

کاربرد عدد حلالیت نسبی (RSN) در طراحی فرمولاسیون دمولسیفایرهای نفتی

حسین مهدوی^۱، سعید ایرانپور*

۱- دانشگاه تهران، دانشکده گان علوم، دانشکده شیمی

صنعت نفت و گاز یکی از مهم‌ترین صنایع در جهان است که به دلیل پیچیدگی‌های فرآیند تولید، استخراج و پالایش، نیازمند استفاده از مواد شیمیایی خاص برای بهینه‌سازی عملکرد است. یکی از چالش‌های عمده در این صنعت، جداسازی آب و ناخالصی‌های موجود در نفت خام است که به دلیل تشکیل امولسیون‌های پایدار، فرآیند جداسازی را دشوار می‌کند. دمولسیفایرها به عنوان مواد شیمیایی کلیدی در این فرآیند، نقش مهمی در شکست امولسیون‌ها و تسهیل جداسازی آب از نفت ایفا می‌کنند. طراحی فرمولاسیون اولیه دمولسیفایرها نیازمند شناخت دقیق خواص شیمیایی و فیزیکی این مواد است. یکی از پارامترهای مهم در این زمینه، عدد حلالیت نسبی (Relative Solubility Number) RSN است که به عنوان یک معیار کلیدی در انتخاب و طراحی دمولسیفایرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار RSN نشان می‌دهد که دمولسیفایر تا چه حد به فاز نفت یا آب تمایل دارد که این موضوع بر توانایی آن در نفوذ به لایه‌های امولسیون و شکستن امولسیون آب در نفت (W/O) تأثیر گذار است. بر اساس مطالعات مختلف: دمولسیفایر با RSN بالا معمولاً نسبت به فاز آبی علاقه مندر است و این افزایش آبدوستی می‌تواند بر چسبندگی و توانایی نفوذ به فیلم میانی امولسیون تأثیر بگذارد. علاوه بر RSN، فاکتورهای دیگری مانند وزن مولکولی، ساختار آروماتیکی و فعالیت سطحی نیز در بهبود عملکرد دمولسیفایرها مؤثر است. به طور خلاصه، RSN معیاری کلیدی برای تعیین همسازی (سولوبیلیتی) دمولسیفایر با نفت و آب است که به عملکرد بهتر جداسازی امولسیون آب در نفت کمک می‌کند. انتخاب RSN مناسب باعث می‌شود دمولسیفایر به خوبی در مرزهای امولسیون نفوذ کرده و فیلمهای آسفالتی را شکسته و امولسیون را بهتر جدا کند. طراحی فرمولاسیون دمولسیفایر بر اساس عدد حلالیت نسبی (RSN) به این صورت است که ابتدا باید RSN مناسب با ویژگیهای نفت خام و نوع امولسیون تعیین شود. اصول کلی طراحی بر این اساس است که در ابتدا مقدار RSN هدف را با توجه به خصوصیات نفت خام (میزان آسفالتن، رزین، موم و نوع امولسیون) انتخاب می‌کنند. ترکیب شیمیایی دمولسیفایر بر اساس RSN باید به گونه‌ای باشد که فیلم محافظ امولسیون (آسفالتن و رزین) را شکسته و انعقاد قطرات آب را تسهیل کند. علاوه بر RSN، عوامل دیگری مثل وزن مولکولی، ساختار آروماتیکی و فعالیت سطحی نیز در فرمولاسیون لحاظ می‌شوند تا عملکرد دمولسیفایر را بهینه کنند. در فرمولاسیون مواد تعلیق شکن، نسبت ترکیبات و میزان افزودنیها طوری تنظیم می‌شود که دمولسیفایر تعادل انحلال پذیری مناسبی برای نفوذ و شکستن امولسیون داشته باشد. معمولاً برای تعیین RSN نهایی و بهینه، آزمون‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های ترکیب شده انجام می‌شود تا بهترین عملکرد در شرایط واقعی تأیید شود. در واقع فرایند طراحی فرمولاسیون دمولسیفایر مبتنی بر RSN، بر اساس یک نقطه تعادل حلالیت است که بیشترین اثرگذاری در شکستن امولسیون و جداسازی آب از نفت خام را دارد. این طراحی نیازمند آزمایش و تنظیم دقیق نسبت اجزای فرمولاسیون برای رسیدن به RSN هدف است. به طور خلاصه، برای تشخیص اینکه فرمولاسیون تعلیق شکن با مقدار RSN مشخص شده مناسب نفت مورد نظر هست یا خیر، لازم است به نکات زیر توجه شود:

۱) بررسی خصوصیات نفت خام: از روی مشخصات فیزیکی و شیمیایی نفت مانند چگالی (API Gravity)، ویسکوزیته، درصد آسفالتن و رزین، و ترکیبات نفت، نوع نفت (سبک، متوسط یا سنگین) مشخص می‌شود. این خصوصیات روی رفتار امولسیون آب در نفت تأثیر گذار است و RSN باید متناسب با آن انتخاب شود. ۲) مقایسه RSN مدل شده یا محاسبه شده با RSN ایده آل: برای هر نوع نفت، یک بازه ایده آل از RSN وجود دارد که بیشترین کارایی را در شکستن امولسیون دارد. اگر RSN ماده تعلیق شکن در این بازه باشد، احتمال مناسب بودن

فرمولاسیون زیاد است (۳). انجام آزمایشهای کارایی (مانند تست بطری): بعد از انتخاب اولیه فرمولاسیون با RSN مناسب، در آزمایشگاه با نمونه نفت خام واقعی، تستهای امولسیونزدایی انجام میشود تا اثربخشی تعلیق شکن تایید شود (۴). مطالعه نتایج میدانی یا تجربی: اگر فرمولاسیون مشابهی با RSN نزدیک قبلاً روی نفت مشابه امتحان شده و موفق بوده است، میتوان به مناسب بودن آن اطمینان داد (۵). تنظیم و اصلاح RSN: در صورت عدم تطابق کامل، میتوان با تغییر نسبت و نوع مواد فعال سطحی و افزودنی های مناسب در فرمولاسیون، RSN را تعدیل کرد تا به بازه عملکرد مطلوب نزدیکتر شود. مکمل های شیمیایی در تنظیم عدد حلالیت نسبی (RSN) دمولسیفایرهای نفتی نقش کمک کننده و تعدیل کننده دارند. این مکمل ها معمولاً افزودنیها یا ترکیباتی هستند که میتوانند خواص فیزیکوشیمیایی دمولسیفایر را تغییر داده و بر حلالیت آن در فاز نفت یا آب تأثیر بگذارند. به طور خلاصه، مکمل های شیمیایی بخشی از فرمولاسیون دمولسیفایر هستند که با تنظیم دقیق ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی دمولسیفایر، عدد RSN را به سمت مقدار بهینه هدایت کرده و عملکرد شکستن امولسیونهای نفتی را بهبود میدهند. در این مقاله به بررسی کاربرد عدد انحلال پذیری نسبی در طراحی اولیه فرمولاسیون مواد تعلیق شکن نفتی می پردازیم.

بخش تجربی

برای محاسبه عدد حلالیت نسبی، از روش های تجربی و تئوری استفاده می شود. یکی از روش های رایج، آزمایش حلالیت ماده در مخلوط های مختلف شامل آب، نفت خام و حلال های آلی است. همچنین، مدل های ریاضی مبتنی بر ویژگی های مولکولی ماده نیز می توانند برای پیش بینی RSN مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق عدد حلالیت نسبی چند دمولسیفایر برپایه پلی اورتان از طریق روش آزمایش انحلال پذیری بدست آمد. بر این اساس ۱ گرم نمونه دمولسیفایر در ۳۰ گرم مخلوط حلال تولوئن/ دی اکسان با نسبت ۴ به ۹۶ اضافه و سپس با آب مقطر دیونیزه تیترا تا مخلوط کدر شد. پس از تعیین مشخصات نفت خام حوزه نفتی بهرگان، بررسی عملکرد دمولسیفایرهای مورد نظر از لحاظ جداسازی آب بر روی این نفت انجام شد.

یافته ها

جدول (۱) - مشخصات نفت خام حوزه بهرگان

ردیف	پارامتر	مقدار	روش
۱	ترکیبات اشباع (Saturates)	۳۶/۴۹	IP 143/84
۲	آسفالتن (Asphalteneh)	۱۲/۴۷	IP 143/84
۳	رزین (Resin)	۸/۱۲	IP 143/84
۴	آروماتیک (Aromatic)	۱۴/۸۹	IP 143/84
۵	مواد فرار (Volatile)	۲۸	ASTM- D6560
۶	چگالی API	۲۷	ASTM D 6822

جدول (۲) - عدد انحلال پذیری نسبی (RSN) سری دمولسیفایرهای برپایه پلی اورتان

ردیف	دمولسیفایر	عدد حلالیت نسبی RSN	جداسازی آب
۱	D-200	۲۱	۰/۴
۲	D-400	۲۰/۶	۰/۴۵

۰/۲۵	۲۰	D-600	۳
۰/۵	۱۴	D-1500	۴
۱/۲	۹/۳	D-15000	۵
۰/۵	۷	D-20000	۶
۰/۷	۱۱	نمونه مرجع	۷

با انجام تست های آزمایشگاهی دمولسیفایر های جدول (۲) بر روی نفت خام حوزه نفتی بهرگان نمونه ۵ عملکرد مناسب تری نسبت به دمولسیفایر های دیگر در جداسازی آب از خود نشان داد. بررسی اولیه جداسازی آب بر اساس عدد حلالیت نسبی نشان میدهد دمولسیفایر های ردیف ۴ و ۶ که عدد حلالیت نزدیک به نمونه برتر (نمونه ردیف ۵) دارند، نسبت به سایر نمونه جداسازی آب بهتری داشته اند. بررسی مقایسه ای با نمونه مصرفی در حوزه بهرگان نیز ارتباط بین عدد حلالیت نسبی در عملکرد جداسازی آب را نشان میدهد.

نتیجه گیری

عدد حلالیت نسبی (RSN) معیاری است برای تعیین تعادل بین آبدوستی و نفت دوستی مولکولهای دمولسیفایر یا تعلیق شکن. این تعادل تعیین میکند که دمولسیفایر چگونه در فاز نفت حل شده و به سطح مشترک نفت و آب رسیده و فیلم امولسیون اطراف قطرات آب را شکسته و باعث جداسازی آب شود. با مشخص شدن RSN میتوان فهمید ترکیب فرمولاسیون به چه میزان به نفت یا آب تمایل دارد و بر اساس نوع نفت خام (سبک یا سنگین، میزان آسفالتن، رزین و ...)، RSN مناسب را تعیین کرد تا بهترین اثربخشی شکل گیرد. با توجه به ماهیت قطبی بودن آسفالتین و رزین و غیر قطبی بودن ترکیبات آروماتیک و مواد فرار در نفت خام می توان انتخاب اولیه دمولسیفایر بر اساس عدد حلالیت نسبی را انجام داد. بر این اساس برای نفت با پلاریته بالا دمولسیفایر با RSN کمتر، و برعکس برای نفت با قطبیت پائین دمولسیفایر با RSN بالا مناسب است. نتایج این تحقیق نشان میدهد، تعیین RSN یک قدم مهم، علمی و کاربردی برای شروع طراحی فرمولاسیون دمولسیفایر است که در مرحله آزمایش های میدانی و اصلاح های بعدی بسیار مؤثر است. در نتیجه، با تعیین RSN میتوان مناسب بودن فرمولاسیون اولیه دمولسیفایر را پیش بینی نمود. بدیهی است مناسب بودن فرمولاسیون بر اساس RSN از طریق تطبیق RSN پیشنهادی با مشخصات فیزیکی و شیمیایی نفت خام و تایید کارایی آزمایشگاهی تعیین میشود؛ RSN به تنهایی کافی نیست و باید در کنار داده های عملی و شبیه سازی ها استفاده شود. استفاده از افزودنی های مناسب جهت بهبود عملکرد دمولسیفایر از لحاظ نمکزدایی، استفاده از ترکیبات نانو، حلال های یونی، با در نظر گرفتن ملاحظات فنی و اقتصادی میتواند زمینه ساز تحقیقات آینده باشد.

واژه های کلیدی: مواد تعلیق شکن، دمولسیفایر، عدد حلالیت نسبی، فرمولاسیون، نفت خام، RSN.

منابع

- [۱] مهدوی، حسین؛ ایرانپور، سعید؛ بررسی اثر حلال در جداسازی آب از نفت خام سبک و سنگین، هفتمین کنفرانس شیمی کاربردی انجمن شیمی ایران، ۱۱-۱۰ شهریور، (۱۴۰۳).
- [2] ASTM, "ASTM D1298 - 12b, Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method," *ASTM International Standards*, (2017).
- [3] "BS 2000-143, IP 143:2004, Methods of test for petroleum and its products—determination of asphaltenes (heptane insoluble) in crude petroleum and petroleum products," *British Standards*, (2005).