

روش عملی برای جداسازی حداکثر آب همراه نفت تولیدی چاه ها

مصور انبیا، رضا حق شنو و حمید فرجیها / دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران

چکیده

در تمامی مناطق نفت خیز جهان، همراه نفت استخراج شده از چاهها، به طور معمول مقداری آب (آب نمک) وجود دارد درصد آب موجود در این نفتها، از عواملی است که موجب طبقه بندی محصولات شرکت‌های مختلف استخراج کننده می شود اگر قرار است نفت صادراتی با کیفیت مرغوبتری عرضه شود، باید حداکثر جداسازی نفت از آب صورت گیرد تا از لحاظ اقتصادی هم بهره دهی بیشتری داشته باشد به این منظور در تمامی مناطق نفت خیز، واحدهای نمک زدایی نیز احداث شده است این مقاله، به بررسی آب نمک موجود در نفت می پردازد و خساراتی که واحدهای مختلف بهره برداری و حمل و نقل در اثر وجود آب متحمل می شود را توضیح می دهد. همچنین برای جداسازی آب از نفت در اشل‌های صنعتی راههایی را پیشنهاد می کند و در پایان، در ارتباط با دکانتورها و جداکننده های سه فاز توضیحاتی ارائه می دهد.

مقدمه

بهره برداری تدریجی از مخازن نفتی، در نهایت به بالا آمدن سطح مشترک آب و نفت می انجامد و باعث ایجاد اشکالاتی می گردد که عمدتاً افزایش مقدار آب

نمک در نفت را در پی دارد. واحدهای نمک زدایی براساس تکنولوژی جدید و با استفاده از روشهای فیزیکی/ شیمیایی بنا شده اند تا حداکثر استفاده از شرایط فعلی مخازن نفتی صورت گیرد این واحدها، نفت و آب استخراج شده را پس از یک سری عملیات مشخص تفکیک می کنند و پس از آن، نفت تقریباً خالص به خطوط اصلی نفت هدایت می شود و آب پس مانده را معمولاً در چاههای مخصوص تزریق می نمایند

کلیاتی درباره آب نمک موجود در نفت خام

آبی که همراه با نفت از اعماق زمین خارج می شود مقداری از نمکها را به صورت محلول در خود دارد محلول نمک طعام یا کلرید سدیم و نمکهای منیزیم و کلسیم از این جمله به شمار می روند این خروج آب نمک، در اثر برداشت زیاد نفت از یک منبع به تدریج افزایش می یابد، زیرا این امر باعث می شود که حجم گاز و نفت در منبع به تدریج تقلیل یافته و آب شور که در قسمت زیرین قرار دارد بالا بیاید و جای نفت و گاز کم شده را اشغال کند و در نتیجه مقدار آب نمک بیشتری از چاه خارج شود میزان آب نمک را در چاههایی که منبع منحصر به خود را دارند می توان با تقلیل نفت خروجی تحت کنترل قرار داد بعضی مواقع برای کنترل مقدار آب نمک مجبور می شوند چاههایی را که دارای آب نمک زیاد هستند، بسته نگه دارند تا نفت بقیه چاهها را که بعداً با آن مخلوط می شوند به آب نمک آلوده نسازند البته چنانچه بهره برداری از یک

ناحیه نفت خیز به میزان حداکثر باشد ممکن است در افزایش میزان نمکی که از یک یا چند چاه همراه با نفت استخراج می شود اثر قابل ملاحظه ای نداشته باشد مقدار واقعی نمک را در بندر بارگیری نفت در نظر می گیرند.

● مشکل وجود آب نمک در نفت خام همراه بودن آب نمک بیش از حد در نفت خام موجب به وجود آمدن ضایعات و خساراتی به شرح زیر می شود:

الف) آب نمک همراه نفت به علت داشتن نمکهای محلول، حالت خوردندگی CORROSION شدید ایجاد می کند و باعث سوراخ شدن و از بین رفتن دائمی دستگاها و وسایل ارزشمند بهره برداری مانند لوله ها، شیرها، تلمبه ها، مخازن و کشتیهای نفتکش می گردد.

ب) رسوبات و املاحی که بر سطح داخلی دستگاها و وسایل پالایشگاه ها به جا می ماند باعث گرفتگی و ازدیاد افت فشار می شود، لوله ها و دستگاهاهای گرم کننده را مسدود می کند و ضمن بالا رفتن حرارت، فشار و پاره شدن آنها، انفجار و آتش سوزی را به دنبال خواهد داشت.

ج) قسمت‌های داخلی برجهای تقطیر را سوراخ می کند که تعطیل و تعمیر آنها متضمن تحمل مخارج سنگین است، بنابراین بایستی حتی الامکان از ورود آب نمک به پالایشگاه ها جلوگیری شود. د) چنانچه آب نمک از نفت جدا نشود،

قسمتی از حجم مخازن و لوله های نفت را اشغال کرده و در نتیجه از میزان نفت ارسالی کاسته می شود. حمل و نقل آب - که ارزشی ندارد - مخارجی معادل مخارج حمل و نقل نفت خواهد داشت.

● چگونگی جداسازی آب نمک از نفت

معمولاً واحدهای جدا کننده آب نمک را بعد از واحدهای بهره برداری (واحدهای جدا کننده گاز از نفت) قرار می دهند. چنانچه گاز از نفت قبلاً جدا نشود، جداسازی آب نمک مقدور نخواهد بود زیرا گاز باعث به هم خوردن و مخلوط شدن آب و نفت در دستگاههای جدا کننده آب نمک می گردد و ته نشین شدن آب را دشوار می سازد. به همین دلیل مخزن مخصوص جدا کننده گاز قبل از دستگاههای جدا کننده قرار می گیرد. باید توجه داشت که آب نمک به صورت قطرات مجزا به اندازه های مختلف در نفت پراکنده است و به دلیل سنگینی آب نسبت به نفت، قطرات درشت آن در ته مخازن ته نشین می شود.

● عوامل مؤثر در ته نشین شدن آب نمک در نفت خام

- کم بودن غلظت نفت
- درشت بودن قطرات آب در نفت
- تحقیقات نشان داده است که درشت بودن قطرات آب، مؤثرترین عامل در ته نشین شدن آن و در نتیجه پایین آمدن میزان آب نمک همراه نفت است، زیرا به کار بردن مواد شیمیایی و الکتریسیته در به هم پیوستن ذرات آن و تشکیل قطرات درشت کمک می کند. آبی که بدین طریق در ته مخازن جمع می شود، به طور مداوم از لوله زیر مخزن و نفت، از لوله خروجی بالای مخزن، خارج می گردد.

● روشهای نمک زدایی

روشهای نمک زدایی که باعث حداکثر جداسازی آب از نفت می شوند عبارتند از:

به هم پیوستگی ته نشینی، شیمیایی، حرارتی، بهم پیوستگی مکانیکی، الکتریکی و ترکیبی از دو یا چند روش.

● به هم پیوستگی ته نشینی

در این روش برای هر واحد نمک زدایی، از سه مخزن با ظرفیت مساوی استفاده می شود که همیشه یکی از مخازن در حال پر شدن، یکی در حال ته نشین شدن و دیگری در حال تخلیه است. این عمل مرتباً برای هر یک از مخازن تکرار و در اثر توقف جریان در مخازن، مولکولهای آب نمک که به صورت قطرات درشت آب در نفت وجود دارند ته نشین می شوند.

تاتکها	مراحل		
مرحله اول	پر شدن	ته نشین شدن	تخلیه
مرحله دوم	ته نشین شدن	تخلیه	پر شدن
مرحله سوم	تخلیه	پر شدن	ته نشین شدن

● به هم پیوستگی شیمیایی

در این روش به کمک تزریق مواد شیمیایی، سرعت ته نشینی قطرات آب نمک را بالا می برند و چون جدار خارجی قطرات آب نمک به وسیله قشری از نفت احاطه شده است، لذا تزریق مواد شیمیایی جدا کننده که دمولسی فایر نامیده می شود باعث شکستن این دیواره شده و قطرات کوچک، جذب یکدیگر و با تشکیل قطرات بزرگتر، ته نشین می شوند. میزان تزریق این مواد، به نوع نفت یا مقدار آب نمک و درجه حرارت نفت بستگی دارد که بین ۵۰-۱۵۰ ppm متغیر است. چنانچه از این مقدار بیشتر تزریق شود عمل عکس انجام می گیرد. بدین معنی که قطرات کوچک آب نمک را به قطرات کوچکتر تبدیل می کند در نتیجه عمل ته نشین شدن را مشکل می سازد.

● به هم پیوستگی حرارتی

یکی از عوامل مؤثر در جدا شدن آب نمک از نفت یا به عبارتی دیگر، ته نشین شدن قطرات آب نمک، حرارت است. در بعضی از کارخانجات نمک زدایی، نفت را حرارت می دهند. بهترین دما حدود ۱۲۰ درجه فارنهایت برای نفت آسماری و ۱۴۰ درجه فارنهایت برای نفت بنگستان است. از آنجا که حرارت باعث کاهش ویسکوزیته نفت می شود، دیواره خارچی قطرات آب نمک ضعیف شده و باعث جذب قطرات به یکدیگر

می شود. میزان حرارت نبایستی از حد معین تجاوز نماید، زیرا حرارت زیاد باعث جدا شدن هیدروکربن های سبک نفت می شود، در نتیجه چگالی نسبی نفت بالا می رود و نفت سنگین می شود و از نظر اقتصادی نفتی که A.P.I آن پایین باشد ارزش آن کمتر است. به همین دلیل در مناطق نفت خیز جنوب به علت گرمای هوا در فصل تابستان نیازی به گرم کردن نفت خام وجود ندارد. ولی در فصل زمستان به علت پایین بودن درجه حرارت، ضرورت ایجاب می کند که برای جدا کردن بهتر آب نمک، درجه حرارت آن را به حد مطلوب بالا ببرند.

● به هم پیوستگی مکانیکی

به هم پیوستگی مکانیکی به روشهای مختلفی صورت می گیرد که مهمترین آنها عبارتند از:

الف) عمل فیلتر کردن: در این روش نفت را از میان صافیهای مخصوص عبور می دهند.

ب) عمل گریز از مرکز یا سانتریفوژ: در این روش از خاصیت نیروی گریز از مرکز استفاده می شود. ابتدا نفت را در ظروف مخصوصی قرار می دهند و آن را حول محوری می چرخانند و پس از مدتی قطرات آب نمک به همدیگر متصل شده و ته نشین می شوند. با توجه به حجم بالای نفتهایی که استخراج می شود، از این روش در صنعت نفت استفاده نمی شود. روش گریز از مرکز، نیز بیشتر در کارهای آزمایشگاهی کاربرد دارد.

ج) روش ازدیاد سطح: لوله های لاشکل (Pipe Coalescer) و مخزن ائتلاف کننده بر مبنای این اصل کار می کنند.

● به هم پیوستگی الکتریکی

در مواقعی که قطرات آب نمک به سختی از نفت جدا می شوند، از جریان الکتریسیته استفاده می شود. بدین منظور دستگاههای جداکننده ای ساخته شده است که درون قطب مثبت و منفی آن برق با ولتاژ خیلی زیاد حدود ۱۷ هزار الی ۲۱ هزار ولت جریان دارد. یک مولکول آب که در نفت به حالت

پراکنده یافت می شود، شکل کروی دارد ولی تحت تأثیر نیروی الکترواستاتیکی تغییر شکل داده و به صورت بیضی در می آید. در این حالت است که قطرات مجاور به یکدیگر متصل و ته نشین می شوند. ولی اگر قطرات خیلی بزرگ باشند جریان الکتریسیته شدیداً آنها را متلاشی و تبدیل به قطرات کوچک می سازد. پس باید توجه داشت که اولاً فاصله بین قطرات کم باشد و دوماً قطرات بزرگ نباشند. در سیستمهای نمک زدایی به روش الکتریکی معمولاً آب را به نفت ورودی تزریق می کنند تا ذرات نمک در آب حل و فاصله بین قطرات کمتر شود و اندازه قطرات به وضعیت مناسبی برسد.

● ترکیبی از دوروش بالا

برای بالا بردن میزان جداسازی، تلفیقی از دو یا چند روش بالا را توأم با هم می برند. به عنوان مثال روش ته نشینی و الکتریکی را باهم و یا شیمیایی یا مکانیکی را با دیگر روشها مورد استفاده قرار می دهند. هر یک از این روشها را روی وسایل خاصی که دکانتور یا جداکننده های سه فاز نامیده می شوند به کار می برند.

● دکانتور

دکانتور ظرفی است برای جداسازی یک فاز مایع که براساس نیروی جاذبه زمین کار می کند. برای طراحی یک دکانتور باید نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

- محاسبه سرعت ته نشینی قطرات

- انتخاب یک اندازه به عنوان مبنای اولیه برای انجام

محاسبات

- تخمین زمان لازم برای پیوستگی قطرات

- کنترل اندازه دکانتور انتخابی برای حرکت درهم

- ویژگی خوراک و شکل خروجی

● سرعت ته نشینی

معادله اصلی برای ته نشینی در دکانتور ها به صورت زیر است:

نتیجه	θ
فاز سبک همیشه پراکنده است	<0.3
فاز سبک احتمالاً پراکنده است	0.3-0.5
احتمال دگرگونی فاز، طرح برای بهترین حالت	0.5-2.0
فاز سنگین احتمالاً پراکنده است	2.0-3.3
فاز سنگین همیشه پراکنده است	>3.3

(۳)

$$u = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_D - \rho_c)}{18 \mu_c} \quad (۱)$$

چند فرضیه در به دست آمدن این معادله در نظر گرفته شده است. این معادله در مورد عملکرد تعداد زیادی از دکانتورها به قوت خود باقی نخواهد ماند. فرضیه های مذکور عبارتند از:

- فاز پیوسته، فاز ساکن است.

- قطره، کره سختی است بدون هیچ تغییر شکل یا دوران داخلی

- جریان سیال را آرام در نظر گرفته ایم $(N \cdot Re = \frac{\rho_D \cdot U \cdot d}{\mu_c})$

- قطره آن قدر بزرگ است که بتوان از حرکت برونی آن صرف نظر کرد.

- حرکت قطره توسط قطرات دیگر و یا جداره ظروف باز داشته نمی شود.

● طراحی قطر قطره

قطر قطره مورد نظر برای بکارگیری در معادله ۱ حدود $150 \mu m$ پیشنهاد می شود که در طراحی A.P.I مورد استفاده قرار می گیرد، این اندازه کمتر از اندازه هایی است که معمولاً در خوراک دکانتور وجود دارد. —ه عنوان مثال متوسط قطر قطره در ظروف مخلوط کن معمولاً بین ۱۵۰-۵۰۰ است.

شدت جریان سیال

سرعت ته نشینی قطره پراکنده شده بایستی بیشتر از سرعت جریان سیال باشد.

$$\frac{Q_c}{A_L} < U_D \quad (۲)$$

در معادله ۲ بایستی مشخص شود که کدام فاز پیوسته و کدام فاز پراکنده است. Selker و Sleicher روابط خوبی برای

شناسایی فاز پراکنده و 0.3 شکل زیر است:

$$\theta = \left(\frac{Q_L}{Q_H} \right) \left(\frac{\rho_L \mu_H}{\rho_H \mu_L} \right)^{0.3}$$

● گروه پراکنده

Mizrahi و Barnea نشان دادند که، تفاعلهای پراکنده

متناسب است با: $D \propto \left(\frac{Q_c}{A_L} \right)^n$ (۴)

داده های گزارش شده در مورد میزان n نشان می دهد که از ۵/۲ تا ۷ در سیستمهای مختلف تغییر می کند. زمان اقامت فاز

پراکنده برابر است با: $0.5 H_D \cdot \left(\frac{A_L}{Q_D} \right)$ (۵)

در اثر آزمایشهای مناسب خواهیم داشت که ($HD < 10\%$)

ارتفاع دکانتور $\left[0.5 H_D \cdot \left(\frac{A_L}{Q_D} \right) \right] \geq 2 - 5$ دقیقه

نگه داشته می شود.

● شکل هندسی دکانتور

هم جریان سیال و هم قسمتهایی که به هم آمیخته شده اند، به داخل فصل مشترکی که سطح آن در حال افزایش است، وارد می شوند. بیشتر دکانتورها به دلیل اقتصادی، استوانه ای هستند.

یک دکانتور استوانه ای افقی چندین برابر یک استوانه عمودی سطح فصل مشترک دارد.

● تلاطم

در یک دکانتور افقی، فاز پیوسته برای ته نشینی قطرات به طور عمود جریان می یابد. این حرکت، نوعی تلاطم ایجاد می کند که در مراحل ته نشینی دخالت می کند. درجه تلاطم با

متوسط پایین دکانتور باشد. یک راه حل خوب، به کارگیری دو بشقاب (Plate) یا دو ردیف مانع (bar) است. نخستین ردیف مانع، فشار قطره بالایی را می‌گیرد و مستلزم آن است که منطقه جریسان باز بین سه تا ۱۰ درصد سطح مقطع عرضی باشد. ردیف دوم مانع، به منظور شکستن جریان بخار یا گاز از قسمت اول بکار رفته گرفته می‌شود. به علاوه، منطقه Open Flow آن بایستی بین ۲۰ تا ۵۰ درصد منطقه Cross-Sectional دکانتور و فشار بین قسمتها، باید برابر با Opening بین آنها باشد. انرژی جریسان صرف تلاطم حجم بین قسمتها می‌شود.

● خروجی‌ها

با توجه به خروجی‌ها باید از ایجاد سرعت بالا در آنها جلوگیری کرد، چون می‌تواند چرخش (Vortex) ایجاد کند که به سمت بالا می‌رود و قطرات را خارج از قسمت پراکنده می‌مکد. یک خروجی باید تا آنجا که ممکن است مایع شفاف را به طور یکنواخت بکشد به علاوه سرعت در خروجی نباید بیشتر از ۱۰ برابر سرعت پایین دکانتور باشد.

● نتیجه‌گیری

برای بهینه کردن جداسازی نفت از آب در واحدهای نمک زدایی، طرح‌هایی پیشنهاد شده است تا درصد خلوص نفت را زیاد کند و در نتیجه به ارزش اقتصادی نفت صادر شده افزوده شود. این طرحها عبارتند از:

- استفاده از دکانتورها یا جداکننده‌های سه فاز به صورت افقی، تا حداکثر سطح تماس بین دو فاز آب و نفت ایجاد شود.
- استفاده از بافلها و Plate‌های موازی یا Plate‌هایی که مثل رادیاتور اتمبیل هستند، در داخل جداکننده‌ها، تا جریان نفت و آب و گاز از حالت درهم به آرام تبدیل گردد تا با فرضیه‌های معادله استوک (معادله ۱) در مبحث دکانتور، به واقعیت عملی نزدیکتر شود و همچنین سطح مشترک نفت و آب افزایش پیدا کند.

عدد رینولدز توضیح داده می‌شود. عدد رینولدز از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$N . Re = \frac{VD_h \cdot \rho_c}{\mu_c} \quad (7)$$

قطر هیدرولیکی باید برای چهار حالت مختلف سطح جریان مربوط به فاز در بخشهای مختلف توسط پیرومتر جریان کانال اندازه‌گیری شود.

Nre	تأثیر
>5000	مشکل اندک
5000-20000	کمی ممانعت
20000-50000	مشکل عمده‌ای که ممکن است وجود داشته باشد
5000<	جداسازی ضعیفی مورد انتظار است

● تنظیم ورودی

رایج‌ترین محدودیت در ساخت دکانتور، ورود غیر صحیح خوراک است. بهترین طرح این است که ورودی باید:

- به طور یکسان و همگون در قسمت عرضی فعال دکانتور وارد شود.

- به گونه‌ای وارد شود که هیچ جریان بخار یا گاز ته نشین شده‌ای به جا نگذارد و نیز کمترین تلاطمی ایجاد ننماید.

سوخت، همانند جریان گاز یا بخاری که در طول دکانتور شلیک می‌کنند عمل می‌کند. همان گونه که جریان بخار یا گاز منتشر می‌شود، مایع را با خود به دور آن می‌برد و آمیختگی بزرگی در آن ایجاد می‌کند. بنابراین اولین گام در طراحی خوراک، محدود کردن سرعت خوراک است. یک راه عملی محدود کردن هد سرعت، ۲ در سرلوله دکانتور تا

یا 0.002 atm است. گام بعدی

ایجاد چندین تغییر مسیر برای خوراک، هنگام ورود به دکانتور است. این دو گام برای برخی از دکانتورهای غیر بحرانی مفید هستند.

به عنوان گام بعدی در دکانتورهای کوچک لازم است یک پاشنده خوراک نصب شود. پاشنده خوراک دو شرط مغایر دارد. فشار قطره در آن باید چندین برابر بیشتر از فشار قطره در پایین دکانتور باشد تا توزیع و پخش ایجاد شود. به هر حال سرعت حداکثر، فقط بایستی دو تا پنج برابر سرعت

Uc : سرعت فاز پیوسته
 Pd : دانسیته قطره
 Pc : دانسیته فاز پیوسته
 μ : ویسکوزیته فاز پیوسته

● مراجع

- (۱) بالا زاده، پرویز، در قلمرو صنعت نفت بهار ۱۳۷۰
 (۲) خاکزاد، ابوالحسن تکنولوژی پالایش نفت اسفند ۱۳۵۰
 (۳) خسروی فتح آبادی، مرتضی، فراورده هایی از صنعت پتروشیمی، مهرداد (۴)، ۱۳۵۱

Philip A.Schweitzer;"Handbook of Separation Techniques for
 -Chemical Engineers",Decantation , Mc Geaw - Hill p.371
 378,1988

- ورود یک جریان آب شستشو دهنده یا رقیق کننده به جریان خروجی از چاههایی که غلظت آب نمک آنها بالا است تا آب نمک رقیق تر شود و جداسازی یا ته نشینی قطرات آب، بهتر و راحت تر صورت گیرد.

- استفاده توأم از روشهای نمک زدایی (ته نشینی، شیمیایی، الکتریکی، حرارتی، مکانیکی و غیره) در جداکننده ها، بدین ترتیب که همزمان، نشست قطرات آب، مسیر تزریق مواد شیمیایی و همچنین گرمکن های حرارتی برای گرم کردن سیال ورودی به دکانتور و نیز سیستم ائتلاف کننده الکتریکی برای بهینه کردن جداسازی، تعبیه شده و مدنظر قرار گیرد.

- در نهایت، برای آن که میزان آب نمک، در نفتی که در بنادر بارگیری وارد نفتکشها می شود به حداقل برسد، می توان چاههایی را که منابع منحصر به فرد دارند و دارای غلظت بالایی از آب نمک هستند را بست، تا باعث افزایش درصد آب نمک سایر چاهها نگردد.

● علایم اختصاری:

AH : سطح فصل مشترک بین فاز سبک و سنگین در طول دکانتور (ft^2)
 AL : سطح مربوط به برش عرضی فاز سبک (ft^2)
 AH : سطح برش عرضی مربوط به فاز سنگین (ft^2)
 d : قطر قطره
 D : قطر دکانتور
 Dh : قطر هیدرولیک
 g : نیروی جاذبه زمین
 Hd : ارتفاع قسمت پراکنده
 h : فاصله و تر فصل مشترک
 I : عرض فصل مشترک
 L : طول دکانتور
 N.Re : عدد رینولدز
 Q : دبی حجمی
 U : سرعت ته نشینی قطره در قسمت انتهایی

