نقاط تعدادی از پایه های منتخب می باشند که برای تعیین متوسط ارتفاع رسوب، برای بازه های زمانی مختلف، مورد استفاده قرار گرفته اند. لازم به ذکر است که اندازه گیری میانگین ارتفاع رسوب در ۱۰ روز ذکر شده در فوق، با اندازه گیری در ۱۲ نقطه مشخص شده در شکل زیر، انجام شده است.

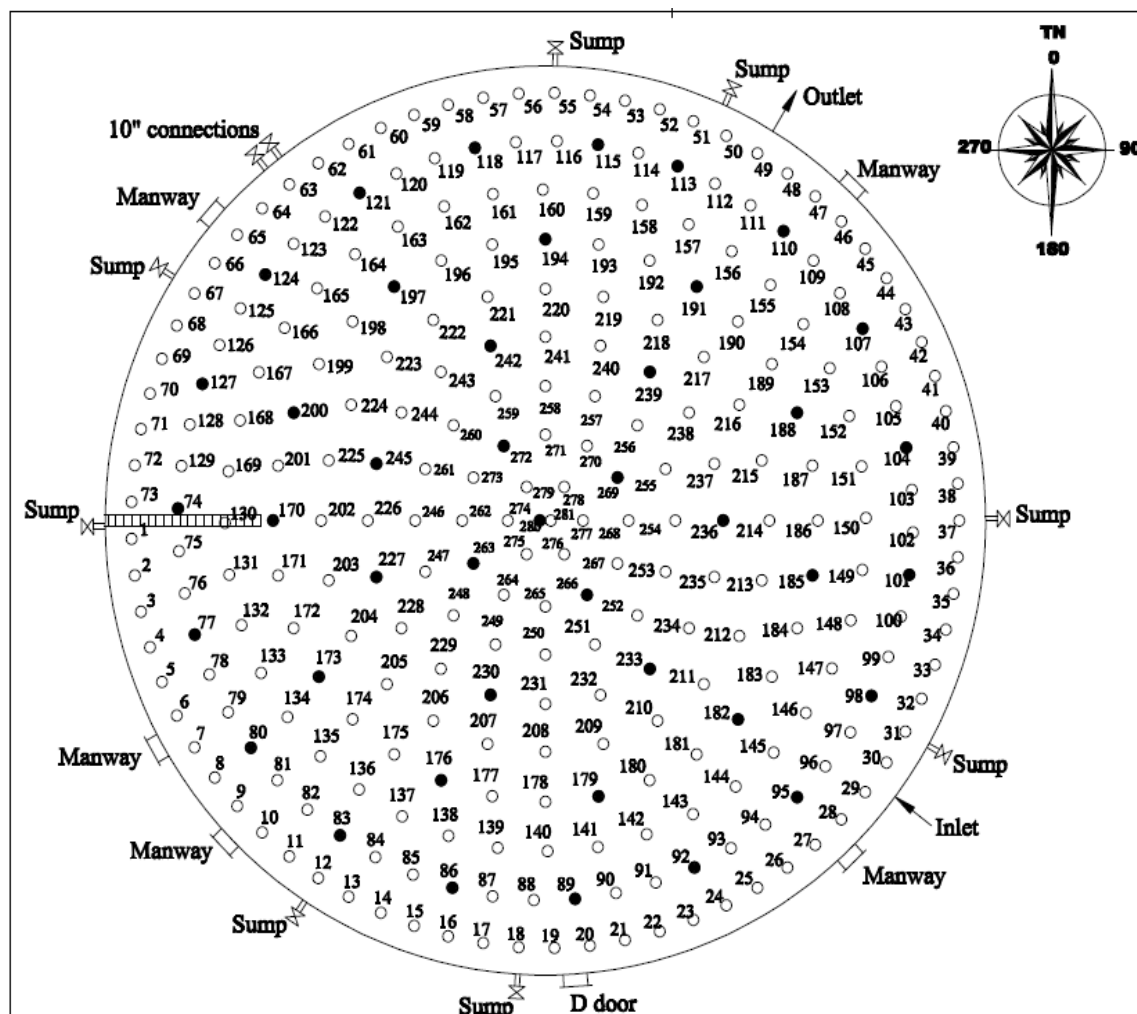


شکل (۶-۸) نقاط اندازه گیری شده در سقف مخزن شماره ۲۸

پس از تعیین ارتفاع رسوب شامل ارتفاع رسوب نرم و سخت، برای مقایسه نتایج تجربی با نتایج عددی، از عبارت میانگین ارتفاع رسوب در مخزن، استفاده شده است. اما آیا عبارت میانگین ارتفاع رسوب، عبارت صحیحی است و آیا می توان از میانگین ارتفاع رسوب به جای پروفیل ارتفاع رسوب استفاده کرد؟

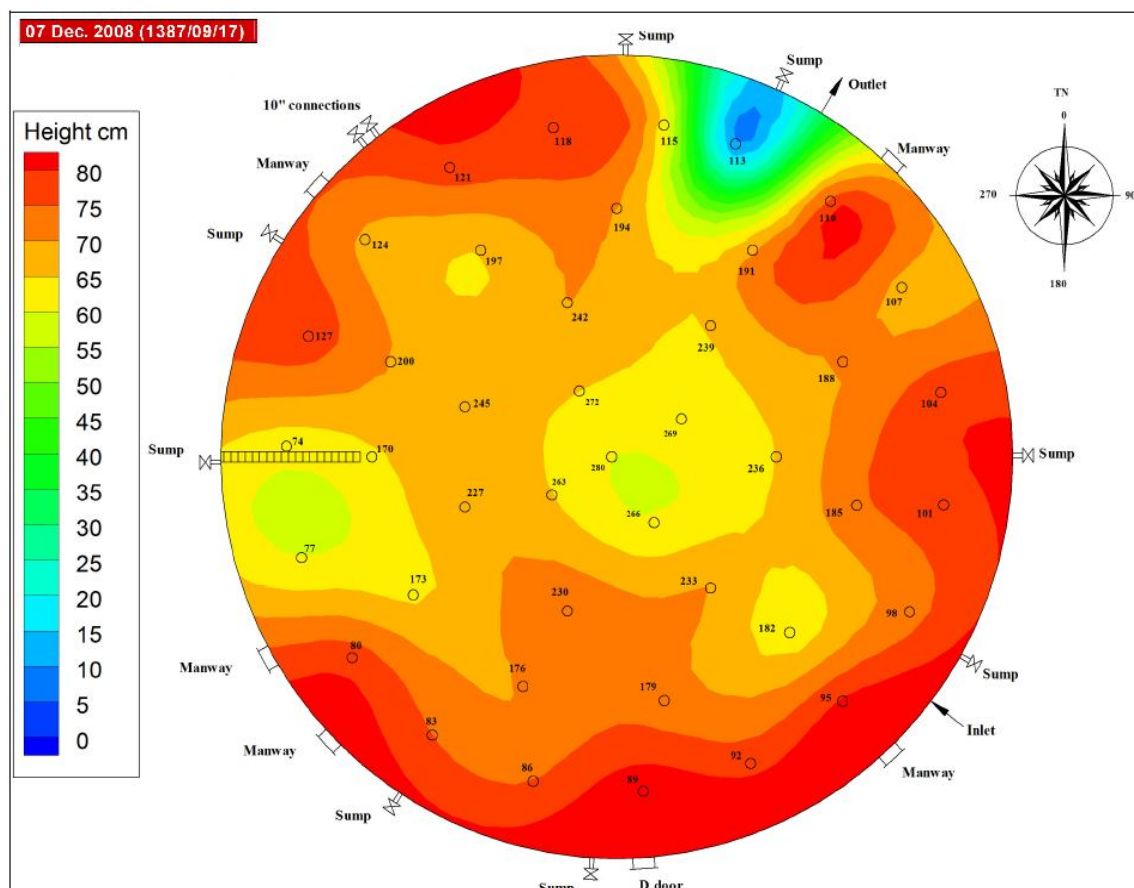
برای پاسخ به سوال فوق، باید در یک روز مشخص، پروفیل ارتفاع رسوب در کف مخزن تعیین شود. برای به دست آوردن پروفیل رسوب درون مخزن، یک بار در تاریخ ۸۷/۹/۱۷، در ۴۲ نقطه میزان ارتفاع رسوب اندازه گیری شد. این ۴۲ نقطه در حقیقت برخی از پایه های سقف هستند که به صورت مناسبی انتخاب شده اند تا بتوان پروفیل رسوب را به دست آورد.

در شکل (۶-۹) جایگاه و شماره پایه هایی که در محل آن ها، ارتفاع رسوب اندازه گیری شده است، نشان داده شده است.



شکل (۶-۹) نقشه سقف مخزن شماره ۲۸ و شماره های پایه های موجود بر روی سقف

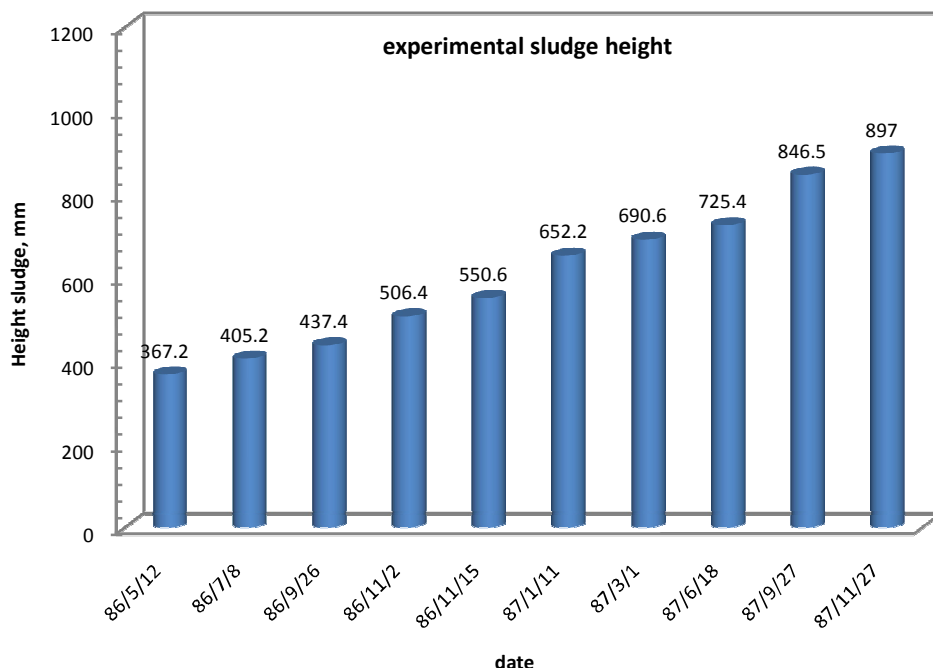
محل های اندازه گیری ارتفاع رسوب در شکل فوق، پایه هایی هستند که به شکل دایره تو پر، علامت گذاری شده اند. پروفیل رسوب حاصل را می توان در شکل (۶-۱۰) مشاهده کرد. همانطور که مشهود است ارتفاع رسوب در تمامی نقاط مخزن یکسان نیست اما تقریباً دارای یک پروفیل یکسان و تا حدودی نزدیک به هم می باشد. لذا ما می توانیم با متوسط گیری این ارتفاع رسوب ها، یک ارتفاع را به عنوان ارتفاع رسوب مخزن در نظر بگیریم. پس منظور ما از ارتفاع رسوب در حقیقت میانگین ارتفاع رسوب در کف مخزن می باشد.



شکل (۶-۱۰) پروفیل رسوب اندازه گیری شده در تاریخ ۸۷/۹/۱۷

لازم به ذکر است که نتیجه اندازه گیری در تمامی زمان ها (۱۰ روز مختلف در طی یک دوره ۵۷۰ روزه)، به صورت ارتفاع متوسط رسوب، در شکل (۶-۱۱) ارائه گردیده است. روند محاسبه میزان رسوب درون مخازن در بازه های زمانی مختلف و استخراج اطلاعات لازم به شرح زیر می باشد.

ابتدا باید برای زمان های مختلف که اندازه گیری صورت گرفته است، میانگین ارتفاع رسوب جمع شده در کف مخزن را به دست آید. پس میانگین ارتفاع رسوب در نقاط مختلف، به عنوان ارتفاع رسوب مخزن در تاریخ مذکور، در نظر گرفته شد. در شکل زیر می توان میانگین ارتفاع رسوب را برای تاریخ هایی که اندازه گیری صورت گرفته است، مشاهده نمود.



شکل (۶-۱۱) میانگین ارتفاع رسوب در زمان های اندازه گیری شده

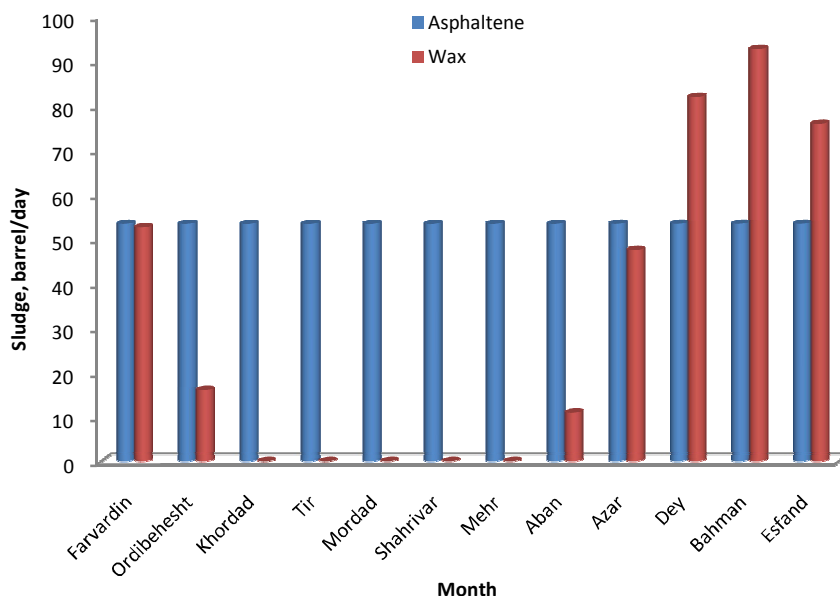
اکنون با استفاده از مدل عددی که در این پایان نامه مطرح گردید و نتایج آن که در فصل قبل ارائه شد، می توان میزان تشکیل رسوب درون مخزن را در فاصله زمانی بین دو تاریخ پی در پی به دست آورد.

۶-۴- محاسبه میزان رسوب با روش ارائه شده

روند تحلیل نتایج تجربی در بخش قبل، تشریح گردید. اکنون با استفاده از روش عددی تشریح شده در این پایان نامه، در بازه های زمانی که اندازه گیری های تجربی ثبت گردیده اند، میزان رسوب تعیین گردیده و با نتایج تجربی مقایسه می شود.

ابتدا میزان تشکیل رسوب برای یک مخزن، مشابه مخزن شماره ۲۸ جزیره خارک، برای ماه های مختلف سال که در فصل قبل مطرح گردید، ارائه شده است.

در شکل زیر میزان تشکیل رسوب به صورت تفکیک شده برای مخزن مذکور، ارائه گردیده است.

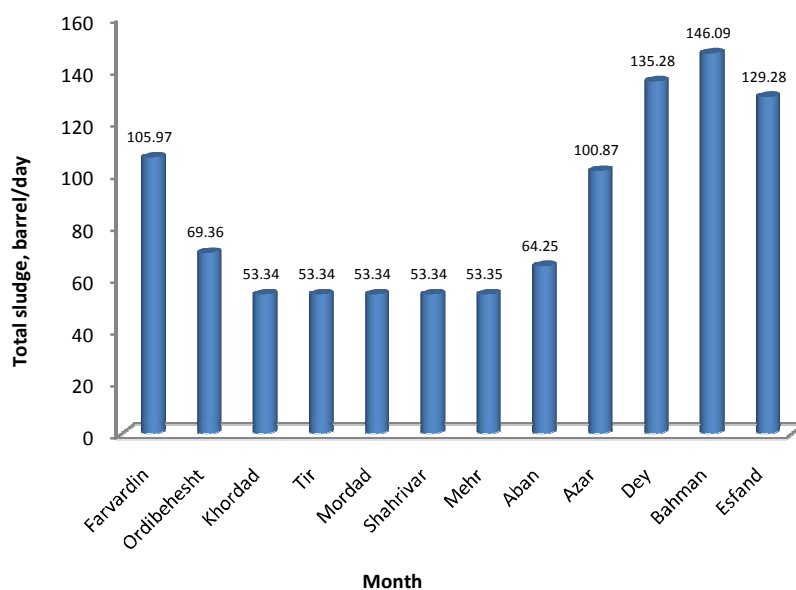


شکل (۶-۱۲) میانگین ارتفاع رسوب در ماه های سال برای مخزنی مشابه مخزن ۲۸

همانطور که در شکل فوق مشهود است، بیشترین مقدار رسوب ناشی از ذرات واکس در بهمن ماه

رخ می دهد و کمترین این مقدار، یعنی صفر، در ۵ ماه گرم سال، دیده می شود.

در شکل (۶-۱۳)، میزان رسوب کل برای مخزن مذکور، ارائه گردیده است.



شکل (۶-۱۳) میانگین کل ارتفاع رسوب در ماه های سال برای مخزنی مشابه مخزن ۲۸

مشابه قبل، میزان تشکیل رسوب کل، در ماه بهمن بیشترین مقدار می باشد.

اکنون با استفاده از نتایج ارائه شده در شکل های (۶-۱۲) و (۶-۱۳)، می توان میزان رسوب تشکیل شده در هر یک از تاریخ های اندازه گیری را، به دست آورد.

برای نمونه محاسبه ارتفاع رسوب در بازه زمانی اول در این بخش ارائه می گردد. مسلماً برای سایر بازه های زمانی، تا آخرین روز اندازه گیری یعنی، ۸۷/۱۱/۲۷، مشابه می باشد.

۱۲ مرداد تا ۸ مهر (۵۸ روز)

در این بازه زمانی ۵۷ روزه، ۱۸ روز در ماه مرداد، ۳۱ روز در ماه شهریور و ۸ روز در ماه مهر، قرار دارند. حال کافی است با استفاده از نتایج مطرح شده در فوق، میزان تشکیل رسوب در هر یک از این ۳ ماه را استخراج کرده و در تعداد روز های آن ماه، ضرب کنیم.

روند محاسبه میزان ارتفاع رسوب در بازه زمانی مذکور، به این شکل می باشد.

$$18 \times 53.3437 + 31 \times 53.3438 + 8 \times 53.35 = 3040.46 \text{ barrel}$$

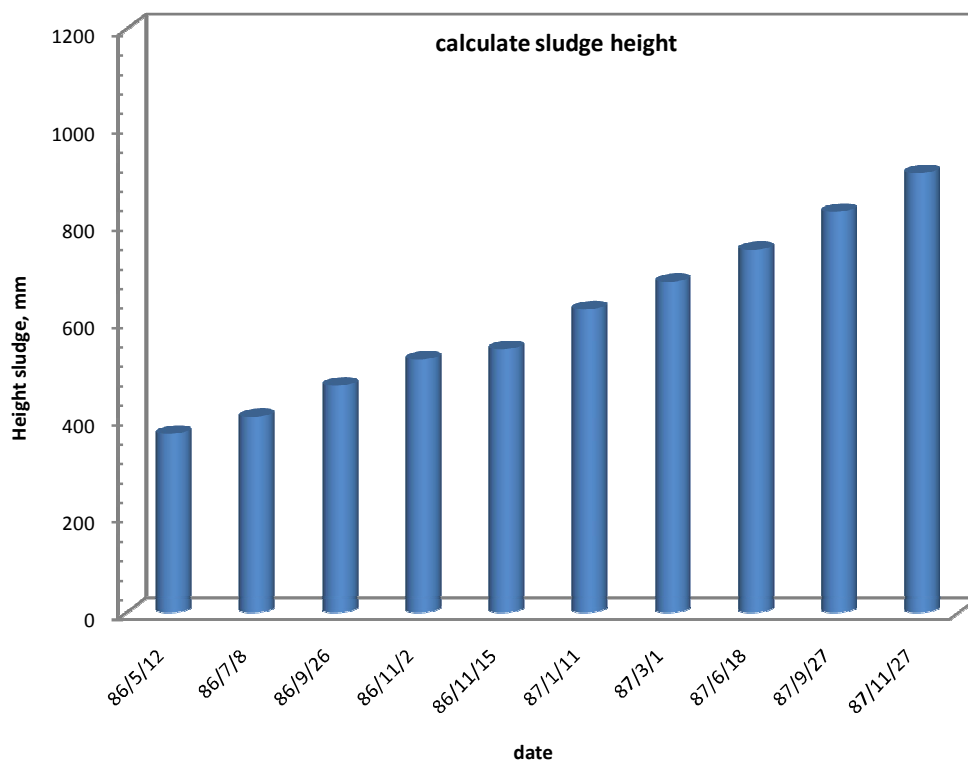
$$\frac{3040.46 \times 1133}{1000000} = 3.435 \text{ cm} = 34.35 \text{ mm}$$

پس مقدار رسوب محاسبه شده با استفاده از روش عددی تشریح شده، معادل ۳۴/۳۵ میلی متر ارتفاع رسوب می باشد. یعنی طی این بازه زمانی، مقدار ۳۴/۳۵ میلی متر به میانگین ارتفاع رسوب اضافه می شود. پس ارتفاع میانگین رسوب در تاریخ ۸ مهر ۱۳۸۶، به شرح زیر می باشد.

$$367.2 + 34.35 = 401.55 \text{ mm}$$

محاسبه متوسط ارتفاع رسوب برای سایر بازه های زمانی که اندازه گیری تجربی صورت گرفته است، مشابه روند فوق می باشد. برای سایر بازه های زمانی روند فوق انجام شده و نتایج زیر حاصل گردیده است.

نتایج حاصل از مدل عددی مطرح شده در این پایان نامه، برای بازه های زمانی که اندازه گیری های رسوب مخزن انجام گرفته است، در شکل (۶-۱۴)، ارائه گردیده است.

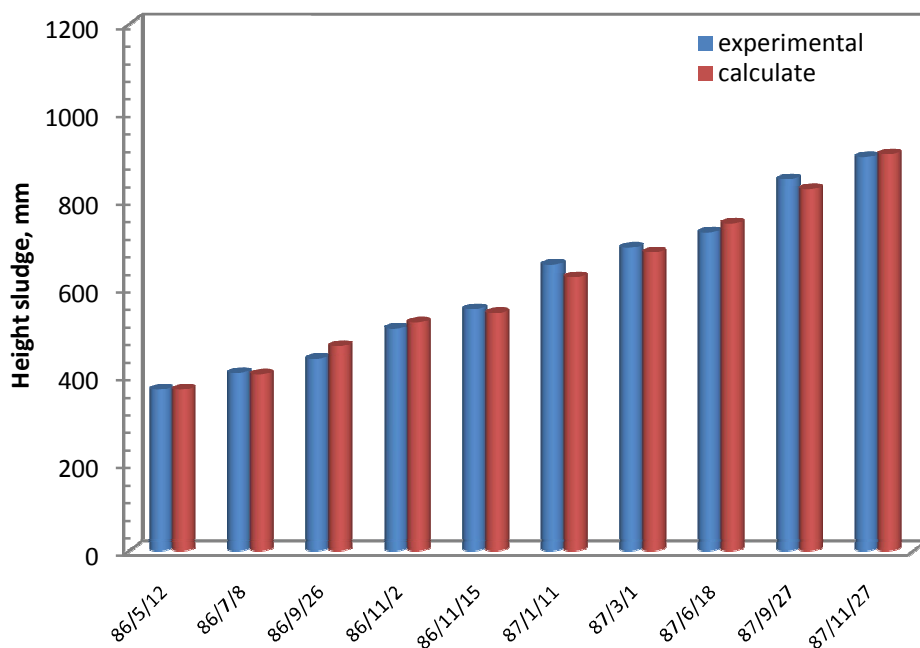


شکل (۶-۱۴) نتایج محاسبه شده برای ارتفاع رسوب برای روز های مختلف

۶-۵- مقایسه نتایج حاصل از مدل ارائه شده با نتایج تجربی

اکنون اطلاعات مربوط به متوسط ارتفاع رسوب درون مخزن، با روش عددی مطرح شده حاصل گردید و از طرفی اندازه گیری های تجربی نیز تحلیل و بررسی شد. اکنون می توان برای تایید صحت مدل مطرح شده در این پایان نامه، مقایسه این اطلاعات را انجام داد.

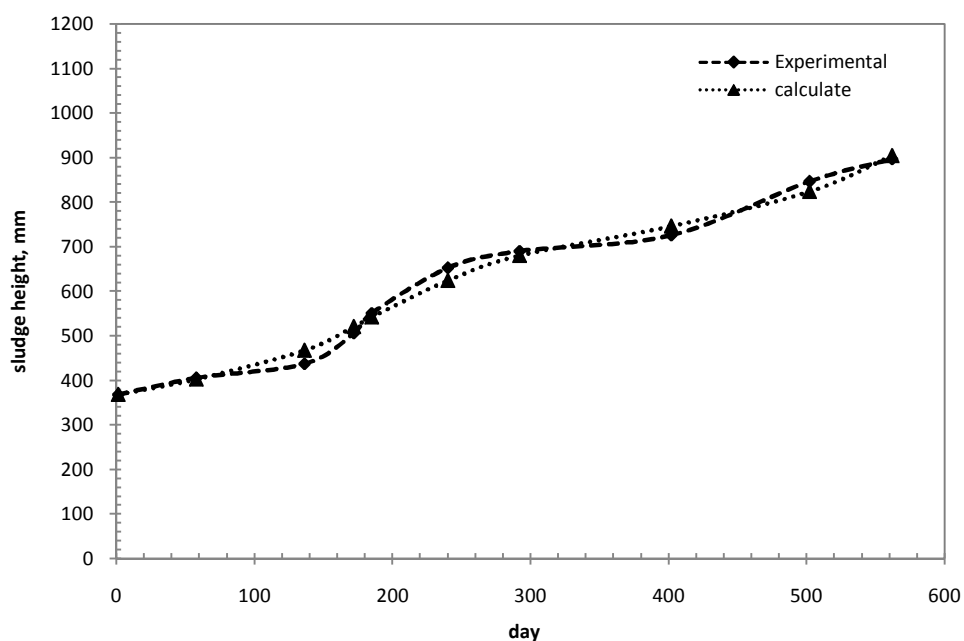
در شکل (۶-۱۵) نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج اندازه گیری شده تجربی، با یکدیگر مقایسه گردیده اند.



شکل (۶-۱۵) مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج تجربی

در شکل (۶-۱۶) نیز تاریخ ۱۲ مرداد سال ۸۶ به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است و نمودار

میزان ارتفاع میانگین رسوب در بازه ۵۷۰ روز مذکور، ترسیم گردیده است.



شکل (۶-۱۶) مقایسه نتایج محاسبه شده با نتایج تجربی برای روزهای مختلف (شروع از ۱۲ مرداد سال ۸۶)

همانطور که ملاحظه می شود، نتایج محاسبه شده تفاوت کمی با نتایج تجربی دارند، هرچند که در بعضی زمان ها مقداری خطا دیده می شود. دلیل وجود تفاوت کمی که برخی مقادیر محاسبه شده با مقادیر تجربی دارند، این است که ما در مدل عددی مطرح شده، برای هر ماه از سال تنها یک دما در نظر گرفتیم، در حالی که ممکن است در برخی از روز های یک ماه، دما از دمای متوسط خیلی بیشتر و یا خیلی کمتر باشد که خود سبب ایجاد خطا می گردد.

همچنین توزیع اندازه ذرات استفاده شده در این مدل ممکن است دقیقاً آنچه که در واقعیت است، نباشد و این علت نیز می تواند سبب بروز خطا گردد.

از دیگر عوامل ایجاد خطای احتمالی می توان به شرایط بهره برداری از مخزن شماره ۲۸ اشاره کرد که در تمامی روز های سال یکسان نیست، در حالی که ما شرایط بهره برداری برای مخزن را برای زمان های مختلف سال به ناچار یکسان در نظر گرفتیم. بدین منظور که مثلاً ممکن است مخزن در تمام طول سال ورودی ۴۰ هزار بشکه در روز را نداشته باشد، ممکن است کمتر و یا بیشتر باشد و یا ممکن است نفت مدت زمان کوتاهی را در مخزن بماند و یا بر عکس، که تمامی این عوامل را می توان عامل خطا دانست. ما در بررسی و ارائه روش تئوری فرض کردیم که رسوب جمع شده در کف مخازن تنها شامل واکس و آسفالتین باشد، در حالی که طبق مطالب فصل دوم، علاوه بر این دو ماده رسوب ممکن است شامل مواد غیر آلی مانند، شن و ماسه، گل و زنگ فلزات نیز باشد.

فصل هفتم

نتیجه گیری



در پایان نامه حاضر اثر تابش خورشیدی بر میزان تشکیل رسوب درون مخازن ذخیره نفت خام، بررسی و تحلیل گردیده است. با توجه به اهمیت جزیره خارک در صادرات نفت خام و وجود مخازن با حجم های مختلف در این جزیره، و میزان صادرات نفت، که در جهان منحصر به فرد می باشد، از شرایط اقلیمی و آب و هوایی این منطقه به عنوان بررسی موردی استفاده شده است.

پس از معرفی آسفالتین و واکس به عنوان مواد تشکیل دهنده رسوب، یک مدل عددی به منظور تعیین میزان رسوب تشکیل شده در کف مخزن، تشریح گردید. مهمترین نتایجی که از کار تحقیقاتی حاضر حاصل گردید، به شرح زیر می باشد.

- با افزایش دما، قطر ذرات جامد آسفالتین روندی افزایشی را طی می کند.
- با افزایش دما، حاصل انتگرال مربوط به تابع توزیع اندازه ذرات آسفالتین، کاهش می یابد که منجر به کاهش درصد ذرات در حال معلق، و نهایتاً کاهش میزان رسوب می شود.
- با افزایش دما، رسوب ناشی از ذرات آسفالتین، کاهش می یابد که ناشی از نتیجه فوق است، هرچند که این مقدار بسیار کم می باشد.
- با افزایش دما، قطر ذرات جامد واکس روندی افزایشی را طی می کند.
- با افزایش دما، حاصل انتگرال مربوط به تابع توزیع اندازه ذرات واکس، کاهش می یابد که منجر به کاهش درصد ذرات در حال معلق و نهایتاً کاهش میزان رسوب می شود.
- با افزایش دما، رسوب ناشی از ذرات واکس کاهش می یابد تا دمایی که مقدار رسوب به صفر می رسد (دمای ظهور ذرات واکس).
- نتایج بیان گر این موضوع است که دمای ظهور واکس برای نفت سبک حدوداً، ۲۸ درجه سانتی گراد می باشد.
- برای نفت سنگین، دمای ظهور ذرات واکس حدوداً ۲۳ درجه سانتی گراد، می باشد.

- در مجموع رسوب تشکیل شده برای نفت سنگین بیشتر از نفت سبک می باشد، (حدوداً ۱۰ هزار بشکه در سال).
- نوع رنگ، بر میزان تشکیل رسوب در نفت سبک بیشتر از تشکیل رسوب در نفت سنگین، تاثیر گذار می باشد.
- برای نفت سبک و سنگین، تغییرات رنگ اثر بسیار کمی بر میزان رسوب ناشی از آسفالتین می گذارد.
- در برخی از ماه های سال که رسوب ناشی از واکس نداریم، برای هر دو نوع نفت سبک و سنگین، تغییرات رنگ تاثیر بسیار کمی بر میزان رسوب کل دارد.
- بیشترین مقدار رسوب در بین ماه های سال، برای نفت سبک و سنگین، در ماه بهمن رخ می دهد. دلیل این امر تشکیل زیاد رسوب ناشی از ذرات واکس می باشد.
- یک مخزن یک میلیون بشکه ای با رنگ سفید براق، حاوی نفت سبک، بیشترین مقدار رسوب، و مخزن مشابه با رنگ سیاه، کمترین مقدار رسوب در یک سال را دارا می باشند.
- در مقایسه با نفت سبک، برای نفت سنگین، نوع رنگ تاثیر کمتری بر میزان رسوب دارد.
- مقایسه نتایج تجربی با نتایج تئوری، بیانگر تفاوت نسبتاً کم این نتایج می باشند.
- نتایج تجربی و عددی، بیانگر این موضوع می باشند که برای یک مخزن با حجم ۱ میلیون بشکه، سالانه بین ۳۰ هزار تا ۴۰ هزار بشکه (متناسب با شرایط بهره برداری و سایر عوامل موثر)، به صورت رسوب جمع شده در کف مخزن، برای صادرات غیر قابل استفاده می گردد و عملاً آن را می توان تلفات نامید. با یک حساب ساده می توان ارزش اقتصادی این مقدار را حدوداً ۲/۵ میلیون دلار در سال تخمین زد، که البته باید هزینه های تمیز کردن مخزن را به آن اضافه نمود. لازم به ذکر است که این مقدار تنها برای یک مخزن می باشد. این خود سندی است بر اهمیت بررسی میزان تشکیل رسوب درون مخازن.

- بیشترین تفاوت مقدار رسوب تشکیل شده، برای یک مخزن مشابه با رنگ های مختلف در اردیبهشت ماه رخ می دهد که مقدار $\frac{3}{6}$ بشکه در یک روز می باشد. دلیل آن همزمانی دو عامل وجود ذرات جامد واکس و بالا بودن میزان تابش خورشیدی در این ماه می باشد.
- برای دو مخزن مشابه که حاوی نفت سبک و جداره خارجی اولی سفید براق و دومی سیاه باشد، در مخزن سفید رنگ سالانه، 31005 بشکه رسوب و در مخزن سیاه رنگ، 30482 بشکه رسوب در یک سال تشکیل می شود. مشاهده می شود که تفاوت آن، 523 بشکه در یک سال می باشد. اگر قیمت یک بشکه نفت را 75 دلار در نظر بگیریم، تفاوت رسوب این دو مخزن، تقریباً 40000 دلار می شود.
- برای تعیین بهترین رنگ برای جداره خارجی مخازن ذخیره نفت خام، با توجه به بحث اقتصادی مطرح شده در فوق، علاوه بر تاثیر رنگ بر رسوب، باید تاثیر رنگ بر سایر موارد از جمله میزان تلفات تبخیری از مخزن و هزینه رنگ و هزینه رنگ آمیزی مخزن، بررسی شود و بهترین و مناسب ترین و اقتصادی ترین رنگ، انتخاب گردد.

پیوست الف - مدلسازی نفت سبک در نرم افزار HYSYS

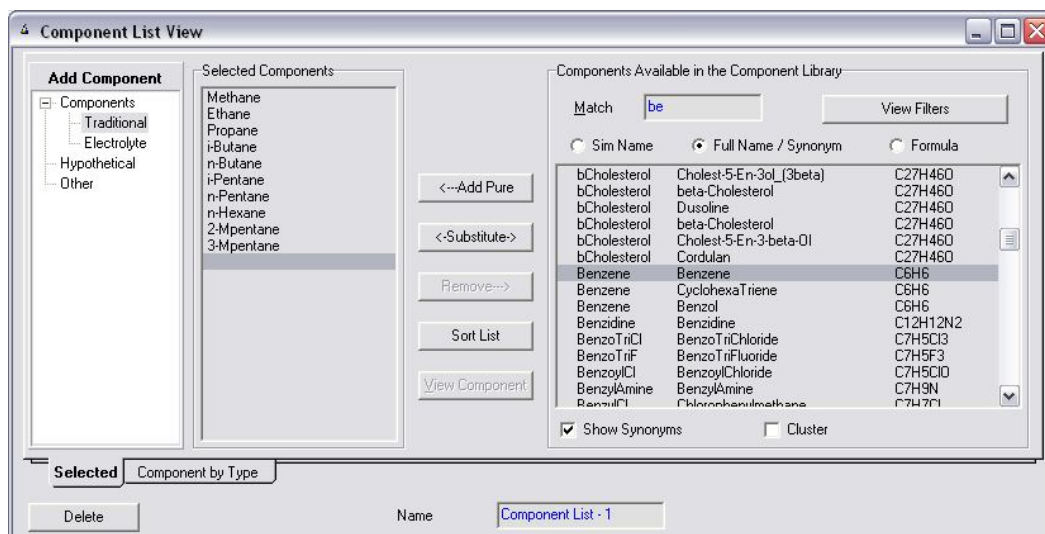
ابتدا نرم افزار HYSYS را اجرا می کنیم.

در پنجره components ترکیبات نفت سبک را که در اختیار قرار گرفته است، وارد می کنیم، که این ترکیبات در جدول زیر آورده شده اند.

داده های آزمایشگاهی برای تعیین مشخصات نفت خام سبک

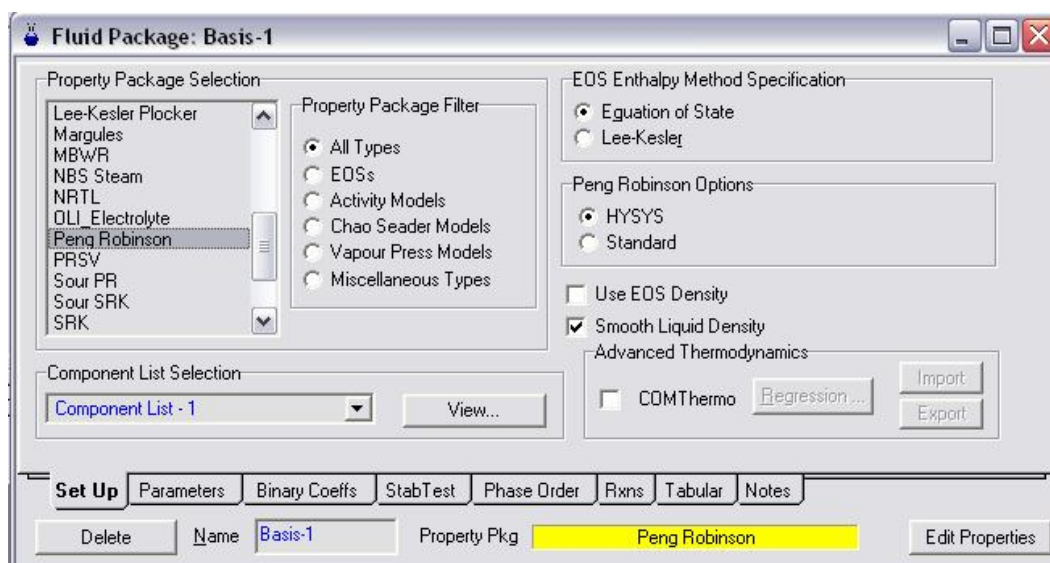
Light Crude Oil

Liq Mass %	Boiling Temp (C)	Light Ends	Liq Mass %
1.38	15	Methane	0.00
5.33	65	Ethane	0.00
11.14	100	Propane	0.02
13.75	125	I-Butane	0.06
17.88	150	N-Butane	0.36
22.23	175	I-Pentane	0.80
26.41	200	N- Pentane	1.16
30.47	225	2DiMethyl Butane.2	0.02
35.16	250	3DiMethyl Butane.2	0.17
39.51	275	2Methyl Pentane	0.56
43.12	300	3Methyl Pentane	0.33
46.17	325	N-Hexane	0.36
49.96	350	Methyl Cyclo Pentane	0.06
		Benzene	0.04
		Cyclo Hexane	0.01
		H ₂ O	0.00
RVP	7.89		
API	33.36	TOTAL	3.95



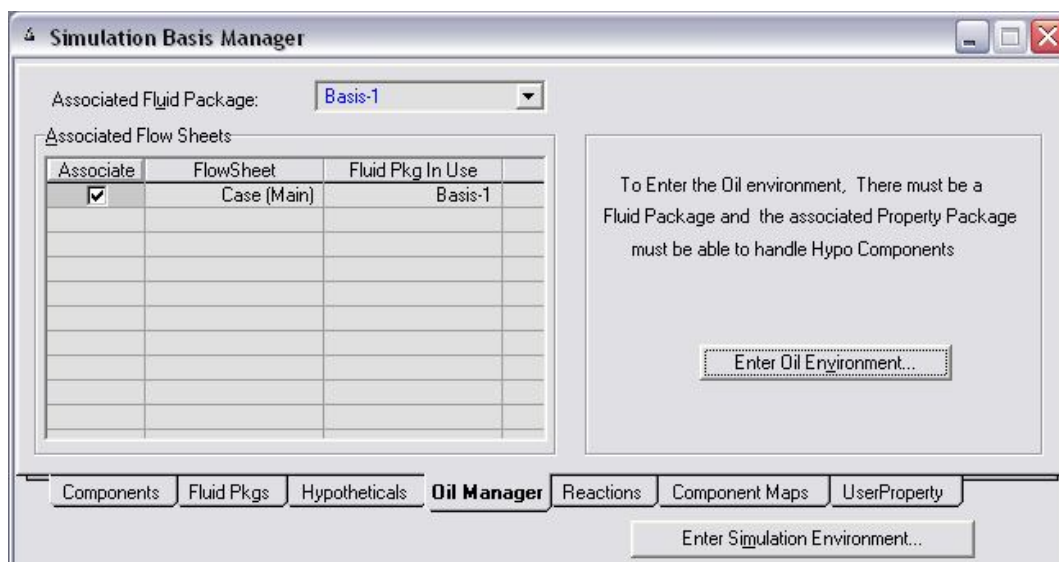
نمایی از پنجره نرم افزار

در پنجره Fluid Package معادله حالت مورد نظر را (در اینجا از معادله حالت Peng Robinson استفاده می نماییم) انتخاب می کنیم.



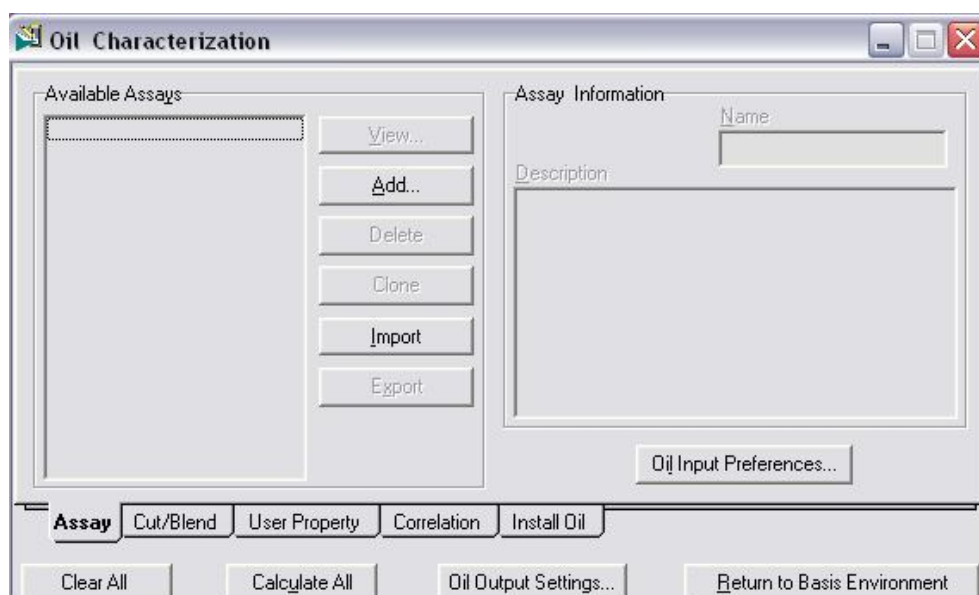
نمایی از پنجره نرم افزار

پنجره Oil Manager را انتخاب کرده و بر روی گزینه Enter Oil Environment کلیک می نماییم تا وارد محیط شبیه سازی نفتی شویم.



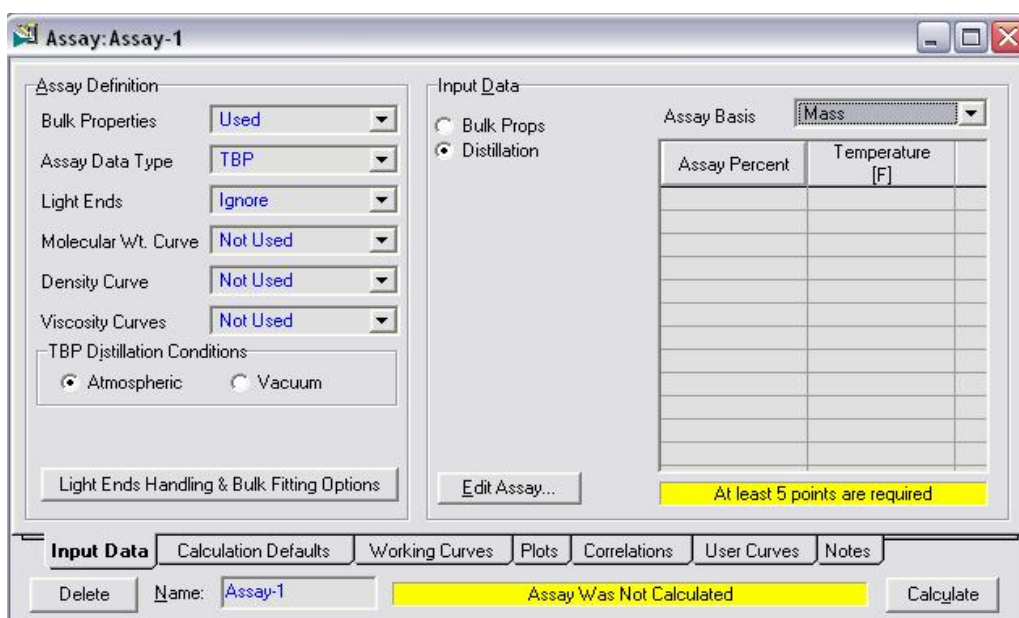
نمایی از پنجره نرم افزار

در پنجره Assay از صفحه Oil Characterization بر روی گزینه add کلیک می نماییم



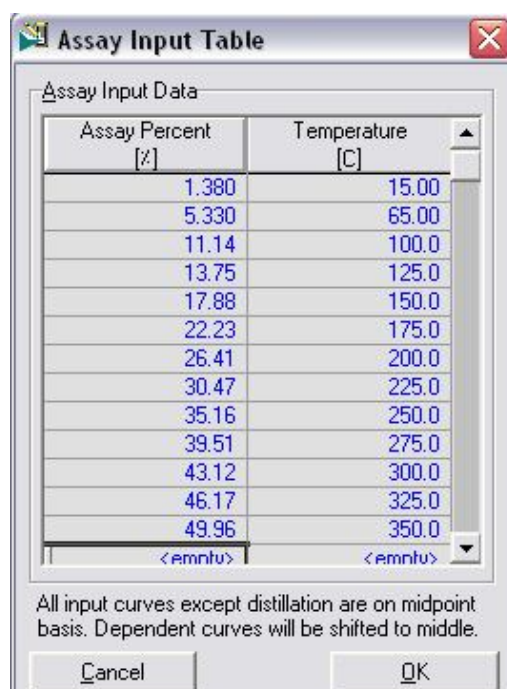
نمایی از پنجره نرم افزار

Bulk Properties را به used تغییر می دهیم و با توجه به این که ما داده های TBP را در اختیار داریم لذا گزینه TBP را از لیست پایین رونده Assay Data Type انتخاب می کنیم. Mass % را از لیست پایین رونده Assay Basis را فعال می نمایم.



نمایی از پنجره نرم افزار

بر روی گزینه Edit Assay کلیک نموده و اطلاعات مربوطه را از جداول موجود، وارد می کنیم.

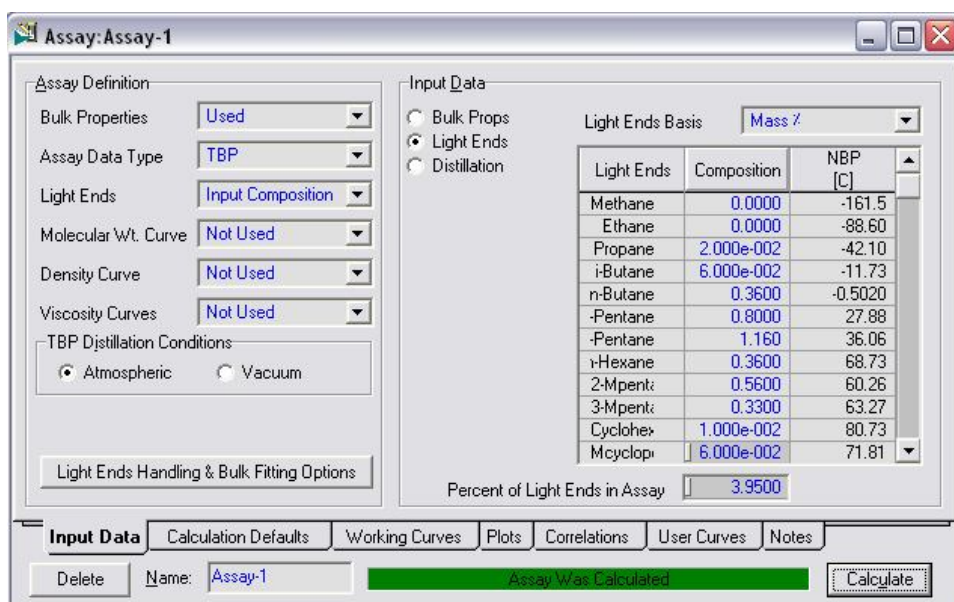


نمایی از پنجره نرم افزار

Light Ends Setting را به input composition تغییر داده و گزینه Light ends را فعال

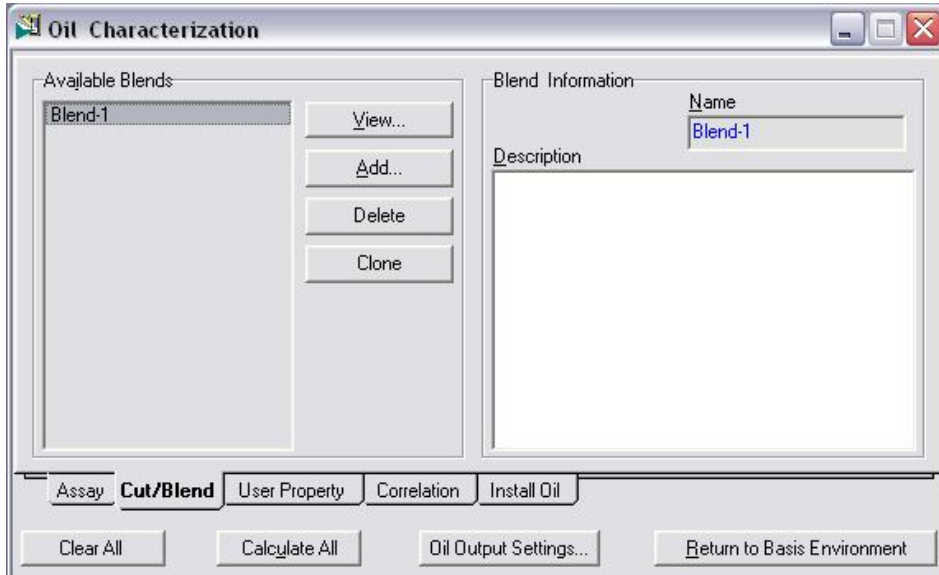
می کنیم. ترکیبات مربوط به درصد وزنی عناصر نفت را وارد می نماییم و سپس بر روی گزینه

Calculate کلیک می کنیم.



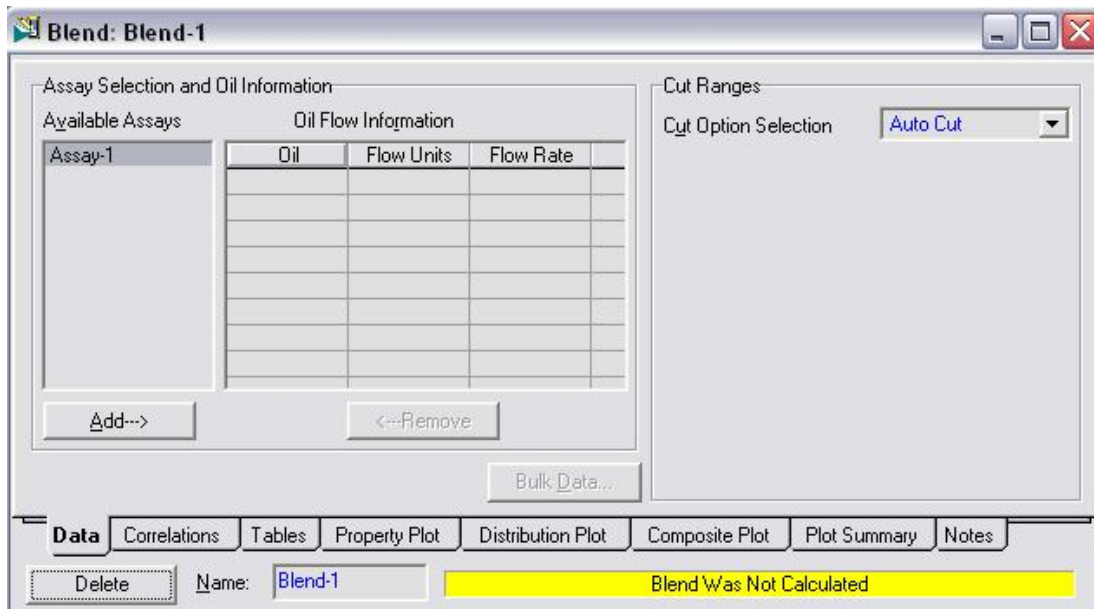
نمایی از پنجره نرم افزار

تا اینجا منحنی تقطیر را برای نرم افزار مشخص نمودیم، حال در صفحه Oil Characterization پنجره Cut/Blend را انتخاب کرده و بر روی Add کلیک می کنیم.



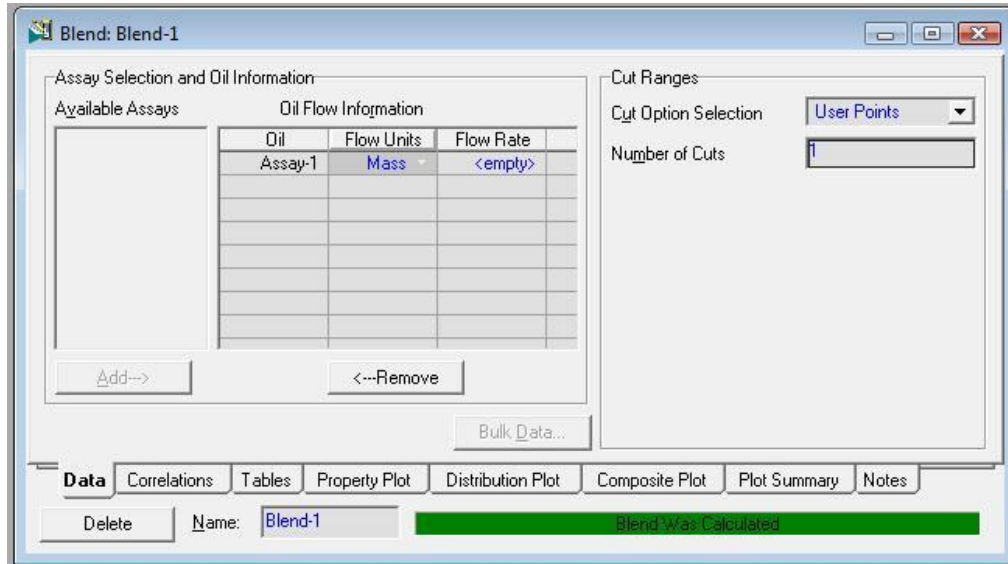
نمایی از پنجره نرم افزار

در پنجره Data و در قسمت Available Assays گزینه Assay-1 را انتخاب کرده و روی Add کلیک می کنیم.



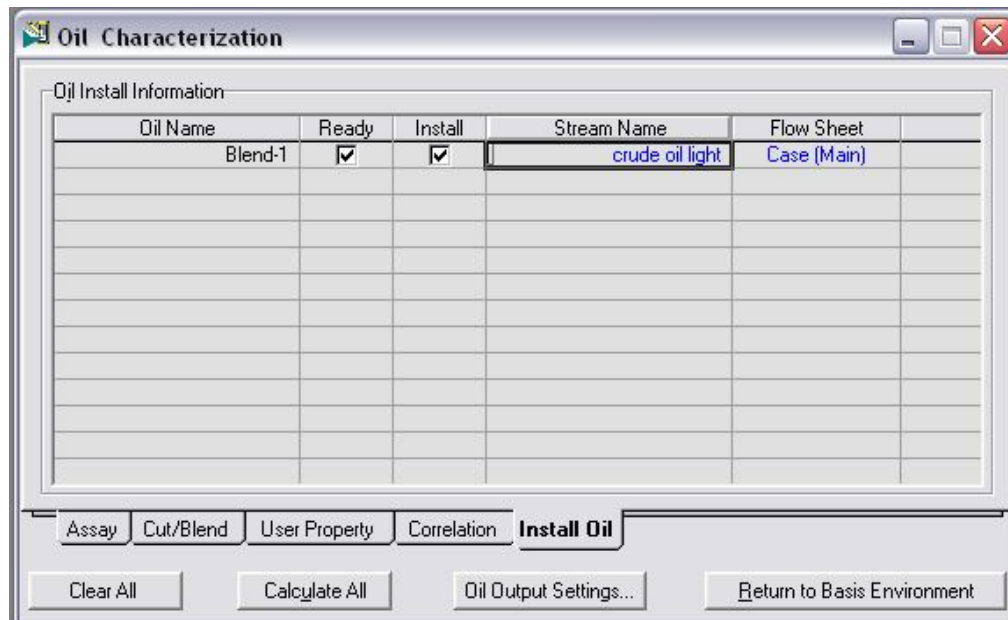
نمایی از پنجره نرم افزار

در قسمت Flow Units گزینه Mass را انتخاب نموده و با توجه به این که ما می خواهیم برش C7+ را مشخص کنیم، لذا عدد ۱ را در قسمت Number of Cuts درج می کنیم.



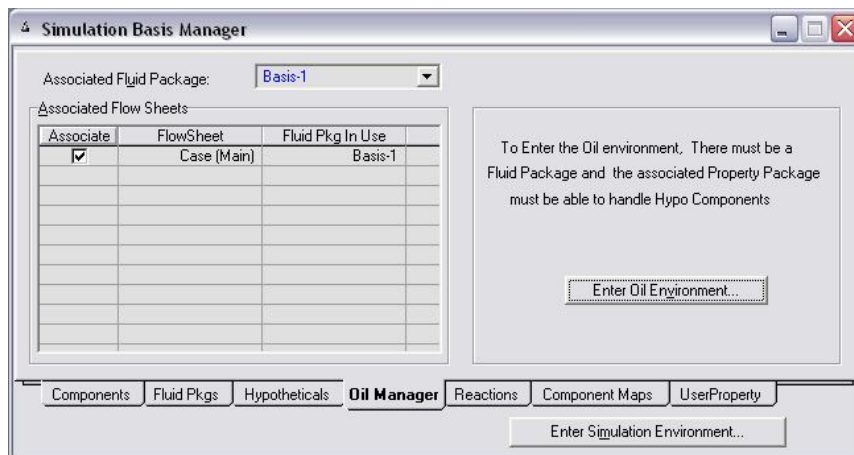
نمایی از پنجره نرم افزار

مرحله پایانی نصب جریان نفتی در Flowsheet می باشد. در پنجره Install Oil از صفحه Oil Characterization نام جریان Crude Oil را در قسمت Stream Name وارد می کنیم.



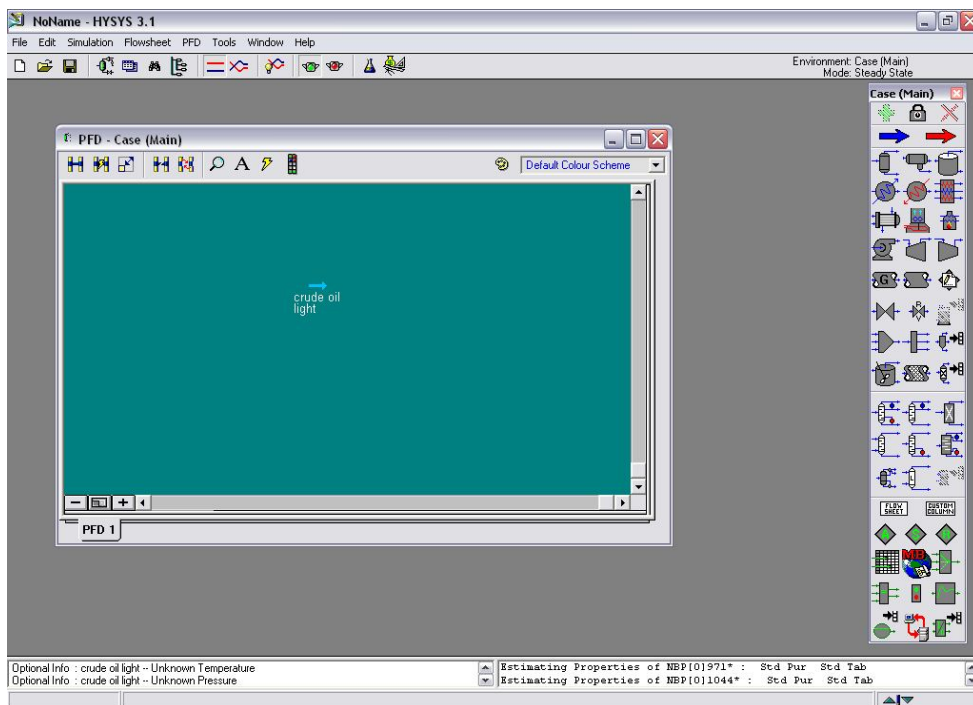
نمایی از پنجره نرم افزار

در پنجره Oil Characterization بر روی گزینه Return to basis Environment کلیک کرده و گزینه Enter Simulation Environment را انتخاب می نمایم تا وارد محیط شبیه سازی شویم.



نمایی از پنجره نرم افزار

بدین ترتیب جریان نفت را در نرم افزار مدل سازی نمودیم حال با کلیک بر روی این جریان می توانیم خواص نفت را در هر دما و فشاری که مورد نظر است مشاهده نمایم.



نمایی از پنجره نرم افزار

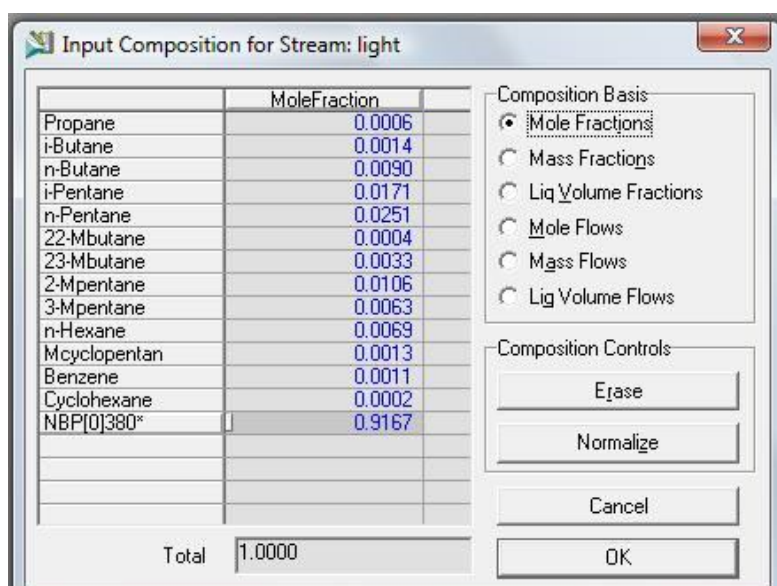
Worksheet	Stream Name	crud oil light	Liquid Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0.00000	1.00000
Properties	Temperature [C]	20.000	20.000
Composition	Pressure [kPa]	101.00	101.00
K Value	Molar Flow [kgmole/h]	17.199	17.199
User Variables	Mass Flow [kg/h]	3600.0	3600.0
Notes	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	4.2630	4.2630
Cost Parameters	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-4.572e+005	-4.572e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	351.82	351.82
	Heat Flow [kJ/h]	-7.8638e+06	-7.8638e+06
	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	4.2630	4.2630
	Fluid Package	Basis-1	

نمایی از پنجره نرم افزار

پس از طی مراحل فوق، در پنجره بالا، بر روی Composition کلیک می کنیم. پنجره ای باز می شود که در آن می توان درصد وزنی و درصد مولی هر یک از ترکیبات، از جمله *NBP[0]380 که همان C7+ است، نمایش داده می شود.

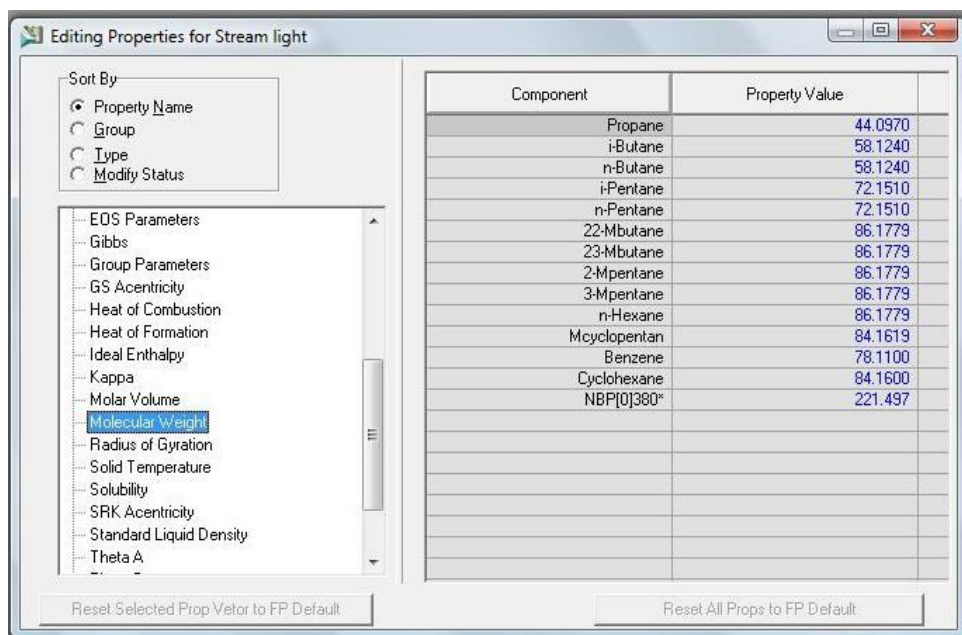
	MassFraction
Propane	0.0001
i-Butane	0.0004
n-Butane	0.0025
i-Pentane	0.0059
n-Pentane	0.0087
22-Mbutane	0.0002
23-Mbutane	0.0013
2-Mpentane	0.0044
3-Mpentane	0.0026
n-Hexane	0.0028
Mycyclopentan	0.0005
Benzene	0.0004
Cyclohexane	0.0001
NBP[0]380*	0.9701
Total	1.0000

نمایی از پنجره نرم افزار



نمایی از پنجره نرم افزار

در پنجره قبل به قسمت **Editing Properties** رفته و مشاهده می شود که مجدداً پنجره ای باز می گردد که در آن می توان هر یک از خواص موجود در سمت چپ پنجره را انتخاب، و مقادیر آن را برای هر یک از اجزای نفت مشاهده نمود. برخی از این خواص که در مراحل بعدی مورد نیاز است، در شکل های زیر آورده شده است. لازم به ذکر است که **NBP[0]380*** همان **C7+** می باشد.



وزن ملکولی مربوط به ترکیبات نفت خام سبک

Editing Properties for Stream light

Sort By: Property Name Group Type Modify Status

Heat of Combustion
Heat of Formation
Ideal Enthalpy
Kappa
Molar Volume
Molecular Weight
Radius of Gyration
Solid Temperature
Solubility
SRK Acentricity
Standard Liquid Density
Theta A
Theta B
Uniquac Q
Uniquac R
Wilson Volume

Component	Property Value [kg/m3]
Propane	506.678
i-Butane	561.966
n-Butane	583.223
i-Pentane	623.442
n-Pentane	629.729
22-Mbutane	652.565
23-Mbutane	665.168
2-Mpentane	656.507
3-Mpentane	667.684
n-Hexane	662.664
Mycyclopentan	752.065
Benzene	882.190
Cyclohexane	781.822
NBP[0]380*	852.929

Reset Selected Prop Vector to FP Default Reset All Props to FP Default

دانسیتة استاندارد مربوط به ترکیبات نفت خام سبک

Editing Properties for Stream light

Sort By: Property Name Group Type Modify Status

Cavett A
Cavett B
Characteristic Volume
CN Molar Volume
CN Solubility
Critical Pressure
Critical Temperature
Critical Volume
Dipole Moment
Enthalpy Basis Offset
EOS Parameters
Gibbs
Group Parameters
GS Acentricity
Heat of Combustion
Heat of Formation

Component	Property Value [kPa]
Propane	4256.66
i-Butane	3647.62
n-Butane	3796.62
i-Pentane	3333.59
n-Pentane	3375.12
22-Mbutane	3880.62
23-Mbutane	3126.87
2-Mpentane	3010.36
3-Mpentane	3123.84
n-Hexane	3031.62
Mycyclopentan	3789.55
Benzene	4924.39
Cyclohexane	4053.00
NBP[0]380*	1134.29

Reset Selected Prop Vector to FP Default Reset All Props to FP Default

فشار بحرانی مربوط به ترکیبات نفت خام سبک

Editing Properties for Stream light

Sort By

- Property Name
- Group
- Type
- Modify Status

Acentricity
 Antoine
 Boiling Temperature
 Cavett A
 Cavett B
 Characteristic Volume
 CN Molar Volume
 CN Solubility
 Critical Pressure
 Critical Temperature
 Critical Volume
 Dipole Moment
 Enthalpy Basis Offset
 EOS Parameters
 Gibbs
 Group Parameters

Component	Property Value [C]
Propane	-42.1020
i-Butane	-11.7300
n-Butane	-0.501990
i-Pentane	27.8780
n-Pentane	36.0590
22-Mbutane	49.7310
23-Mbutane	57.9770
2-Mpentane	60.2610
3-Mpentane	63.2700
n-Hexane	68.7300
Mcyclopentan	71.8090
Benzene	80.0890
Cyclohexane	80.7300
NBP[0]380*	379.515

Reset Selected Prop Vector to FP Default Reset All Props to FP Default

دمای نقطه جوش مربوط به ترکیبات نفت خام سبک

Editing Properties for Stream light

Sort By

- Property Name
- Group
- Type
- Modify Status

Cavett A
 Cavett B
 Characteristic Volume
 CN Molar Volume
 CN Solubility
 Critical Pressure
 Critical Temperature
 Critical Volume
 Dipole Moment
 Enthalpy Basis Offset
 EOS Parameters
 Gibbs
 Group Parameters
 GS Acentricity
 Heat of Combustion
 Heat of Formation

Component	Property Value [C]
Propane	96.7480
i-Butane	134.946
n-Butane	152.049
i-Pentane	187.248
n-Pentane	196.450
22-Mbutane	231.299
23-Mbutane	226.830
2-Mpentane	224.347
3-Mpentane	231.299
n-Hexane	234.748
Mcyclopentan	259.550
Benzene	288.948
Cyclohexane	280.050
NBP[0]380*	533.816

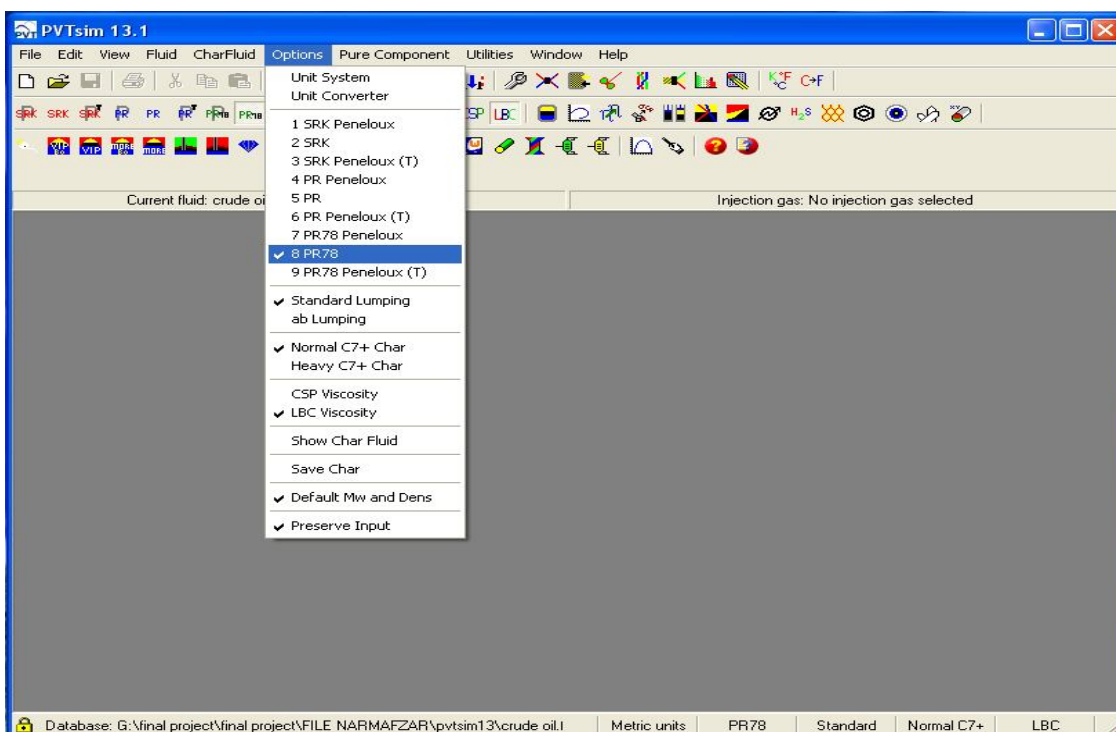
Reset Selected Prop Vector to FP Default Reset All Props to FP Default

دمای بحرانی مربوط به ترکیبات نفت خام سبک

پیوست ب- مدل‌سازی نفت سبک و سنگین در نرم افزار PVTsim

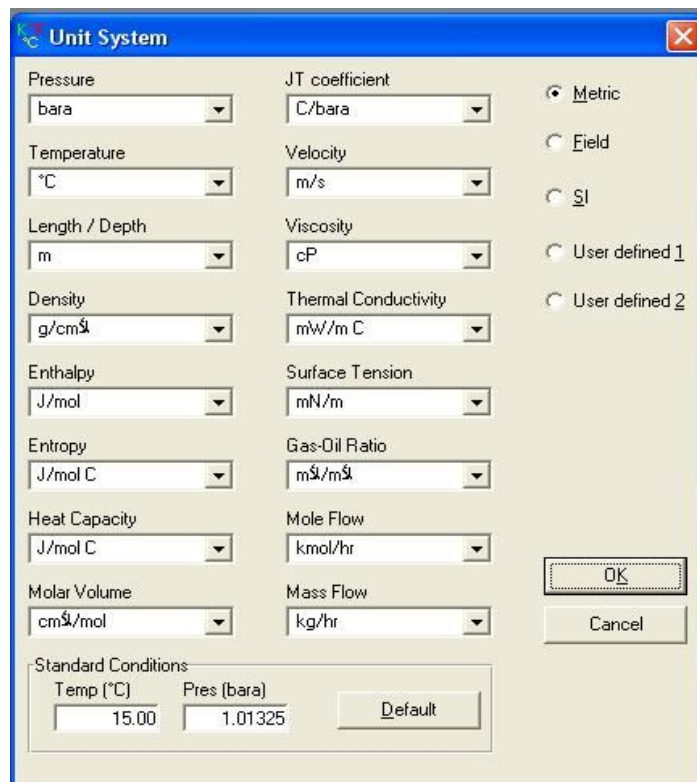
مدل سازی نفت سنگین در نرم افزار PVTsim

ابتدا با کلیک کردن بر روی آیکن نرم افزار، وارد محیط نرم افزار PVTsim می شویم. قبل از انجام هر کاری باید ابتدا تنظیمات نرم افزار را انجام داد. به این منظور برای انتخاب نوع معادله حالت، از منوی Options گزینه PR78 را انتخاب و سایر موارد رامشابه شکل زیر تنظیم می کنیم.



نمایی از پنجره نرم افزار

تنظیمات مربوط به واحد های مورد استفاده نیز مطابق شکل زیر تنظیم می گردد.



نمایی از پنجره نرم افزار

برای تعریف یک مخلوط جدید (نفت سبک)، مسیر زیر را طی می کنیم:

Fluid → Enter New Fluid

با طی مسیر فوق، پنجره ای مطابق شکل زیر باز می شود.

Enter New Fluid

Fluid

Well Test Fluid

Sample Text

History

Composition

Component	Mol %	Mol wt	Liquid Density g/cm ³
N2		28.014	
CO2		44.010	
H2S		34.080	
C1		16.043	
C2		30.070	
C3		44.097	
iC4		58.124	
nC4		58.124	
iC5		72.151	
nC5		72.151	
C6		86.178	0.6640
C7		96.000	0.7380
C8		107.000	0.7650

Total %

Options

Save Char Fluid

Adjust to sat point

Input composition in:

Mol%

Weight%

Input wax fraction

Fluid type

Plus fraction

No plus fraction

Characterized

OK

Cancel

Print

Char Options

Interact Param

PVT Data

Visc Data

Normalize Clear Add Comps Mol to Weight Complete

نمایی از پنجره نرم افزار

مشخصات قسمت Fluid را مطابق شکل زیر تکمیل می کنیم. لازم به ذکر است که این مشخصات اختیاری است و کاربر می تواند موارد دیگری را نیز وارد نماید و در حقیقت این قسمت برای شناختن سیال در Database کاربرد دارد.

Enter New Fluid

Fluid

Well: crude oil Test: light Fluid:

Sample: Text:

History:

Composition

Component	Mol %	Mol wt	Liquid Density g/cm ³
N2		28.014	
CO2		44.010	
H2S		34.080	
C1		16.043	
C2		30.070	
C3		44.097	
iC4		58.124	
nC4		58.124	
iC5		72.151	
nC5		72.151	
C6		86.178	0.6640
C7		96.000	0.7380
C8		107.000	0.7650

Total %:

Options

Save Char Fluid

Adjust to sat point

Input composition in:

Mol%

Weight%

Input wax fraction

Fluid type

Plus fraction

No plus fraction

Characterized

OK

Cancel

Print

Char Options

Interact Param

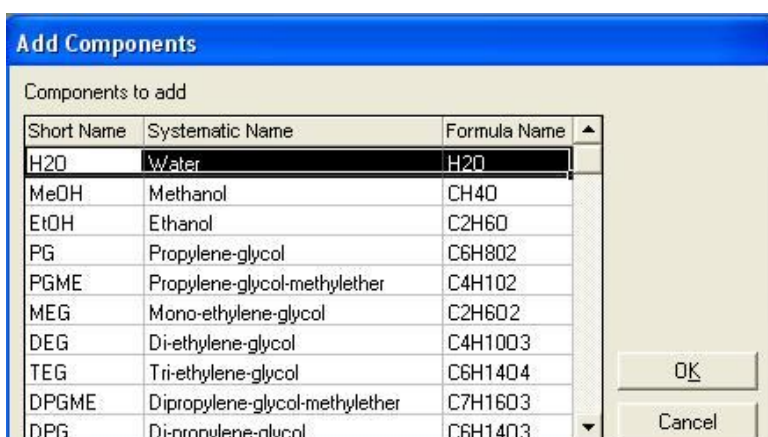
PVT Data

Visc Data

Normalize Clear Add Comps Mol to Weight Complete

نمایی از پنجره نرم افزار

اکنون در قسمت Composition ، درصد مولی ترکیبات را که در پیوست الف و با استفاده از نرم افزار HYSYS به دست آمد، وارد می کنیم. قبل از انجام این عمل، مشاهده می شود که برخی از ترکیبات نفت خام سبک در پنجره نمایش داده شده، موجود نمی باشند، لذا قبل از عمل وارد کردن درصد مولی، بر روی Add Comps در انتهای پنجره کلیک کرده و مشاهده می شود که پنجره دیگری نمایش داده خواهد شد. این پنجره مشابه پنجره زیر می باشد.



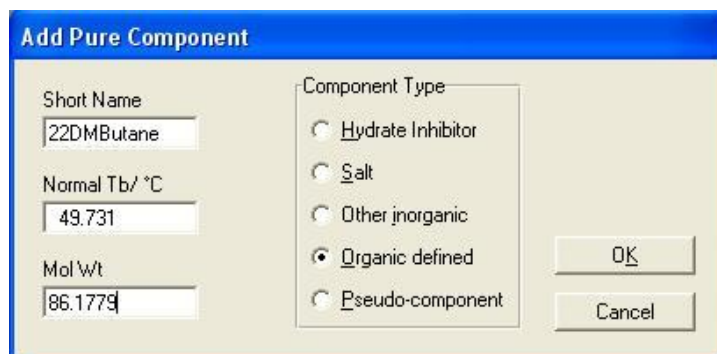
نمایی از پنجره نرم افزار

اکنون هر یک از ترکیبات لازم را از پنجره فوق انتخاب و بر روی OK کلیک می کنیم. با کمی دقت ملاحظه می شود که تمامی ترکیبات به جز یک عدد، در پنجره فوق موجود می باشد. 2DiMethyl Butane، در لیست پنجره فوق موجود نمی باشد. لذا باید ماده ای با مشخصات ماده ذکر شده، تعریف کنیم.

به این منظور مسیر زیر را طی می کنیم:

Pure Component → Add

با طی مسیر فوق، پنجره ای نمایان می گردد که با وارد کردن نام ماده جدید، دمای نقطه جوش و وزن ملکولی آن، یک مرحله از تعریف ماده جدید انجام گرفته است. انجام مراحل فوق در شکل زیر نمایان می باشد.



نمایی از پنجره نرم افزار

لازم به ذکر است که مشخصات ترمودینامیکی مربوط به ماده جدید مذکور، از بخش قبلی همین فصل و با استفاده از نرم افزار HYSYS قابل دسترسی می باشد.

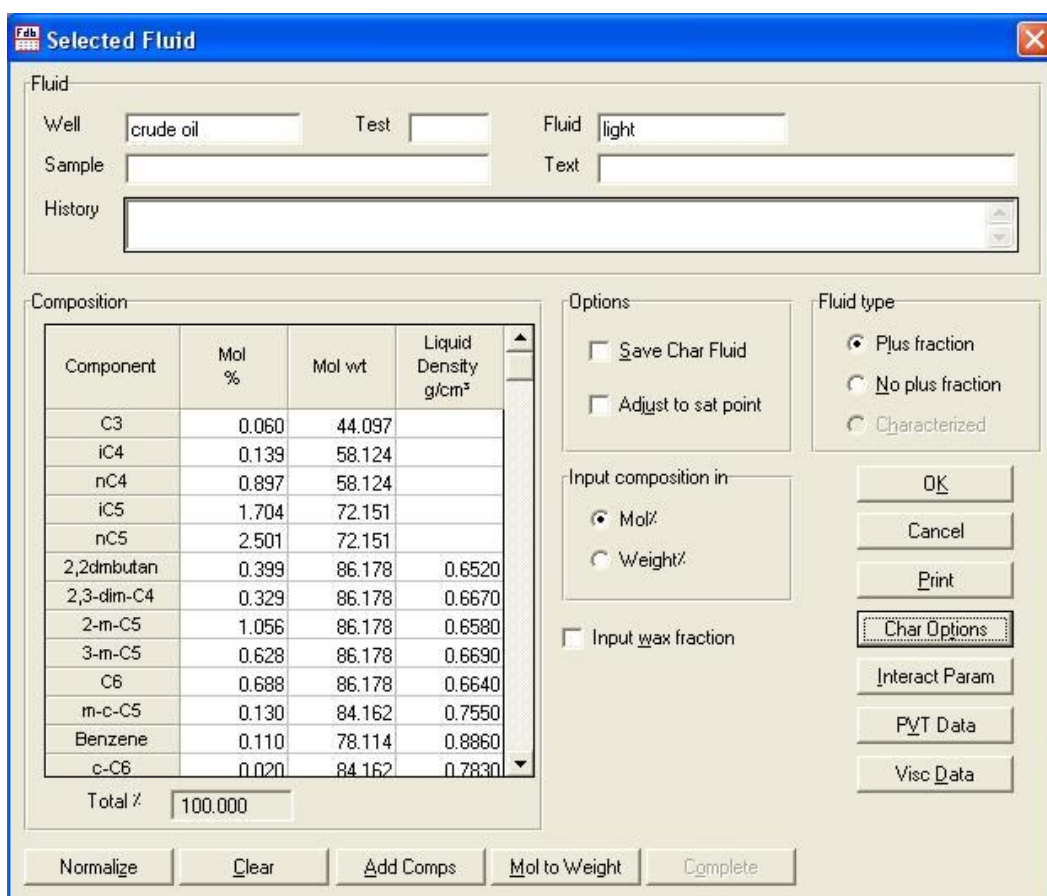
پس از تایید پنجره فوق، بلافاصله پنجره ای مطابق پنجره زیر نمایان می گردد که باید سایر خواص ماده جدید را وارد کرد. لازم به ذکر است که وارد کردن تمامی خواص ضروری نمی باشد و سایر خواص باقی مانده را خود نرم افزار محاسبه می کند و در بخش های بعدی در اختیار کاربر قرار می دهد.

Systematic Name 30 char.	Short Name 10 char	Formula Name 10 char	Mol wt	Liquid Density g/cm ³	Crit T °C
22DMButane	22DMButane	22DMButane	86.178	0.6526	231.299

Interaction matrices	Mixing rule	kij	HV alfa	HV gij/R K	HV gij/R K	HV gij-T/R	HV gij-T/R
		-	-			-	-
H2O	Classic	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
MeOH	Classic	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
EtOH	Classic	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
PG	Classic	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00
PGME	Classic	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.00

نمایی از پنجره نرم افزار

اکنون مجدداً به پنجره Enter New Fluid برگشته و درصد مولی تمامی اجزا را مطابق شکل زیر وارد می نماییم. لازم به ذکر است که باید برای C7+، مقادیر وزن ملکولی و دانسیته را باید در قسمت مربوطه تغییر داده و مقادیر به دست آمده از بخش قبلی را جایگزین نماییم.



نمایی از پنجره نرم افزار

پس از طی مراحل فوق، بر روی Normalize کلیک می کنیم تا اگر مجموع درصد مولی کمی بیشتر و یا کمتر از ۱۰۰ بود، نرمالیزه شده و به عدد دقیق ۱۰۰ تبدیل شود.

در قسمت Fluid type، گزینه Pluse fraction و همچنین Save Char Fluid را فعال می کنیم. در مرحله آخر بر روی OK کلیک می نماییم. با این عمل بلافاصله پیام هشدار دهنده ای ظاهر می شود که بیان کننده ذخیره شدن این سیال در انتهای لیست Database می باشد.

برای مشاهده درصد ترکیبات همراه با خواص هر کدام از آن ها، مسیر زیر را طی می کنیم:

Char Fluid → Edit Current

با طی روند فوق پنجره زیر باز می شود که تمامی خصوصیات ترکیبات را پس از محاسبه نمایش می دهد.

Current Char Fluid

Fluid

Well: Test: Fluid:

Sample: Text:

History:

Composition

Component	Mol %	Mol wt	Liquid Density g/cm ³	Crit T °C	Crit P bara	Ac fa
C3	0.060	44.097		96.650	42.46	
iC4	0.139	58.124		134.950	36.48	
nC4	0.897	58.124		152.050	38.00	
iC5	1.704	72.151		187.250	33.84	
nC5	2.501	72.151		196.450	33.74	
2,2dmбутан	0.399	86.178	0.6520	231.299	38.81	
2,3-dim-C4	0.329	86.178	0.6670	226.750	31.31	
2-m-C5	1.056	86.178	0.6580	224.350	30.09	
3-m-C5	0.628	86.178	0.6690	231.250	31.21	
C6	0.688	86.178	0.6640	234.250	29.69	
m-c-C5	0.130	84.162	0.7550	259.550	37.90	
Benzene	0.110	78.114	0.8860	288.950	48.94	

Total %:

Fluid type

Plus fraction

No plus fraction

Characterized

OK

Cancel

Print

Char Options

Interact Param

PVT Data

Visc Data

Normalize Clear Add Comps Mol to Weight Complete

نمایی از پنجره نرم افزار

با کلیک کردن بر روی OK، مدل کردن نفت سبک در نرم افزار PVTsim به پایان رسیده است.

مدل سازی نفت سنگین در نرم افزار PVTsim

با توجه به مشابه بودن این بخش با بخش مدل سازی نفت سبک، از بیان جزئیات خودداری

شده و تنها نتایج آورده شده است. پس از مدل کردن نفت در نرم افزار HYSYS، درصد مولی و وزنی

و برخی خصوصیات ترکیبات در زیر آورده شده است.

Input Composition for Stream: heavy- mori k-k

	MassFraction
Propane	0.0001
i-Butane	0.0004
n-Butane	0.0031
i-Pentane	0.0076
n-Pentane	0.0090
n-Hexane	0.0022
22-Mbutane	0.0002
23-Mbutane	0.0019
2-Mpentane	0.0049
3-Mpentane	0.0025
Mcylopentan	0.0005
Benzene	0.0003
NBP[0]364*	0.9673
Total	1.0000

Composition Basis

Mole Fractions

Mass Fractions

Liq Volume Fractions

Mole Flows

Mass Flows

Liq Volume Flows

Composition Controls

Erase

Normalize

Cancel

OK

درصد وزنی ترکیبات نفت خام سنگین

Input Composition for Stream: heavy- mori k-k

	MoleFraction
Propane	0.0005
i-Butane	0.0014
n-Butane	0.0110
i-Pentane	0.0218
n-Pentane	0.0258
n-Hexane	0.0053
22-Mbutane	0.0005
23-Mbutane	0.0046
2-Mpentane	0.0117
3-Mpentane	0.0060
Mcylopentan	0.0012
Benzene	0.0008
NBP[0]364*	0.9095
Total	1.0000

Composition Basis

Mole Fractions

Mass Fractions

Liq Volume Fractions

Mole Flows

Mass Flows

Liq Volume Flows

Composition Controls

Erase

Normalize

Cancel

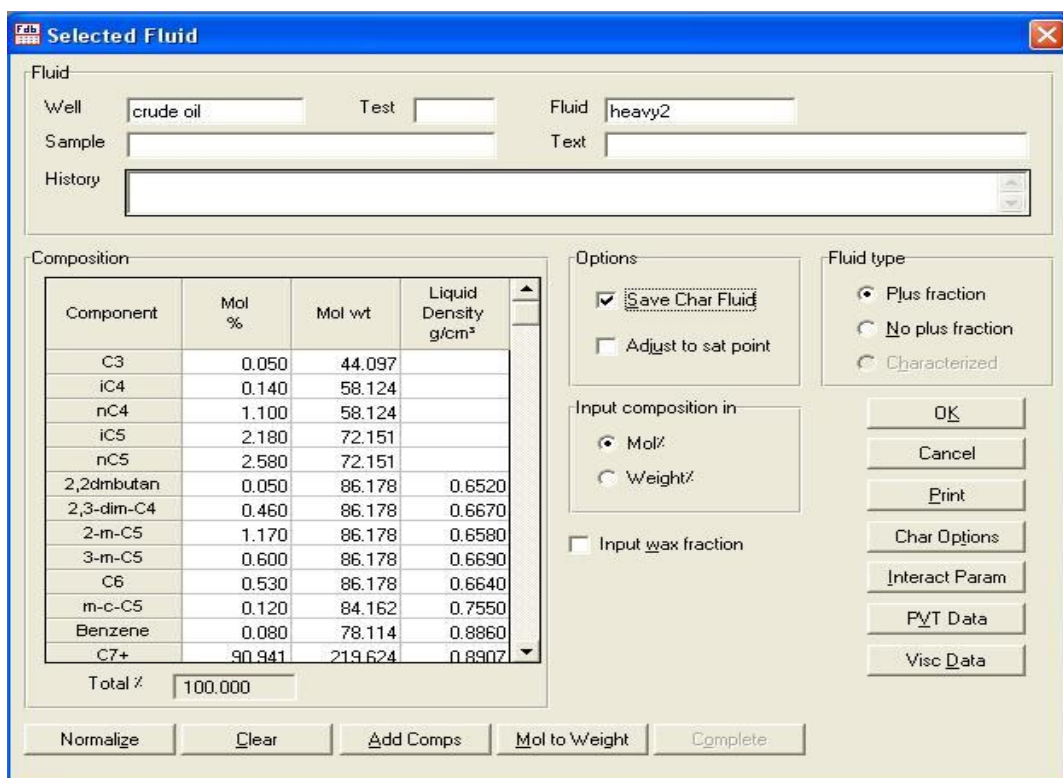
OK

درصد مولی ترکیبات نفت خام سنگین

تا کنون ترکیب C7+ و خصوصیات آن برای نفت خام سنگین مشخص شده است.

اکنون نرم افزار PVTsim را اجرا کرده و مشابه نفت خام سبک مدل سازی نفت خام سنگین را انجام می دهیم.

در شکل زیر نمایی از پنجره تعریف سیال جدید را که برای نفت خام سنگین در نظر گرفته شده است، مشاهده می شود.



نمایی از پنجره نرم افزار

پس از طی مراحل مختلف که در مدل سازی نفت سبک مطرح گردید، نهایتاً سیال ذخیره شده به شکل زیر می باشد.

Selected Fluid

Fluid

Well: crude oil Test: Fluid: heavy2

Sample: Text: EOS= PR78

History:

Composition

Component	Mol %	Mol wt	Liquid Density g/cm ³	Crit T °C	Crit P bara	Ac fa
C3	0.050	44.097		96.650	42.46	
iC4	0.140	58.124		134.950	36.48	
nC4	1.100	58.124		152.050	38.00	
iC5	2.180	72.151		187.250	33.84	
nC5	2.580	72.151		196.450	33.74	
2,2dimbutan	0.050	86.178	0.6520	231.299	38.81	
2,3-dim-C4	0.460	86.178	0.6670	226.750	31.31	
2-m-C5	1.170	86.178	0.6580	224.350	30.09	
3-m-C5	0.600	86.178	0.6690	231.250	31.21	
C6	0.530	86.178	0.6640	234.250	29.69	
m-c-C5	0.120	84.162	0.7550	259.550	37.90	
Benzene	0.080	78.114	0.8860	288.950	48.94	

Total %: 100.000

Fluid type

Plus fraction

No plus fraction

Characterized

OK

Cancel

Print

Char Options

Interact Param

PVT Data

Visc Data

Normalize Clear Add Comps Mol to Weight Complete

نمایی از پنجره نرم افزار

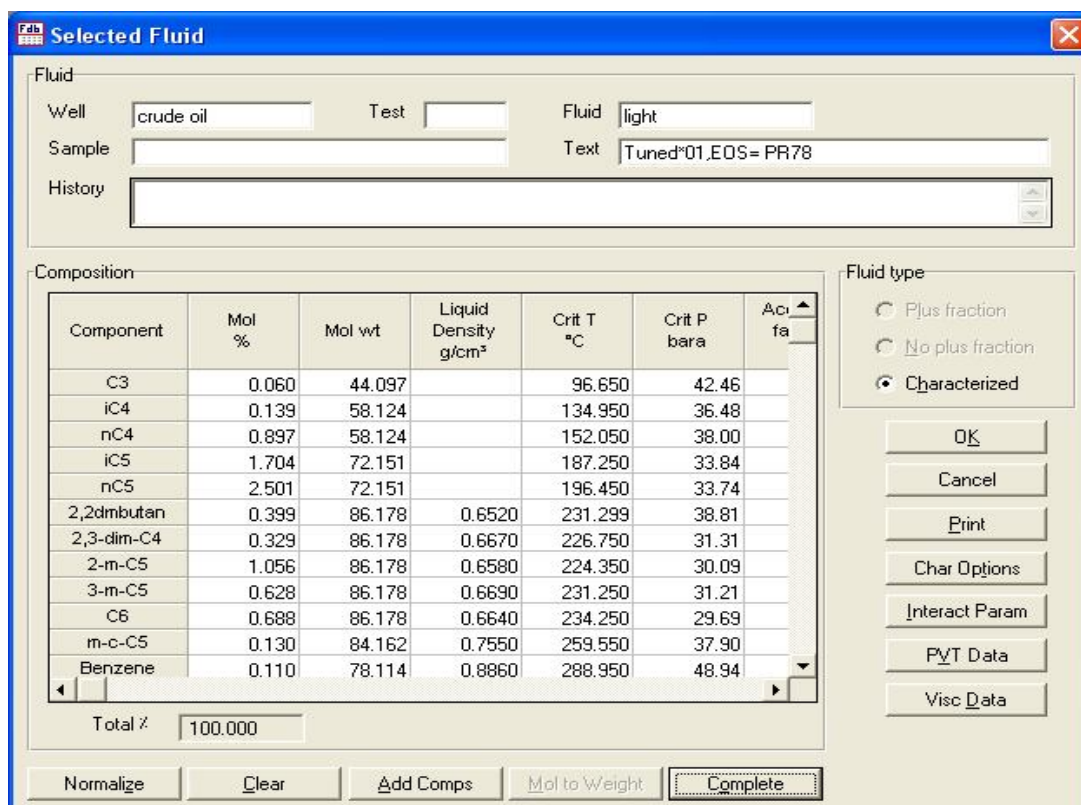
به این ترتیب نفت خام سنگین نیز در نرم افزار PVTsim، مدل سازی گردید.

نتایج حاصل از اجرای نرم افزار

نفت سبک

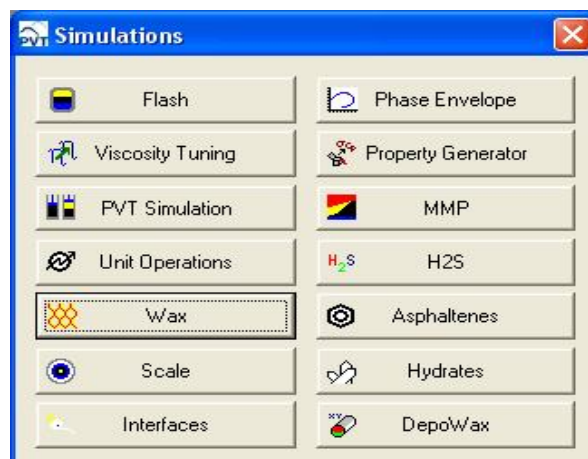
از پنجره Database نفت خام سبک را که تحت عنوان Light ذخیره گردیده، انتخاب می کنیم و در

پنجره زیر پس کلیک کردن بر روی Complete، OK می کنیم.



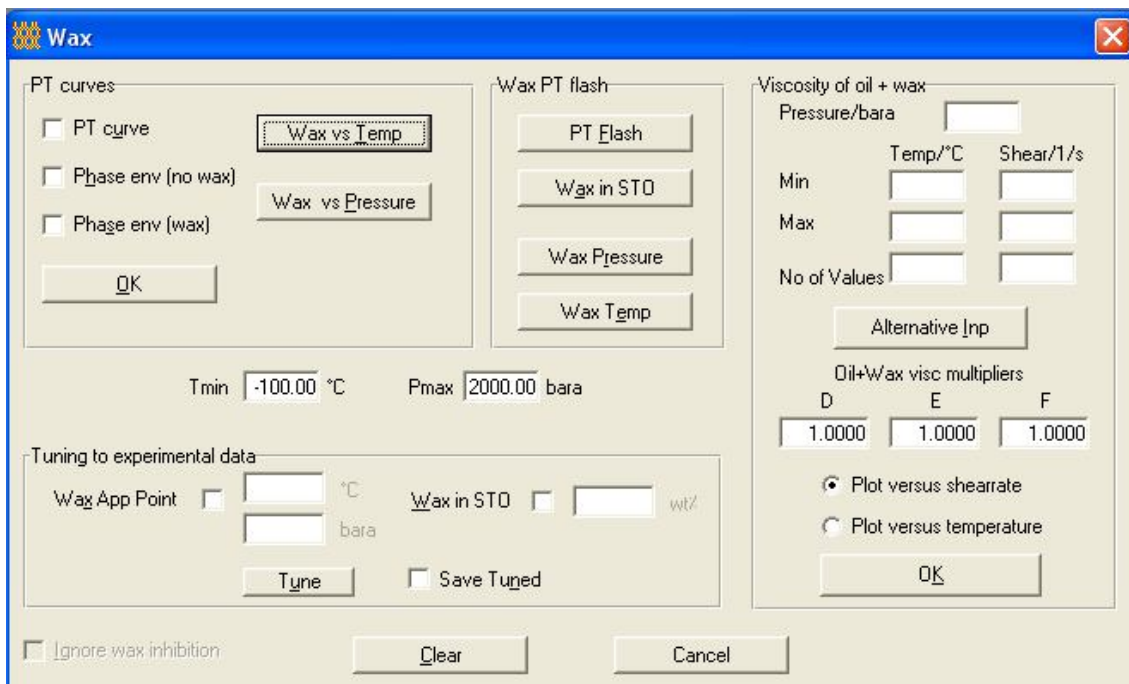
نمایی از پنجره نرم افزار

اکنون از منوی Simulation گزینه Wax را انتخاب می کنیم.



نمایی از پنجره نرم افزار

با طی روند فوق پنجره ای مشابه پنجره زیر باز می شود.



نمایی از پنجره نرم افزار

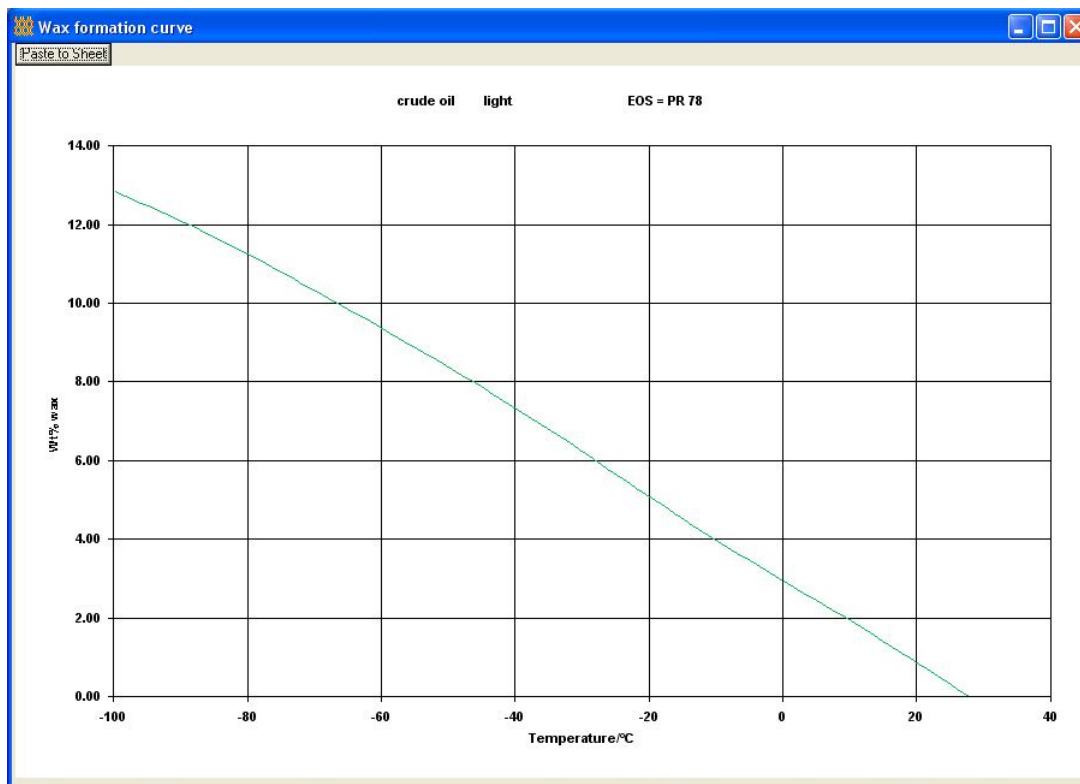
بر روی Wax vs Temp کلیک می کنیم.

پس از طی مراحل فوق پنجره ای مطابق شکل زیر ظاهر می گردد که باید مقدار فشاری که در آن فشار منحنی میزان واکس جامد بر حسب دما را ترسیم می کند، داده شود، که این مقدار را برای مخزن تقریباً فشار محیط یعنی 1.01 bar وارد می کنیم و بر روی Ok کلیک می کنیم.



نمایی از پنجره نرم افزار

نهایتاً خروجی نرم افزار به صورت جدول و نمودار نشان داده می شود که این نتایج در نمودار های زیر مشاهده می شود.

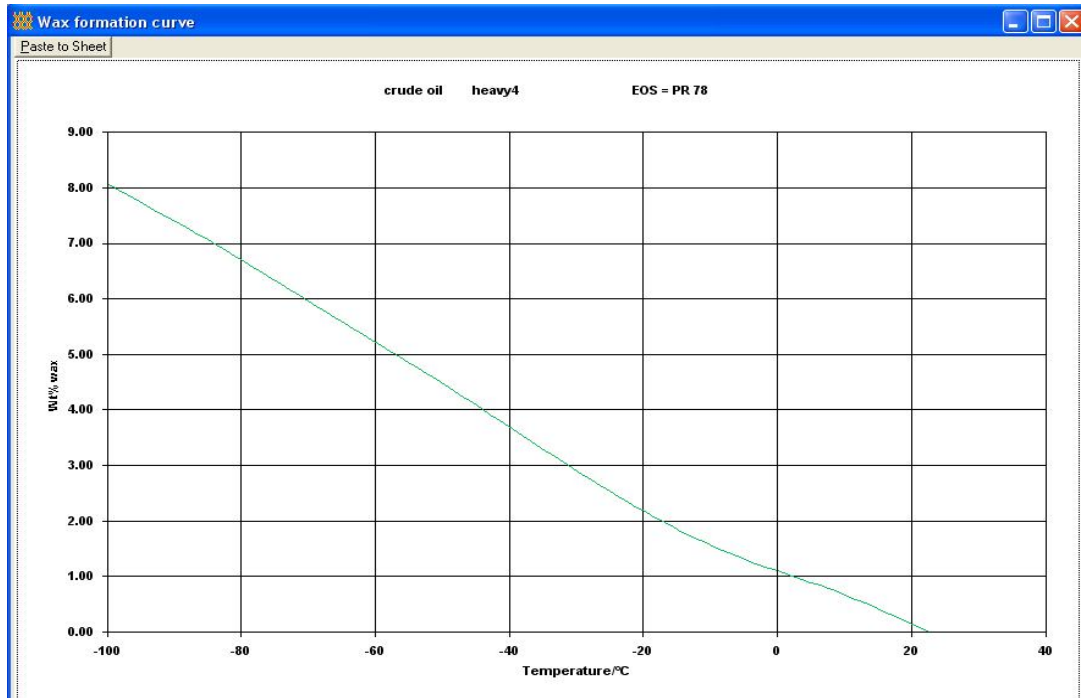


تشکیل ذرات جامد واکس برای دما های مختلف برای نفت سبک

نفت سنگین

مراحل مربوط به نفت سبک را، برای نفت سنگین انجام می دهیم و نهایتاً خروجی نرم افزار به

صورت نمودار زیر نشان داده می شود.



نمایی از پنجره نرم افزار

لازم به ذکر است که از نمودار های فوق برای بدست آوردن مقدار ذرات جامد و معلق واکس برای هر دو نفت خام سبک و سنگین در شرایط مختلف روز و رنگ استفاده می شود.

مراجع:

- Ahmed (2007), *Equations of State and PVT Analysis*, Gulf Publishing Company Houston, Texas.
- Aske, N., H. Kallevik, and J. Sjoblom (2001), Determination of Saturate, Aromatic, Resin, and Asphaltenic (SARA) Components in Crude Oils by Means of Infrared and Near-Infrared Spectroscopy. *Energy & Fuels*, 15(5): p. 1304-1312.
- Ciolek (2006),” *Emission Factor Documentation for AP-42 Section 7.1 Organic Liquid Storage Tanks*”, Chapter 5: Emission Estimation Procedure for floating roof tank.
- Chen, Zongchang Zhao, Xiaodong Zhang, Lijuan Wang (2007),”Thermodynamic phase equilibria of wax precipitation in crude oils”, *Fluid Phase Equilibria* 255, 31–36.
- Elsharkwy, A.M., Al-Sahhaf, A., Fahim, M.A., Al-Zabbai, W.(1999)” Determination and Prediction of Wax Deposition from Kuwaiti Crude Oils”. *SPE* 54006.
- Erickson, V.G. Niesen, T.S. Brown(1993)” Measurement and Prediction of the Kinetics of Parafin Deposition”, *SPE* 26548.
- Escobar, Remolina (2006)” Prediction of characteristics of wax precipitation in synthetic mixtures and fluids of petroleum: A new model”, *Fluid Phase Equilibria* 240, 197–203.
- Esmailzadeh, J. Fathi Kaljahi, E. Ghanaei (2006) ” Investigation of different activity coefficient models in thermodynamic modeling of wax precipitation”, *Fluid Phase Equilibria* 248, 7–18.
- Evans, D. F., Tominaga, T., and Davis, H. T.,1981, Tracer Diffusion in Polyatomic Liquids, *J. Chem. Phys.*, 74, 1298-1305.
- Evdokimov, Nikolaj Yu. Eliseev, Dmitrij Yu. Eliseev (2003) “ Thermophysical properties and phase-behaviour of asphaltene-containing petroleum fluids”, *Fluid Phase Equilibria* 212, 269–278.

- Firoozabadi (1999) “*Thermodynamics of Hydrocarbon Reservoirs*”, 1st ed., McGraw-Hill, New York.
- Hong E, Paul Watkinson (2004) “A study of asphaltene solubility and precipitation”, *Fuel* 83, 1881–1887.
- Jaramillo, C. Lira-Galeana, O. Manero (2006) “ Modeling Asphaltene Deposition in Production Pipelines”, *Energy & Fuels*, 20, 1184-1196.
- Katz, D. L. and Beu, K. E. (1945) “ Nature of Asphaltic Substances”, *Ind. of Engin. Chemistry*, 37, p. 195.
- Leontaritis (2005) “ Quantification of Asphaltene and Wax Sludge Build-up in Crude Oil Storage Facilities”, *SPE* 92958.
- Mansoori G.A. (1997) “ Modeling of Asphaltene and other heavy organic depositions “ , *Journal of Petroleum Science and Engineering* ,17 ,pp.101-111.
- Mysels (1978) “*Introduction to Colloid Chemistry*”, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, New York.
- Narayanan, L., Leontaritis, K.J., Darby, R. (1993) “A Thermodynamic Model for Predicting Wax Deposition from Crude Oils”, *Core Laboratory Division, Western Atlas Division, Inc.*
- Olphen (1938) “*Introduction to Clay Colloid Chemistry*”, The Science of Petroleum, Oxford University Press, vol. 4, 2760.
- Pedersen, H.P. Skovborg, and H.P. Ronningsen (1991) “Wax Precipitation from North Sea Crude Oils. 4. Thermodynamic Modelling”, *Energy & Fuels*, 5, PP. 924-932.
- Ray, B. R., Witherspoon, P. A., and Grim, R. E. (1957) “A Study of the Colloidal Characteristics of Petroleum Using the Ultracentrifuge”, *J. Phys Chem.* 61, 1296.
- Reid, R.C., Prausnitz, J.M., Poling, E.B. (1987) “*The Properties of Gases and Liquids*”, 4th Ed. McGraw-Hill Book Co.

- Richardson. (1915) “Modern Asphalt Pavement”, New York, 1905, *J. Phys. Chem.* 19, 241.
- Tabatabaei, S.A.R. (1999), Ph.D. Dissertation, “Phase Behaviour Modelling of Petroleum Wax and Hydrates”, Heriot-Watt Univ., Edinburgh, UK.
- Tabatabaei-Nejad, Elnaz Khodapanah (2009) “An investigation on the sensitivity analysis of the parameters of proposed wax precipitation model”, *Petroleum Science and Engineering* 68, 89–98.
- Taylor, R. Krishna (1993) “*Multicomponent Mass Transfer*”, JOHN WILEY & SONS, INC.
- Towler, Surya Rebbapragada (2004) “Mitigation of paraffin wax deposition in cretaceous crude oils of Wyoming”, *Petroleum Science and Engineering* 45, 11 – 19.
- Vafaie, Seyyed A. Mousavi-Dehghani, Mohammad Mohammad-Zadeh (2003) “A simple model for asphaltene deposition in petroleum mixtures”, *Fluid Phase Equilibria* 206, 1–11.
- Vasquez, D. and G.A. Mansoori (2000) “Identification and measurement of petroleum precipitates”, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 26: p. 49-55.
- Venkatesan and J.L. Creek (2007) “Wax Deposition During Production Operations”, OTC 18798, *SPE*, Texas, USA.
- Won, K.W. (1985) “Continuous thermodynamics for solid–liquid equilibria: wax formation from heavy hydrocarbon mixtures”, *Paper 27A Presented at AIChE Spring National Meeting*, Houston, TX.
- Won, K.W. (1986) “Thermodynamics for solid solution–liquid–vapor equilibria: wax formation from heavy hydrocarbon mixtures”, *Fluid Phase Equilib.* 30, 265–279.
- Won, K.W. (1989) “Thermodynamic calculation of cloud point temperatures and wax phase compositions of refined hydrocarbon Mixtures”, *Fluid Phase Equilib.* 53, 377–396.

Yan, Bahman Tohidi, Ali Danesh, Adrian C. Todd (2004) "Wax phase equilibria: developing a thermodynamic model using a systematic approach", *Fluid Phase Equilibria* 216, 201–217.

Zuo, Dan Zhang (2008) "Wax Formation from Synthetic Oil Systems and Reservoir Fluids", *Energy & Fuels*, 22, 2390–2395.

جانسون، ایروین میلر، جان فروند، غلامحسین یاری (مترجم)، (۱۳۸۵)، "آمار و احتمال مهندسی"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران. چاپ اول. ص ۱۷۴.

<http://www.OPEC.org>

<http://www.wikipedia.org>

Abstract

One of the major difficulties related to crude oil storage tank is settling heavy particles and forming accumulated sludge at the bottom of the tank. Accumulated sludge which is mostly composed of asphaltene and wax particles, causes to decrease the tank storage capacity and corrosion. Due to high density of asphaltene and wax particles, these particles settle due to gravity force. In the present work, a numerical study has been carried out to study for the effect of solar irradiation on sludge forming of the crude oil storage tanks. We use Angstrom model for calculating solar irradiation for every month of year and then predicting mean crude oil temperature in tank.

An experimental and numerical study has been carried out to investigate sludge formation at bottom of an in-use crude oil storage tank. The numerical method has been developed to determine amount of monthly sludge formation. Firstly, a thermodynamic model which is based on equality of fugacity for each component in both the solid and liquid phases has been developed to predict wax precipitation. The amount of asphaltene precipitation is determined by experiments. Secondly, Stoke's Law, Fick's law of diffusion and Einstein's law of diffusion have been employed to detect the critical particle size and critical particle molecular weight. Critical particle molecular weight which is the size of smallest particle that settles under the force of gravity. Then by knowing a particle size distribution, a fraction of the incoming asphaltene and wax particles which settle in the tank has been calculated. Finally, the numerical value of sludge height has been compared with similar measured value and good agreement has been encountered.

In experiment investigation, Khark 28th crude oil storage tank is selected as a case study and sludge height has been measured every month for more than a year. The numerical and measured value of sludge height shows 350 mm growth during a year. This corresponds to 30926 barrels of crude oil and means $30926 \times 75\$ = 2319450\$$ financial lost for just one crude oil storage tank.

Keywords: *Sludge formation; Asphaltene; Wax; Storage tank; Khark Island; Solar irradiation*