



دانشگاه صنعتی شیراز
دانشکده مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی شیمی (گرایش گاز)

پیش بینی شرایط تشکیل واکس به کمک
معادله های حالت مکعبی و قوانین اختلاط G^E

بوسیله:

محمد فانی خشتی

استاد راهنما:

دکتر خشایار نصری فر

بسمه تعالی

پیش بینی شرایط تشکیل واکس به کمک معادله های
حالت مکعبی و قوانین اختلاط G^E

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی
برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

توسط:

محمد فانی خشتی

گروه مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشکده مهندسی شیمی
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

دکتر خشایار نصری فر، دانشیار مهندسی شیمی (استاد راهنما).....

دکتر جعفر جوانمردی، استادیار مهندسی شیمی (استاد مشاور).....

دکتر عبدالمحمد علمداری، دانشیار مهندسی شیمی (استاد مدعو از دانشگاه شیراز).....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: مهندس علی قنبری

تیر ماه 1389

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به :

تگیه گاه استوار زندگی

پدرم

او که همچون سروی استوار، سایه سار لحظات نگرانیم بود

و روشن ترین ستاره زندگی

مادرم

که تمام لحظات عمرم را نور و گرمی بخشید

و موهبت بزرگ زندگی

همسرم

که آرامش بخش تک تک لحظاتم بود

سپاسگزاری

سپاس خدایی را که داننده بی ادعاست

حال که در سایه الطاف پروردگار یکتا تحقیق این پروژه به پایان رسیده است، بر خود واجب می دانم که از زحمات کلیه کسانی که از آغاز تا به امروز مرا در انجام این تحقیق، تشویق و یاری نموده اند، کمال تشکر و قدردانی را بعمل آورم. تقدیر و تشکر خاص خود را، تقدیم به استاد علم و اخلاق، جناب آقای دکتر نصری فر می نمایم. بی شک بدون راهنماییهای ارزشمند، دلسوزیهای پدرانه و حمایتهای همه جانبه ایشان پیمودن این راه میسر نبود. از پدر، مادر و همسر عزیزم که مشوق اصلی من در پیمودن این راه بوده اند، کمال تشکر را بعمل می آورم و از کلیه دوستانی که هر کدام مرا به نوعی مرهون محبتهای خود نموده اند سپاسگزاری می کنم.

و با تشکر از مدیریت شرکت ملی پالایش و پخش فراورده های نفتی ایران که "این پایان نامه با حمایت و پشتیبانی شرکت ملی پالایش و پخش فراورده های نفتی ایران اجرا شده است".

چکیده

پیش بینی شرایط تشکیل واکس به کمک معادله های حالت مکعبی

و قوانین اختلاط G^E

ارائه دهنده :

محمد فانی خشتی

در این پروژه یک مدل ترمودینامیکی جدید بر پایه تئوری جامد محلول برای پیش بینی تعادلات جامد-مایع در ترکیبات دوتایی و مخلوطها از فشار اتمسفری تا فشارهای خیلی بالا توسعه داده شده است. برای بدست آوردن جوابهای مناسب، دما و آنتالپی تغییر فاز جامد-مایع در نرمال آلکانها با روابط جدیدی برازش شده اند. در این مدل در فاز مایع از معادلات حالت PR و NB استفاده شده است. از دو قانون اختلاط واندروالس و Wong-Sandler در این کار استفاده شده است. برای بهبود نتایج در فاز مایع در معادلات حالت از ضریب بر هم کنش دوتایی Jaubert و همکاران استفاده شده است. در قانون اختلاط Wong-Sandler از مدل اکتیویته UNIFAC استفاده شده است. در فاز جامد از مدل اکتیویته Wilson استفاده شده است. این مدل جدید دارای نتایج مناسبی در فشارهای پایین و بالا می باشد. در این پروژه در فاز مایع از مدلهای اکتیویته نیز استفاده شده است که در این مدلها معادلات حالت به کار نرفته اند و مقایسه نتایج حاصل از مدل با مدلهای دیگر نشان از جوابهای مناسب مدل دارد. نتایج بدست آمده از مدل با مقادیر آزمایشگاهی در ترکیبات دوتایی و مخلوطهای چند جزئی مقایسه شده است و مشاهده می شود که مدل به خوبی این مقادیر را پیش بینی می کند.

فهرست مطالب:

صفحه	عنوان
۱	فصل ۱-مقدمه
۱۱	فصل ۲-بررسی مدل‌های ارائه شده
۳۶	فصل ۳-مدل ترمودینامیکی ارائه شده
۳۷	۱-۳ مدل ترمودینامیکی فاز جامد
۴۴	۲-۳ مدل ترمودینامیکی فاز مایع
۴۵	۱-۲-۳ محاسبه فوگاسیته مایع به کمک معادله حالت
۵۲	۲-۲-۳ محاسبه فوگاسیته مایع بدون استفاده از معادله حالت
۵۳	۳-۳ روش تحقیق
۵۶	فصل ۴- نتایج
۵۶	۱-۴ اجزای خالص
۵۹	۲-۴ نتایج مربوط به ترکیبات دوتایی
۶۱	۱-۲-۴ ترکیبات دوتایی درسیستم‌های با دمای کمتر از دمای بحرانی $T_{ri} < 1$
۶۲	۲-۲-۴ ترکیبات دوتایی درسیستم‌های با دمای بیشتر از دمای بحرانی جزء سبک
۸۲	۳-۴ سیستم‌های متشکل از چند جزء
۸۷	فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۸	۱-۵ نتیجه گیری
۸۹	۲-۵ پیشنهادات
۹۰	مراجع
۹۶	پیوستها

صفحه	عنوان
۹۶	پیوست الف (سیکل ترمودینامیکی محاسبه فوگاسیته یک مایع فوق سرد)
۱۰۰	پیوست ب (محاسبه گرمای تصعید)
۱۰۲	پیوست ج (محاسبه ضریب فوگاسیته به کمک قانون اختلاط W-S)
۱۰۴	پیوست د (محاسبه خواص فیزیکی)

فهرست جدولها

صفحه	عنوان و شماره
۵	جدول ۱-۱ ترکیب درصد و خواص گروههای تشکیل دهنده واکسها
۵۰	جدول ۱-۳ پارامترهای مورد استفاده برای محاسبه ضریب بر هم کنش دوتایی ارائه شده توسط Jaubert و همکاران
۵۷	جدول ۱-۴ مقادیر بدست آمده برای نقطه تشکیل واکس توسط مدل‌های مختلف
۵۹	جدول ۲-۴ مدل‌هایی که برای شرح فاز مایع به کار رفته اند
۶۱	جدول ۳-۴ کد ترکیبات، رنج فشار و درصد مولی ترکیبات دوتایی مورد استفاده در این پروژه
۶۲	جدول ۴-۴ میزان دقت مدل M1 در مقایسه با سایر مدل‌های مقایسه شده در ترکیبات جدول ۳-۴
۶۲	جدول ۵-۴ مقایسه میزان دقت در پیش بینی دمای تشکیل واکس در مدل‌های M1 تا M8
۷۵	جدول ۶-۴ ترکیبات دوتایی دارای دمایی بیشتر از دمای بحرانی یک جزء
۷۶	جدول ۷-۴ نتایج حاصل از ترکیبات دوتایی موجود در جدول ۶-۴
۸۳	جدول ۸-۴ سیستم‌های چند جزئی مورد بررسی در این پروژه
۸۴	جدول ۹-۴ مقایسه بین مدل M1 و سایر مدل‌های مقایسه شده در ترکیب‌های چند جزئی
۸۴	جدول ۱۰-۴ مقایسه نتایج بین مدل‌های M1 تا M8 در ترکیبات چند جزئی

فهرست شکلها

صفحه	عنوان و شماره
۴	شکل ۱-۱ نمونه های معمولی واکس
۶	شکل ۲-۱ نحوه تشخیص دمای تشکیل واکس
۷	شکل ۳-۱ نمودار فازی دما-فشار برای رسوب واکس
۱۸	شکل ۱-۲ مدل چند جامدی ارائه شده توسط Firoozabadi و LiraGaleana
۲۸	شکل ۲-۲ تصویری از فاز روتاتور
۲۹	شکل ۳-۲ تصویری از فاز تری کلینیک
۴۱	شکل ۱-۳ نمودار دمای ذوب نرمال پارافینها
۴۲	شکل ۲-۳ نمودار آنتالپی تغییر فاز جامد - مایع در نرمال پارافینها
۴۳	شکل ۳-۳ نمودار پارامتر a_i بر حسب تعداد اتم کربن
۴۴	شکل ۴-۳ نمودار پارامتر a_i بر حسب ضریب بی محوری
۵۴	شکل ۵-۳ نمودار میزان خطا بر حسب دما
۵۴	شکل ۶-۳ نمودار میزان خطا بر حسب فشار
۵۸	شکل ۱-۴ مقادیر پیش بینی شده و آزمایشگاهی در ترکیبات خالص
	شکل ۲-۴ پیش بینی دمای تشکیل واکس در ترکیب $C_{14}-C_{15}$ در سه درصد مولی متفاوت از C_{15} ($\square = 0.75$, $O = 0.5$ and $* = 0.25$) با مدل M2 و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی
۶۴	
	شکل ۳-۴ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و بدست آمده در ترکیب $C_{14}-C_{15}$ در درصد مولی های مختلف از C_{14} ، خطوط مدل M7 و * نقاط آزمایشگاهی
۶۵	

عنوان و شماره

صفحه

- شکل ۴-۴ مقایسه دمای تشکیل واکس در فشارهای ۲۰ MPa (O) و ۱۰۰ MPa (*) در ترکیب دوتایی C₁₄-C₁₅ در مدل‌های Ji و همکاران (-- --)،
- ۶۶ Ghanaei و همکاران (--)، Milhet و همکاران (- . -) و مدل M1 (- -) شکل ۵-۴ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده برای پیش بینی شرایط تشکیل واکس در ترکیب C₁₄-C₁₆ در ۳ درصد مولی از C₁₆ که خطوط مدل M3 و نقطه چینها مدل M1 می باشند
- ۶۷ شکل ۶-۴ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده در ترکیب C₆-C₁₃ برای دمای تشکیل واکس در دو دمای ۲۹۳.۱۵ K (O) و ۳۱۳.۱۵ K (*)
- ۶۸ و در ۴ مدل M1 (- -)، M5 (---)، M7 (- -)، M8 (-.-) شکل ۷-۴ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل M2 در ترکیب C₆-C₁₆ در بازه ۲۹۳.۱۵ K تا ۳۴۳.۱۵ K خطوط نتایج حاصل از مدل و * مقادیر آزمایشگاهی
- ۶۹ شکل ۸-۴ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل M7 در ترکیب دوتایی بین C₆-C₁₆ در بازه دمایی ۲۹۳.۱۵ K تا ۳۴۳.۱۵ K، خطوط مدل M7 و نمادها نتایج آزمایشگاهی می باشند
- ۷۰ شکل ۹-۴ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل M7 در بازه ۳۰۳.۱۵ K تا ۳۵۳.۱۵ K در ترکیب دوتایی C₆-C₁₈، خطوط نتایج حاصل از مدل M5 و نمادها مقادیر آزمایشگاهی هستند
- ۷۱ شکل ۱۰-۴ مقایسه نتایج پیش بینی شده برای شرایط تشکیل واکس توسط معادله حالت NB و قانون اختلاط واندوالس و با قرار دادن ضریب بر هم کنش دوتایی برابر با صفر (مدل M1) در ترکیب C₂-C₁₆
- ۷۲ در ۶ درصد مولی متفاوت از C₁₆ و مقادیر آزمایشگاهی (نمادها)

- شکل ۴-۱۱ مقایسه نتایج آزمایشگاهی، و مقادیر بدست آمده در ترکیب دوتایی C₂-C₁₆ در ۴ مدل M1 (-)، مدل M2 (- -)، M3 (.)، M4 (-.-) در سه ترکیب درصد متفاوت از C₁₆ ۷۳
- شکل ۴-۱۲ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و بدست آمده برای دمای تشکیل واکس در ترکیب دوتایی C₂-C₂₀ در ۳ مدل M1 (-)، M2 (- -)، M3 (.) در ۳ درصد مولی متفاوت از C₂ ۷۴
- شکل ۴-۱۳ مقایسه نتایج بدست آمده از شرایط تشکیل واکس در ترکیب دوتایی بین C₂-C₂₀ در دمای بالاتر از دمای بحرانی اتان با روش M7 و مقادیر آزمایشگاهی در ۳ درصد مولی متفاوت از C₂₀ ۷۷
- شکل ۴-۱۴ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل‌های M4 (-) و M6 (- - -) در ترکیب دوتایی C₂-C₂₂ در ترکیب‌های مختلف از C₂₂ (O=0.9459, * = 0.7965) ۷۸
- شکل ۴-۱۵ مقایسه نتایج بدست آمده از شرایط تشکیل واکس در ترکیب دوتایی بین C₁-C₁₇ در دمای بالاتر از دمای بحرانی متان با روش M1 و مقادیر آزمایشگاهی در ۳ درصد مولی متفاوت از C₁₇ ۷۹
- شکل ۴-۱۶ مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدل‌های M4 (-) و مدل M7 (- -) در پیش بینی شرایط تشکیل واکس در ترکیب دوتایی C₁-C₂₄ در دو درصد مولی متفاوت از C₂₄ (O=0.555, □=0.901) ۸۰
- شکل ۴-۱۷ نتایج حاصل از پیش بینی شرایط تشکیل واکس در ترکیب دوتایی C₁-C₃₀ به کمک مدل M7 در بازه فشاری ۱۰۳.۱ MPa تا ۱۸۳.۱ MPa و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی ۸۱
- شکل ۴-۱۸ مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و مدل M5 در مدل‌های چند جزئی در ۴ گروه از مخلوطها ۸۵

عنوان و شماره

صفحه

- شکل ۴-۱۹ مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده توسط روابط
Ghanaei و همکاران (- - -)، Coutinho و همکاران (...) و مدل
۸۶ M1 (-) در سه ترکیب مختلف (O=Mix 2, *=Mix4, □= Mix6)
- شکل (الف-۱) سیکل ترمودینامیکی برای محاسبه فوگاسیته مایع خالص فوق سرد
۹۶

فهرست نشانه های اختصاری

a	پارامتر جذب ($\text{kPa m}^3 \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
A	عناصر مورد استفاده در شبکه
A_{∞}^E	انرژی آزاد هلمهولتز
b	حجم مولکولی ($\text{m}^3 \text{kmol}^{-1}$)
B	عناصر مورد استفاده در شبکه
C	ثابت قانون اختلاط Wong-Sandler
C_p	ظرفیت گرمایی ($\text{kJ kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
CN	تعداد کربن
f	فوغاسیته (kPa)
G_0^E	انرژی آزاد گیبس در فشار صفر (kJ kmol^{-1})
H	آنتالپی (kJ kmol^{-1})
k_{ij}	ضریب برهم کنش دوتایی
MW	وزن مولکولی
N_g	تعداد گروهها
NP	تعداد نقاط
P	فشار (kPa)
R	ثابت جهانی گازها ($8.314 \text{ kPa m}^3 \text{kmol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
T	دما (K)
v	حجم مولی ($\text{m}^3 \text{kmol}^{-1}$)

x	کسر مولی
Z	عدد همگرایی

حروف یونانی

a_i	پارامتر مشخصه هر جزء ($\text{m}^3 \text{kmol}^{-1}$)
a_{ik}	کسری از مولکول که توسط گروه k اشغال شده
g	ضریب اکتیویته
Δ	پارامتر اختلاف
Λ	مشخصه پارامتر انرژی
I	پارامتر بر هم کنش انرژی
Φ	ضریب فوگاسیته

بالا نویس / زیر نویس

even	زوج
F	تبدیل حالت جامد-مایع
i	جزء i
j	جزء j
L	مایع
N	جزء N
o	شرایط استاندارد (101.325 kPa)
odd	فرد
pure	جزء خالص
S	جامد
SAT	شرایط اشباع
\otimes	شرایط اختیاری

۱- مقدمه

واژه واکس به اجزای جامدی گفته می شود که عموماً متشکل از پارافینهای با تعداد کربن بین ۱۵ تا ۶۰ کربن می باشند. این مواد شامل مواد رسوب کننده در نفت خام که شامل جامدات آسفالتین و مواد غیر آلی نیز می شود در منابع مختلف شروع تشکیل رسوب واکس را با نامهای مختلف معرفی کرده اند از آن جمله: Wax Precipitation Temperature ، Wax Appearance Temperature و Cloud Point را می توان نام برد.

مطالعه تعادلات جامد-مایع (SLE) یکی از تکنیکهای اصلی در طراحی و توسعه فرایندهای جداسازی از قبیل: کریستالیزاسیون و تجزیه می باشد. فرایند کریستالیزاسیون در جداسازی مخلوطها از یکدیگر کاربرد بسیار دارد. دانش تعادلات جامد-مایع همینطور برای طراحی خطوط لوله که در آنها تشکیل کریستالها سبب صدمات جبران ناپذیری می شود از اهمیت بسیاری برخوردار است. تشکیل رسوبات نفتی همواره یکی از مشکلات اصلی در زمینه انتقال و توزیع فراورده های نفتی می باشد [1] و هنگامی که نفت در میان خطوط لوله عبور می کند، واکس شروع به رسوب می کند و باعث کاهش ظرفیت خط لوله نفتی می شود. بدست آوردن نقطه شروع رسوب یک ترکیب نفتی به کمک تعادلات SLE و به کمک معادلات ترمودینامیکی انجام می شود و باید در نظر داشت که تعادلات ترمودینامیکی و تعیین دمای رسوب کاربرد فراوانی در صنایع داروئی، آرایشی، نفتی و سایر موارد دارد.

در اثر رسوب واکس در خطوط لوله مشکلات عدیده ای پیش می آید که از آن جمله می توان به: عدم توانایی در پیش بینی دقیق حجم، افزایش میزان جامد در خط لوله و تانک ذخیره، افزایش ویسکوزیته مایع و افزایش هزینه های پمپ کردن نام برد. در نتیجه درک

موضوع رسوب و نیز محاسبه میزان رسوب در خطوط لوله انتقال نفت به عنوان اولین مرحله در کاهش هزینه ای انتقال می باشد. چندین عامل اساسی در میزان رسوبات نفتی تاثیر دارند که عبارتند از: دما، فشار و ترکیب مواد. دما بر روی تعادل جامد-مایع تاثیر دارد، با بالا رفتن فشار نیز میزان تاثیر آن در تعادل افزایش چشمگیری می یابد. ترکیب مواد ورودی نیز تاثیر بسیاری بر روی میزان رسوبات دارد به طوری که تاثیر هیدروکربنهای با تعداد کربن کمتر از ۷ کربن را در رسوبات نفتی ناچیز در نظر می گیرند و نیز تاثیر هیدروکربنهای با تعداد کربن بیشتر از ۲۵ کربن در رسوبات نفتی بسیار مشهود می باشد.

در نتیجه دانستن دمای شروع تشکیل رسوبات نفتی در یک ترکیب خاص برای محاسبه میزان رسوب جامد در آن شرایط ترمودینامیکی مهم می باشد و برای این کار نیاز به مدلی می باشد که به خوبی بتواند تعادل جامد-مایع را پیش بینی کند

به منظور بررسی جامع پدیده رسوب مواد سنگین هیدروکربوری، شناخت مکانیسم های ریزش رسوب امری اجتناب ناپذیر است و نیاز است این پدیده از دیدگاه ترمودینامیکی و کلوئیدی مورد بررسی قرار گیرد. ولی هنوز دیدگاههای تئوریک مساله در مرحله توسعه و تحقیق می باشند. به طور طبیعی مواد سنگین هیدروکربوری در طی سالیان متمادی در یک حالت تعادل حساس قرار دارند که هر گونه تغییر در شرایط ترمودینامیکی باعث بهم خوردن تعادل ترمودینامیکی و کاهش حلالیت برخی از مواد سنگین تشکیل دهنده نفت خام می شود و در نتیجه این مواد ریزش کرده و هسته های اولیه رسوب تشکیل و به دنبال آن پس از تشکیل هسته ها، کریستالیزاسیون واکس و خوشه ای شدن ترکیبات سنگین صورت می گیرد. براساس ماهیت شرایط عملیات بهره برداری، رسوب مواد نفتی در موارد زیر می تواند بوجود آید:

- ۱) تغییر در ترکیب مواد نفت (تزریق امتزاج پذیر گاز)
- ۲) دوفازی شدن نفت زیر فشار نقطه حباب (در مخزن و در چاه تولیدی خطوط انتقال و تأسیسات نفتی)
- ۳) کاهش فشار به نزدیکی نقطه حباب (در سازندهای نفتی، چاههای تولیدی، خطوط انتقال و تأسیسات)

۴) کاهش درجه حرارت (خطوط انتقال نفت خام به خصوص در زیر سطح دریا و تاسیسات تولیدی نفت خام زیر نقطه تشکیل رسوب واکس)

در پدیده رسوب واکس، پارامتر درجه حرارت و کاهش آن زیر نقطه کریستالیزاسیون تاثیر زیادی دارد و در شرایطی مساله ساز می شود به طوریکه حتی در برخی موارد به علت پدیده ژله ای شدن باعث انسداد کامل خطوط انتقال نفت خام می شود.

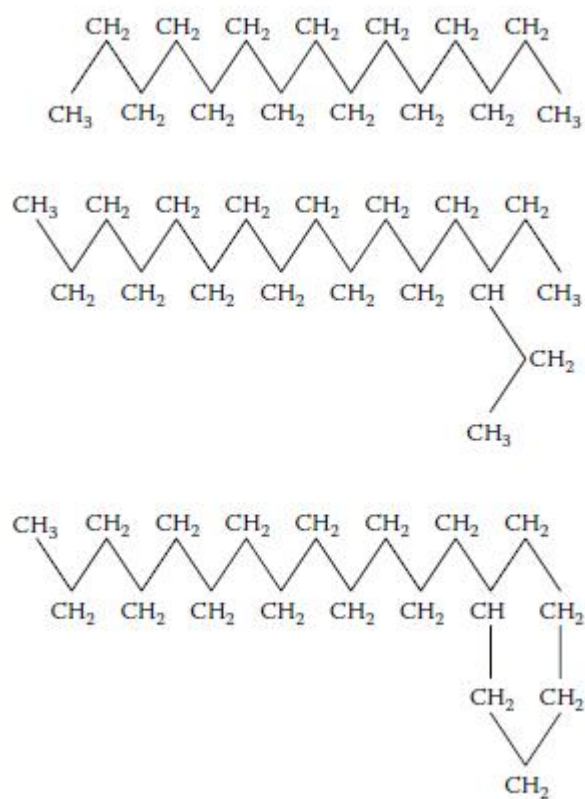
به ترکیب هایی که واکس را تشکیل می دهند می توان از ۲ بعد نظاره کرد از بعد ماکروسکوپی و میکروسکوپی، از بعد ماکروسکوپی واکسها شامل ترکیبات نرمال پارافین می باشند که در کنار یکدیگر ساختارهای کریستالی برای تشکیل واکس ایجاد کرده اند و به این مدل واکسهای پارافینی نیز می گویند. اما در بعد میکروسکوپی واکس شامل پارافین، ایزو پارافین (ترکیبات شاخه دار) و ترکیبات آروماتیکی می باشد که به این مدل میکروسکوپی واکسهای آمورف نیز گفته می شود. باید در نظر داشت که واکسهای میکروسکوپی دارای وزن مولکولی، دانسیته و شاخص بازتابش نور بیشتری نسبت به واکسهای ماکروسکوپی می باشند [2] و واکسهای ماکروسکوپی مشکلات بیشتری در خطوط لوله نفتی و فرایندهای انتقال نفت ایجاد می کنند و اکثر رسوبات تشکیل شده بصورت واکسهای ماکروسکوپی می باشند [3].

با آنکه در رسوبات نفتی ترکیبات غیر خطی، شاخه ای و سیکلیک وجود دارند، اما مهمترین بخش در رسوبات نفتی بصورت واکس را نرمال پارافینها تشکیل می دهند [4-7]. به طور مثال، تغلیظ نفت خام با افزایش میزان نرمال پارافینهای سنگین (بیشتر از C_{24})، سبب افزایش دمای رسوب واکس می شود در حالی که افزایش میزان غلظت ترکیبات شاخه ای و سیکلیک تاثیری در دمای رسوب واکس ندارد مگر اینکه غلظت این ترکیبات در مخلوط بسیار بالا رود [6].

نمونه واکس رسوب کرده در خطوط لوله [5-8] و نیز نمونه های آزمایشگاهی [5] ایجاد شده در هنگام رسوب دارای مقادیر فراوانی نرمال پارافین می باشند. در نتیجه در این پروژه بیشتر بر روی نرمال آلکانها تمرکز شده است و سعی بر آن شده است تا رابطه ترمودینامیکی مناسبی برای رسوب نرمال آلکانها به دست آید.

نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد که میزان رسوب نرمال پارافینها در نفت جام به صورت یک تابع نمایی می باشد و در دماهای پایینتر، در بیشتر موارد چندین ساختار ارتورومبیک^۱ ایجاد می شوند که هر کدام از این فازها دارای رنج وسیعی از پارافینها با تعداد کربنهای متفاوت می باشند [9].

رسوبات نفتی سبب ایجاد مشکلات عملیاتی در واحدها می شود و نیز رسوب واکس سبب تشکیل یک لایه جامد در درون خط لوله می شود که انتقال مواد در درون لوله را با مشکل مواجه می کند. نمونه های مولکولهای تشکیل دهنده واکس در شکل ۱-۱ دیده می شود.



شکل ۱-۱ نمونه های معمولی واکس

¹ orthorhombic