

بررسی آزمایشگاهی عملکرد فوم در فرازآوری مایعات تولیدی از چاه‌های گازی

شعله خاقانی جوفنانی^{*}، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ■ محمد سیم جو، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۲/۱۰

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۲۱

واژگان کلیدی:

چاه‌های گازی، کاهش تولید، تجمع مایعات، فرازآوری، فوم

چکیده

یکی از مشکلات متداول در چاه‌های گازی، انباشته شدن مایعات تولیدی همراه گاز در ته چاه می‌باشد. این پدیده که تجمع مایعات نام دارد باعث افزایش فشار ته‌چاهی شده که در نهایت سبب کاهش نرخ تولید گاز از چاه می‌گردد. یکی از روش‌های قابل استفاده جهت جلوگیری از تجمع مایعات در چاه‌های گازی، فرازآوری مایعات تولیدی با استفاده از فوم است. در این روش، فوم می‌تواند از طریق تزریق یک سورفکتانت فوم‌ساز به درون چاه تشکیل شود. در این مقاله عملکرد فوم جهت فرازآوری مایعات تولیدی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر پارامترهای مهمی از قبیل میزان دبی گاز، درصد شوری آب، غلظت سورفکتانت و نیز حضور هیدروکربن بر روی عملکرد فوم برای فرازآوری مایعات مطالعه شد. نتایج نشان داد که با تشکیل یک فوم پایدار می‌توان فرازآوری مایعات را تا ۹۸ درصد افزایش داد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش دبی گاز و غلظت سورفکتانت تاثیر مثبتی در افزایش فرازآوری دارند، اما حضور نمک و هیدروکربن باعث کاهش کارایی فوم در فرازآوری مایعات می‌شود. همچنین از طریق آنالیز نتایج حاصل شده مقادیر بهینه دبی گاز و غلظت سورفکتانت به دست آمد.

مقدمه

حباب‌های گاز که توسط لایه نازکی از مایع جدا شده‌اند، به دست می‌آید. برای تشکیل فوم در چاه‌های گازی می‌توان یک سورفکتانت مناسب را به ته چاه تزریق نمود [۵]. مکانیسم اصلی عملکرد فوم در فرازآوری، کاهش سرعت بحرانی مورد نیاز جهت انتقال مایعات از ته چاه می‌باشد. بدین ترتیب فشار هیدروستاتیکی اعمالی بر سازند در حضور فوم کاهش یافته و نرخ جریان گاز تولیدی افزایش می‌یابد. عوامل مختلفی بر روی عملکرد فوم در فرازآوری مایعات از چاه‌های گازی تاثیرگذار هستند. در این مقاله اثر دبی گاز، غلظت سورفکتانت، میزان شوری مایعات تجمع یافته و حضور هیدروکربن مورد بررسی قرار گرفت. علت انتخاب این عوامل، تاثیر مستقیم آنها بر روی پایداری فوم و نیز بر روی مقدار سرعت بحرانی جهت انتقال مایعات تولیدی است.

۱- روش انجام آزمایش

در این مقاله به منظور شبیه‌سازی عملیات فرازآوری مایعات از چاه، از یک استوانه شیشه‌ای با طول ۱۰۰ سانتی‌متر و قطر ۲/۳ سانتی‌متر به عنوان سستون چاه استفاده شد. جهت پخش کردن یکنواخت گاز در فاز مایع، یک استوانه متخلخل در انتهای سستون شیشه‌ای تعبیه گردید. در هر آزمایش ۱۵۰ میلی‌لیتر محلول سورفکتانت که به عنوان مایع تجمع یافته در نظر گرفته شده بود، در انتهای سستون شیشه‌ای ریخته شد. جهت تولید فوم از گاز نیتروژن و سورفکتانت سدیم

فوم کاربردهای گسترده‌ای در مراحل مختلف تولید نفت و گاز دارد که یکی از آنها فرازآوری مایعات از چاه‌های گازی می‌باشد [۱]. با توسعه مخازن گازی و توجه روزافزون به برداشت از این مخازن، پرداختن به مسائل پیش‌روی تولید گاز امری ضروری است. به‌طور طبیعی همراه گاز تولیدی از مخزن، مایعاتی از قبیل آب و یا میعانات گازی تولید می‌شود. با افت فشار مخزن، توانایی جریان گاز تولیدی در حمل این مایعات به سطح کاسته می‌شود و مایعات در ته چاه تجمع می‌یابند [۲]. با گذشت زمان، سستون مایع تجمع یافته ارتفاع بیشتری پیدا کرده و می‌تواند با ایجاد یک فشار هیدروستاتیکی معکوس، جریان گاز از سازند به درون چاه را کاهش دهد. بدین ترتیب تولید گاز کاهش یافته و حتی در برخی موارد جریان گاز به‌طور کامل متوقف می‌شود. برای رفع این مشکل، روش‌های مکانیکی و شیمیایی مختلفی در چاه‌های گازی پیشنهاد شده است [۱]. از روش‌های فیزیکی به کار گرفته شده می‌توان به استفاده از پمپ‌های درون چاهی، فرازآوری با گاز و نیز فرازآوری با پلانجر اشاره کرد. به دلیل هزینه بالا و عملکرد موقتی روش‌های فیزیکی، استفاده از روش شیمیایی فرازآوری بوسیله فوم مورد توجه قرار گرفته است [۳]. فوم به‌طور کلی به عنوان مخلوطی از حباب‌های گاز در یک فاز مایع که شامل سورفکتانت است، تعریف می‌شود [۴]. در ساختار فوم، انرژی سطحی به دلیل جذب مولکول‌های سورفکتانت در سطح مشترک فازهای مایع- گاز کاهش یافته و یک سیستم پایدار شامل

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (Khaghani.shole@yahoo.com)

توسط فوم که در طول این زمان میزان فرازآوری به صورت خطی افزایش می‌یابد و ۳) کاهش تدریجی میزان فرازآوری مایع که در طول این زمان میزان فرازآوری نهایی به یک مقدار ثابت میل می‌کند. در بخش سوم به دلیل کاهش حجم مایع تجمعی در ستون، مقدار مایع فرازآوری شده نیز کاهش یافته است.

شکل ۲- میزان فرازآوری نهایی مایع و زمان تثبیت را برای دبی‌های مختلف گاز نشان می‌دهد. منظور از زمان تثبیت، لحظه‌ای است که فرازآوری مایع به مقدار ثابتی میل می‌کند و عملاً دیگر رفتار خطی صعودی با زمان ندارد. با مقایسه نتایج شکل ۲- می‌توان دریافت که با افزایش دبی گاز از ۲/۴ تا ۸ لیتر بر ساعت، مقدار فرازآوری نهایی مایع از ۹۱ به ۹۸ درصد افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که نرخ تخلیه مایع با افزایش دبی گاز بیشتر شده است. همچنین زمان تثبیت نیز به طور چشمگیری از ۵۹۰۰ به ۱۰۵۰ ثانیه کاهش یافت. در دبی‌های بالاتر از ۸ لیتر بر دقیقه تفاوت ناچیزی در میزان فرازآوری و زمان تثبیت نمودارها دیده می‌شود. بدین ترتیب در دامنه دبی‌های استفاده شده، دبی ۸ لیتر بر ساعت به عنوان دبی بهینه انتخاب شد که در آن، بیشینه مقدار فرازآوری مایع در کوتاه‌ترین زمان تثبیت حاصل گردید.

۲-۲- تأثیر غلظت سورفکتانت بر فرازآوری

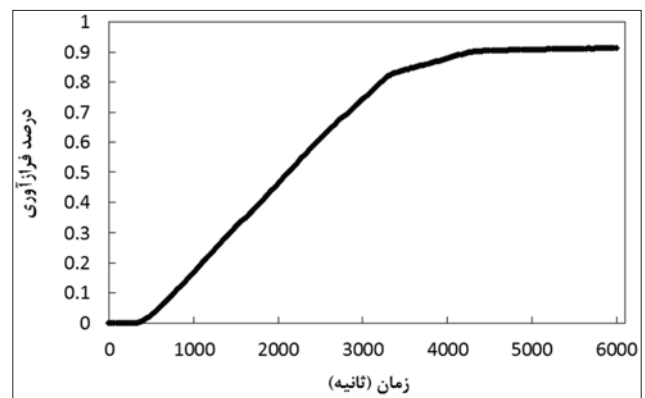
برای بررسی تأثیر غلظت سورفکتانت بر فرازآوری مایع، شش غلظت مختلف شامل ۰/۰۵۹، ۰/۶۸۸، ۳/۸۰۲، ۶/۹۱۶، ۲۰/۷۵۰، ۳۴/۵۸۴ میلی‌مولار استفاده شد. غلظت مایسلی بحرانی سورفکتانت استفاده شده در حضور آب مقطر ۶/۹۱۶ میلی‌مولار بود. در این آزمایش‌ها دبی گاز ۸ لیتر بر ساعت در نظر گرفته شد. شکل ۲- میزان فرازآوری نهایی مایع و زمان تثبیت را برای غلظت‌های مختلف سورفکتانت نشان می‌دهد. با افزایش غلظت

دودسیل سولفات (SDS) استفاده گردید. جهت بررسی شوری آب نیز نمک کلرید سدیم به کار گرفته شد. به منظور بررسی تأثیر میزان هیدروکربن از میعانات هیدروکربنی استفاده گردید. فرازآوری مایع توسط فوم از طریق اندازه‌گیری حجم مایع تخلیه شده در طول زمان مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایش‌ها در دمای محیط و فشار اتمسفری انجام شد.

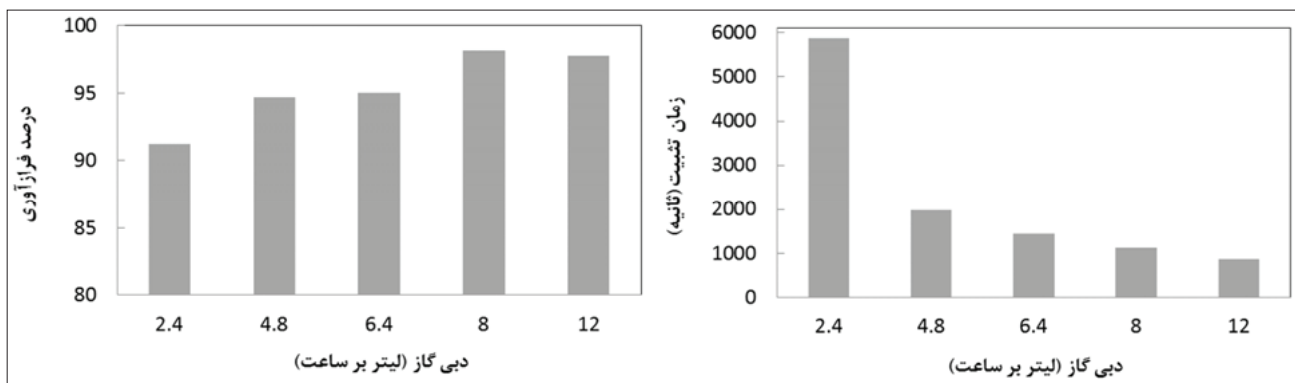
۲- نتایج و بحث

۲-۱- تأثیر دبی گاز بر فرازآوری

در این آزمایش‌ها محلول سورفکتانت استفاده شده دارای غلظت ۳۵ میلی‌مولار (پنج برابر غلظت مایسلی بحرانی) بود که با آب مقطر تهیه شد. شکل ۱- میزان فرازآوری مایع توسط فوم در طول زمان را برای دبی ۲/۴ لیتر بر ساعت نشان می‌دهد. محور عمودی بیانگر نسبت حجم مایع خارج شده از ستون به حجم اولیه مایع است. این نمودار شامل سه بخش است: ۱) تشکیل فوم در ستون شیشه‌ای که در طول این زمان هیچ مایعی از سیستم خارج نشده و در نتیجه، میزان فرازآوری مایع صفر است، ۲) خروج مایع از ستون شیشه‌ای



شکل ۱ | نمودار فرازآوری مایع توسط فوم در طول زمان در دبی گاز ۲/۴ لیتر بر ساعت

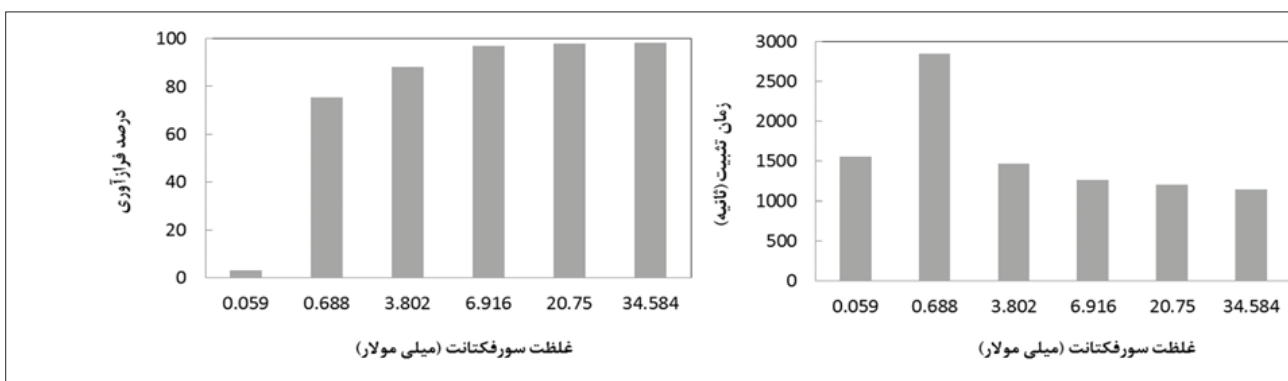


شکل ۲ | نمودار فرازآوری نهایی مایع و زمان تثبیت بر حسب دبی گاز

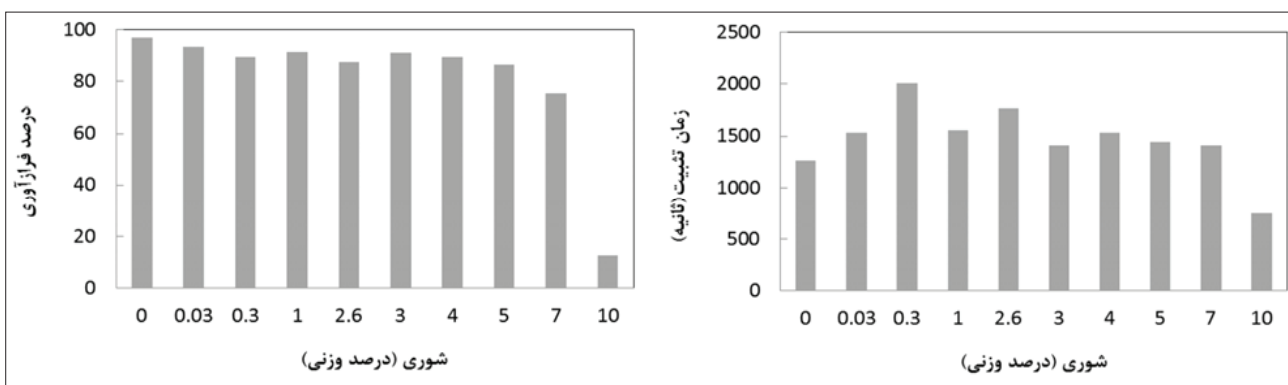
۳-۲- تأثیر مقدار شوری بر فراز آوری

برای بررسی تأثیر شوری بر فراز آوری مایع، شش غلظت مختلف از نمک کلرید سدیم شامل ۰/۳، ۰/۳، ۱، ۲/۶، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۰ درصد وزنی استفاده شد. دبی گاز و غلظت سورفکتانت استفاده شده به ترتیب ۸ لیتر بر ساعت و ۶/۹۱۶ میلی‌مولار بود. شکل-۴ میزان فراز آوری نهایی مایع و زمان تثبیت را برای غلظت‌های مختلف نمک نشان می‌دهد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی حضور نمک در محلول باعث کاهش میزان فراز آوری نهایی مایع می‌شود. البته قابل ذکر است که غلظت‌های پایین نمک تأثیر قابل توجهی در کاهش فراز آوری مایع توسط فوم ندارند به‌طوری‌که میزان فراز آوری در غلظت ۱ درصد نمک در حدود ۹۱ درصد بود (میزان فراز آوری در حضور آب مقطر در شرایط مشابه ۹۸ درصد بود). اما با افزایش غلظت نمک به ۱۰ درصد، فراز آوری مایع به‌شدت کاهش یافت به‌طوری‌که مقدار نهایی آن به ۱۳ درصد رسید. علت این کاهش چشمگیر را می‌توان به ناپایدار شدن ساختار فوم در غلظت‌های بالای نمک ارتباط داد. در واقع به‌دلیل انحلال نمک در آب، یون‌های مثبت سدیم آزاد می‌شوند که می‌توانند با پوشاندن بارهای منفی موجود در ساختار سورفکتانت سدیم دودسیل سولفات میزان نیروهای

سورفکتانت از ۰/۰۵۹ تا ۶/۹۱۶ میلی‌مولار، میزان فراز آوری نهایی به‌طور چشمگیری از ۳/۲ به ۹۷ درصد افزایش یافته است. مقدار بسیار پایین فراز آوری مایع در غلظت ۰/۰۵۹ میلی‌مولار که تقریباً معادل ۰/۰۱ غلظت مایسلی بحرانی است، به این دلیل است که فوم تشکیل شده بسیار ناپایدار بوده و عملاً توانایی انتقال مایع در ساختار خود را نداشت. به‌همین دلیل پس از ۱۵۰۰ ثانیه عملاً به مقدار نهایی فراز آوری خود رسید. با افزایش غلظت سورفکتانت به ۰/۶۸۸ میلی‌مولار، فوم تشکیل شده پایداری بهتری داشت و زمان تثبیت آن ۲۸۵۰ ثانیه به‌دست آمد. در ادامه با افزایش غلظت سورفکتانت به ۶/۹۱۶ میلی‌مولار زمان تثبیت به ۱۲۶۰ ثانیه کاهش یافت. نتایج شکل-۲ همچنین نشان می‌دهد با افزایش بیشتر غلظت سورفکتانت به ۳۴/۵۸۴ میلی‌مولار تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در میزان فراز آوری نهایی و زمان تثبیت دیده نمی‌شود. بدین ترتیب با مقایسه نتایج می‌توان دریافت که تأثیر قابل‌ملاحظه غلظت سورفکتانت بر فراز آوری مایع تا مقدار ۶/۹۱۶ میلی‌مولار که معادل غلظت مایسلی بحرانی است، رخ می‌دهد. بنابراین این غلظت به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.



شکل ۳ | نمودار فراز آوری نهایی مایع و زمان تثبیت برحسب غلظت سورفکتانت



شکل ۴ | نمودار فراز آوری نهایی مایع و زمان تثبیت برحسب شوری

انتهای چاه‌های گازی تجمع می‌یابند، بررسی شد. بدین منظور از یک ستون شیشه‌ای که انتهای آن مجهز به یک سیستم پخش‌کننده گاز بود، جهت شبیه‌سازی ستون چاه استفاده شد. فوم از طریق پخش کردن گاز نیتروژن در محلول سورفکتانت سدیم دودسیل سولفات به دست آمد. تأثیر دبی گاز، غلظت سورفکتانت و نیز درصد شوری آب بروی عملکرد فوم در فرازآوری بررسی شد. نتایج نشان داد که فوم توانایی بالایی جهت فرازآوری مایعات تجمع یافته دارد به طوری که در مورد یک فوم با پایداری بالا می‌توان فرازآوری مایعات را تا حدود ۹۸ درصد افزایش داد. نتایج نشان داد که افزایش دبی گاز باعث افزایش میزان فرازآوری مایع در مدت زمان کمتری می‌شود. همچنین افزایش غلظت سورفکتانت تا غلظت مایسلی بحرانی آن باعث افزایش میزان فرازآوری مایع شد اما در غلظت‌های بالاتر تأثیر قابل توجهی در افزایش فرازآوری مشاهده نگردید. شوری آب نیز به طور کلی باعث کاهش عملکرد فوم در فرازآوری شد به طوری که در شرایط آزمایش، افزایش شوری آب به ۱۰ درصد وزنی کلرید سدیم، کاهش فرازآوری تا ۱۳ درصد را در پی داشت. همچنین حضور هیدروکربن باعث ناپایداری بافت فوم و در نهایت از بین رفتن آن می‌شود که با افزایش میزان هیدروکربن این اثر تشدید گردید. ■

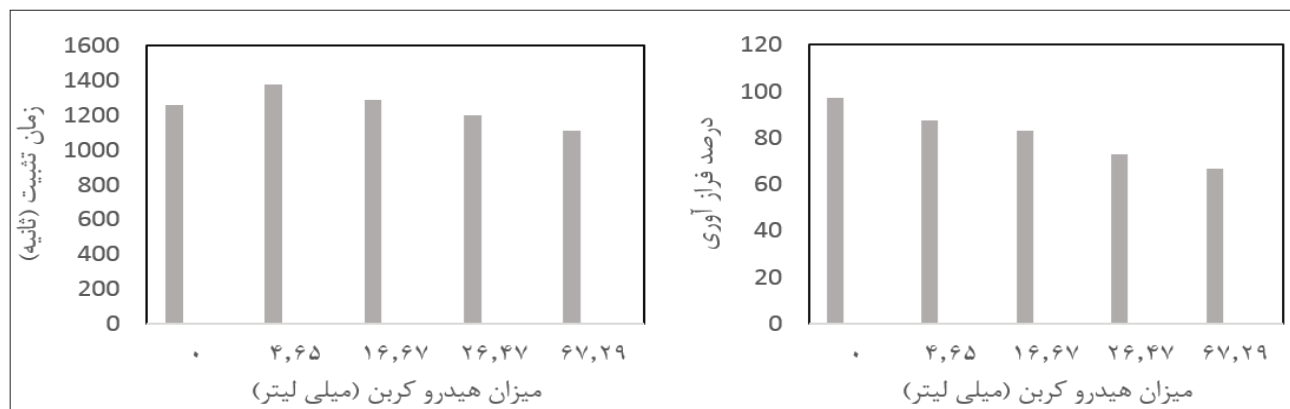
دفاعه در فیلم مایع فوم را کاهش دهند. بدین ترتیب با نازک‌تر شدن ضخامت فیلم مایع فوم، احتمال ناپایدارتر شدن ساختار فوم افزایش می‌یابد و در نتیجه، فوم قادر به انتقال مقدار بیشتر مایع نخواهد بود.

۴-۲- تأثیر میزان هیدروکربن بر فرازآوری

برای بررسی تأثیر میزان هیدروکربن بر فرازآوری مایع، چهار درصد حجمی مختلف از میعانات هیدروکربنی شامل ۳، ۱۰، ۱۵ و ۳۰ مورد استفاده قرار گرفت. دبی گاز و غلظت سورفکتانت استفاده شده به ترتیب ۸ لیتر بر ساعت و ۶/۹۱۶ میلی‌مولار بود. شکل ۵- میزان فرازآوری نهایی مایع را برای درصد حجمی مختلف میعانات هیدروکربنی نشان می‌دهد. تغییر رنگ فوم با عبور از درون ستون هیدروکربنی بیانگر این مطلب است که فیلم‌های مایع در ساختار فوم علاوه بر محلول شامل هیدروکربن نیز می‌باشد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که به طور کلی با افزایش درصد حجمی هیدروکربن میزان نهایی فرازآوری مایع کاهش می‌یابد که بیانگر اثر تخریبی هیدروکربن تست شده بر تولید و عملکرد فوم می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله قابلیت فوم جهت فرازآوری مایعات تولیدی که در



شکل ۵ | نمودار فرازآوری نهایی مایع و زمان تثبیت بر حسب میزان هیدروکربن

منابع

- [1] James, F. Lea, Henry, V. Nickens, Mike, R. Wells, Gas Well Deliquification, Gulf Drilling Guides, 2008.
 [2] Li, Min, Sun Lei, and Shilun Li., New view on continuous-removal liquids from gas wells, SPE Permian Basin Oil and Gas Recovery Conference., 2001.
 [3] Jiang, Y., Vladimir, J., Sunder, R.: "Foam for Gas Well Deliquification", Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 309, 1772007, 1814-

- [4] Simjoo, M., Rezaei, T., Andrianov, A., & Zitha, P. L. J. Foam stability in the presence of oil: Effect of surfactant concentration and oil type, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 438, 1482013, 158-
 [5] Siddiqui, S., and Yang, J., Successful Application of Foam for Lifting Liquids from Low-Pressure Gas Wells, SPE mid-continent operations symposium, 1999.