



## خصوصیات رئولوژیکی و سینتیکی

سیستم‌های تشکیل ژل در

**EOR**

### چکیده

در این نوشتار خصوصیات رئولوژیکی و ژل‌ها در سیستم فاز آبی - پلیمر از نظر نقطه انحلال بحرانی پایین (LCDP) مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین تاثیر الکترولیت‌ها و غیر الکترولیت‌ها در دما و مدت زمان ژل شدن در محلول‌های آبی سلولز اتر، به طور تجربی آزمایش شده‌اند. در این بررسی‌ها مشخص شد که آنیون‌ها به طور چشمگیر بر درجه حرارت و دمای ژل شدن موثرند، در حالی که کاتیون‌ها اثر کمتری از خود به جامی گذارند. با استفاده از مواد افزودنی متفاوت، می‌توان درجه حرارت و مدت زمان لازم برای ژل شدن در سیستم‌های پلیمر، با قابلیت برگشت پذیری گرمایی (Thermoreversible) را تنظیم کرد که البته باید شرایط تشکیل زمین شناختی - فیزیکی را نیز در میدان‌های نفتی در نظر گرفت. سیستم‌های METCA تشکیل ژل به منظور ازدیاد برداشت از ساختارهای بسیار ناهمگن، توسعه یافته‌اند. اطلاعات موجود در این مقاله نتایج استفاده تجاری از فن آوری سیستم‌های تشکیل ژل، در میدان نفتی غرب سیبری است.

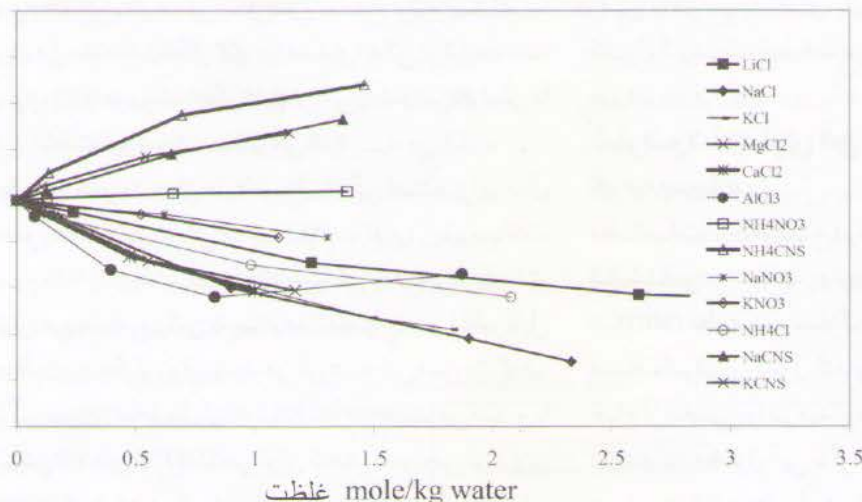
### مقدمه

مشکل اساسی بازیافت اندک نفت خام در میدان‌های نفتی، از طریق آب روبری در سطوح کوچک و بزرگ، با توجه به میزان ناهمگونی و تفاوت ساختارهای زمین شناختی بهبود یافته و کنترل شیمیایی - فیزیکی در صاف کردن سیال سازند یکی از راه‌های حل این مشکل است. در این حالت سیستم‌ها قابلیت تولید ژل را در شرایط خاص، خواهند داشت.

ابتدا سیستم‌های تشکیل ژل آبی و معدنی پیشنهاد شده بودند که تحت شرایط سطحی محلول‌هایی با گرانروی اندک هستند در حالی که در شرایط سازند در اثر عوامل طبیعی متفاوت، به ژل تبدیل می‌شوند. عوامل طبیعی مثل انرژی گرمای تشکیل، انحلال طی فرایند صاف شدن، اندرکنش با سیال سازند و مخازن سنگی. به منظور استفاده از فن آوری تشکیل ژل در EOR تحت شرایط متفاوت فیزیکی - زمین شناختی و همچنین توسعه میدان‌های نفتی خصوصیات رئولوژیکی و سینتیکی سیستم‌ها باید کنترل شود.

### خصوصیات رئولوژیکی و سینتیکی سیستم‌ها

ژل‌های پلیمر با قابلیت برگشت پذیری گرما، به منظور افزایش EOR مورد استفاده قرار می‌گیرند که این دریافت از ساختارهای متفاوت و از طریق سازگاری موجود در آنها صورت می‌گیرد. اینگونه ژل‌ها از محلول‌های پلیمری که نقطه انحلال بحرانی پایین



شکل ۱- اثر الکترولیت روی Tg برای یک درصد محلول CE

NaCl	KCl	NH <sub>4</sub> Cl	NaCNS	KCNS	NH <sub>4</sub> CNS	NaNO <sub>3</sub>	KNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
37	40	45	72.5	72.5	80	52	53.5	60.5
-22	-19	-14	+12.5	+12.5	+21	-7	-5.5	+1.5

جدول ۱- اثر الکترولیت روی Tg برای یک درصد محلول CE

دارند (LCDP) تشکیل می‌شوند. انرژی گرمایی تشکیل، عاملی است که سبب ژل شدن می‌گردد. محلول پلیمرهای LCDP قابلیت تولید ژل در شرایط خاص را دارند. در دمای پایین محلول‌ها گرانی کمی دارند در حالی که در دمای بالا تبدیل به ژل می‌شوند و تشکیل یک فرایند برگشت پذیر را می‌دهند. به طوری که در

نمک‌هایی که آنیون CNS<sup>-</sup> دارند تاثیر معکوس می‌گذارند و باعث افزایش LCDP می‌گردند. نمک‌هایی که شامل یون NO<sub>3</sub><sup>-</sup> هستند تاثیر حدواسط را دارند، یعنی افزایش یا کاهش اندک بر روی Tg، که به ویژگی کاتیون وابسته است. به منظور مقایسه یون‌های یک ظرفیتی و چند ظرفیتی تاثیر Tg بر روی نیروی یونی الکترولیت افزوده شده در محلول CE مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت، که نتایج حاصله چنین می‌باشند. الکترولیت یون یک ظرفیتی بیشترین تاثیر را در کاهش Tg و الکترولیت یون دو و سه ظرفیتی اثر کمتر و تقریباً یکسان را در کاهش Tg دارند.

افزودن کربامید و تیوره (thiourea) بر روی فعل و انفعالات آب‌گریزی و پیوندهای هیدروژنی تاثیر می‌گذارند و زمان و درجه حرارت لازم برای ژل شدن محلول‌های CE را متناسب با غلظت غیر الکترولیت افزایش می‌دهند. ترکیب الکترولیت و غیر الکترولیت که به ترتیب منجر به کاهش و افزایش در سیستم تشکیل ژل می‌شوند، سیستمی را ایجاد می‌کند که شامل دامنه وسیعی باشد. بنابراین مطالعاتی که بر روی خصوصیات رئولوژیکی و سینتیکی ژل شدن در سیستم سه جزئی CE-کربامید-آب انجام شده، نشان می‌دهد که افزودن تیوسیانات آمونیوم با غلظت ۱۰-۱٪ (شکل ۲، ۳) باعث افزایش Tg از 78 به 98°C می‌شود و در غلظتی بیشتر از 10% LCDP، درجه حرارتی بالاتر از 100°C خواهد داشت. خطوط منحنی که نشانگر وابستگی Tg به غلظت تیوسیانات

اثر سرد شدن، ژل دوباره تبدیل به محلولی با گرانی پایین می‌شود و با گرم کردن مجدد تبدیل به ژل می‌گردد و به همین ترتیب این چرخه برقرار است. افزودن الکترولیت‌ها و غیر الکترولیت‌ها فعل و انفعالات آب‌گریزی را در سیستم‌ها تغییر می‌دهد که باید دما و مدت زمان لازم برای ژل شدن در سیستم‌های تشکیل ژل با قابلیت برگشت پذیری گرما که در بالا ذکر شد، کنترل شود. تاثیر الکترولیت‌ها و غیر الکترولیت‌ها بر روی دما (Tg) و مدت زمان (tg) تشکیل ژل در محلول‌های آبی پلیمرهای LCDP از جمله سلولز اثر (CE) به طور تجربی آزمایش شده است و همچنین در محلول‌های آبی سلولز اثر 1% تاثیر کلرید، تیوسیانات، نترات بر روی دمای تشکیل ژل Tg در غلظت‌های متفاوت بررسی گردید. (شکل ۱ جدول ۱) Tg محلول CE در آب شیرین 59°C است. ΔTg اختلاف بین دمای ژل شدن CE در محلول و آب شیرین می‌باشد. آنیون‌ها تاثیر بیشتری بر روی تغییر Tg دارند، در صورتی که تاثیر کاتیون‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است. آنیون‌های CNS<sup>-</sup> یا Cl<sup>-</sup> در سر مخالف مجموعه لایوتروپیک و یون NO<sub>3</sub><sup>-</sup> در مرکز این مجموعه قرار گرفته‌اند. اگر بخواهیم تاثیر نمک‌هایی که کاتیون‌های یکسان و آنیون‌های متفاوت دارند را مقایسه کنیم، همان‌گونه که در جدول مشخص است در تمامی موارد نمک‌هایی که آنیون Cl<sup>-</sup> دارند سبب کاهش بیشتر در LCDP موجود در محلول‌های CE می‌شوند و در مقابل



زمان را در سیستم‌های پلیمر با قابلیت برگشت پذیری گرما، کنترل کرد و شرایط خاص سازند را در میدان‌های نفتی، مورد توجه قرار داد.

## کاربرد تجاری فن آوری در میدان‌های نفتی غرب سیبری

مطالعات انجام شده در این زمینه اجازه می‌دهد تا یک فرد کارشناس با انتخاب بهترین سیستم‌های ژل‌سازی (سیستم METCA) مطابقت و سازگاری را در سیستم افزایش دهد، صاف کردن را کنترل کند و مقدار آب خارج شده همراه نفت خام از مخازن را در میدان‌های نفتی غرب سیبری به حداقل برساند. محلول آبی با گرانیوی پایین به داخل سازند تزریق می‌شود. این محلول در شرایط تشکیل در دمای  $40-120^{\circ}\text{C}$  قادر به تولید ژل است. غشاء ژلی در لایه نفوذپذیر سازند (ورودی سیستم) شکل می‌گیرد و باعث نوآوری عمل صاف کردن می‌شود. تزریق سیستم‌های METCA به داخل چاه نیمرخ تزریق را بهبود بخشیده، مقدار آب خارج شده به همراه نفت را کاهش و تولید نفت را در چاه‌های نفتی افزایش می‌دهد. استفاده از

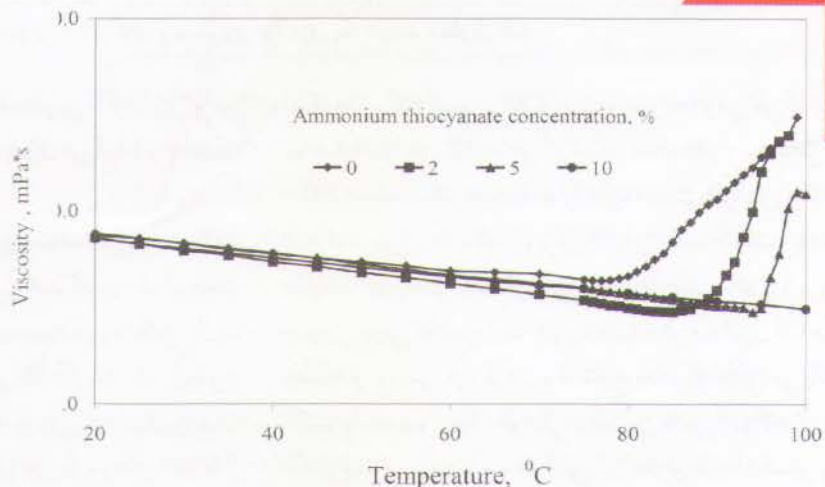
سیستم‌های METCA بسیار آسان است. بهترین حلالیت پلیمر در آب، در دمایی بین  $0-10^{\circ}\text{C}$

صورت می‌گیرد. استفاده از فن آوری در این زمینه از لحاظ اقتصادی موثر و از لحاظ زیست‌محیطی نیز بی‌خطر و مطمئن می‌باشد. با استفاده از این فن آوری می‌توان و بخار افزایش داد.

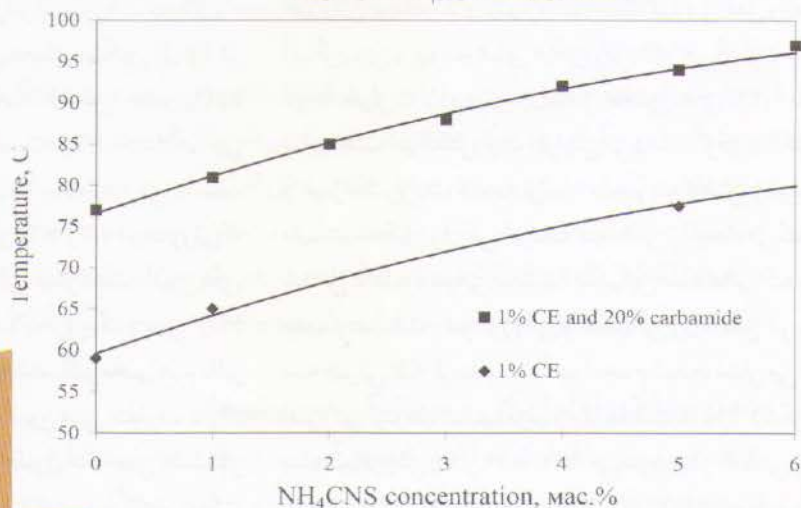
از سال 1998 یک شرکت نفتی به نام (LUKOIL) این فن آوری را در مقیاس تجاری به کار گرفت. برای مدت 17 ماه سیستم‌های ژل‌سازی را در داخل 6 چاه نفتی در میدان‌های نفتی غرب سیبری قرار دادند که افزایش تولید نفت در

آمونیم هستند در صورت وجود یا عدم کربامید تقریباً موازی می‌باشند (شکل ۳). در مقدار اندکی از تیوسیانات آمونیم، Tg به صورت خطی افزایش می‌یابد و این افزایش با افزودن غلظت تیوسیانات بیشتر می‌شود.

افزایش Tg همراه با زمان طولانی ژل‌شدگی است. برای مثال در محلول 1% در دمای ثابت  $100^{\circ}\text{C}$  با افزودن تیوسیانات آمونیم (5% یا بیشتر) زمان ژل‌شدگی Tg، 6 برابر یا بیشتر افزایش می‌یابد. در این سیستم‌ها تغییرات دما تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر گرانیوی پدید می‌آورد. به این صورت که در  $20^{\circ}\text{C}$  گرانیوی محلول از 40 تا 130 mPas تغییر می‌کند و با گرم کردن تا دمای  $52-80^{\circ}\text{C}$  می‌توان کاهش تدریجی گرانیوی را 8-30 mPas مشاهده کرد. با حرارت بیشتر یک افزایش گرانیوی سریع 100-1100 mPas رخ می‌دهد (3-130 مرتبه افزایش) که در این حالت ژل‌شدگی اتفاق می‌افتد. دمایی که گرانیوی، کمترین میزان خود را دارد مرتبط با نقطه انحلال بحرانی پایین (LCDP) و یا دمای ژل‌شدگی سیستم است. بنابراین با استفاده از افزودنی‌های متفاوت می‌توان دما و



شکل ۲ - خصوصیات رئولوژیکی سیستم: ۱% CE و ۲۰% کربامید در برابر دما (غلظت تیوسیانات آمونیم ۰، ۲، ۵ و ۱۰ درصد)



شکل ۳ - اثر الکترولیت روی Tg در سیستم: ۱% CE و ۲۰% کربامید در برابر غلظت NH<sub>4</sub>CNS

تأثیر خود را به جای می گذارند. بیشترین کاهش دما در عملکرد الکترولیت های یک ظرفیتی دیده شده است. - یک متخصص با ترکیب عملکرد الکترولیت ها و عملکرد غیر الکترولیت ها که Tg را افزایش می دهند می تواند سیستمی را ایجاد کند که Tg محدوده دمای وسیعی برای شرایط فیزیکی - زمین شناختی مختلف در میدان های نفتی داشته باشد.

- در سال 1998 یک شرکت نفتی به نام LUKOIL از

فن آوری EOR براساس

سیستم METCA با پایه

محلول CE استفاده نمود. در

طی سال های ۹۸ و ۹۹

سیستم های ژل سازی

METCA به داخل ۶۵ چاه

نفتی در میدان های نفتی

غرب سیبری تزریق شد.

میزان تولید افزوده نفت در

این مدت ۵۹۸۰۰ تن

بوده است. بازپرداخت آن

نیز ۵ تا ۹ ماه به طول

انجامید.

- فن آوری تشکیل ژل از

طریق سیستم های METCA

عامل اصلی در کاهش آب

همراه نفت خام در میدان

نفتی است. این پدیده از

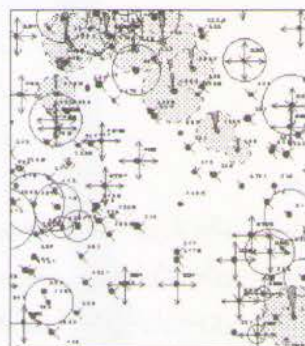
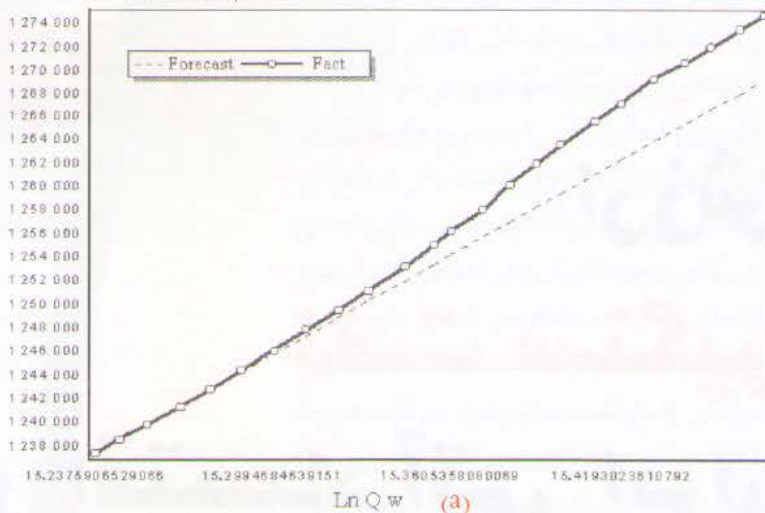
طریق آبرویی، تحت تاثیر

گرمای سازند انجام می شود.

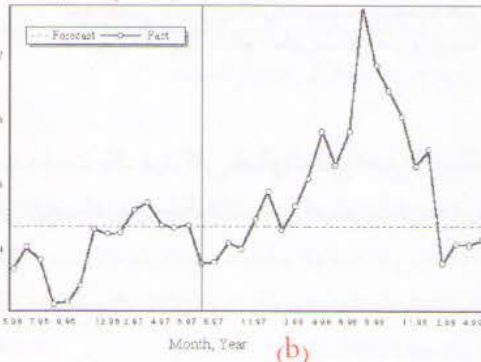
این مدت ۵۹۸۰۰ تن بوده است. مدت بازپرداخت هم ۵ تا ۹ ماه طول کشید. برای نمونه نتایج حاصله از مناطق در میدان نفتی (Potochnoye) در شکل ۴ آمده است. سیستم های METCA درون ۴ چاه تزریق 413B, 412, 414B, 223 قرار گرفتند و در داخل هر چاه 50m<sup>3</sup> از سیستم تزریق شد که سبب افزایش تولید نفت به میزان 1459 تن در همان مدت گردید.

استفاده از سیستم های METCA در فن آوری EOR از طریق کاهش آب بسیار سودمند است.

Oil Production, tons



Oil Rate, tons/day



شکل ۴- کارایی فناوری METCA در مناطق سازند BV8، میدان های نفتی غرب سیبری  
a تولید فزاینده نفت در مقابل تولید فزاینده آب (LNQW)، b میزان نفت در مقابل زمان  
c طرح مناطق

## نتیجه

- تاثیر الکترولیت ها: تاثیر نمک های کلروهیدریک، رودانو هیدریک و اسیدهای نیتریک و نمک های غیر الکترولیت (کربامید و تیواره) بر روی دما و زمان ژل شدگی به طور تجربی مطالعه و بررسی شده اند.

- نمک هایی که شامل کلرید هستند به طور چشمگیری LCDP محلول های CE را کاهش می دهند در حالی که نمک های CNS<sup>-</sup> تاثیر معکوس دارند و LCDP را افزایش می دهند. نمک هایی که شامل نیترات هستند تاثیر حد واسط دارند و به صورت کاهش یا افزایش اندک دمای ژل شدگی که بستگی به ماهیت کاتیون دارد

## علایم اختصاری

LCDP: نقطه انحلال بحرانی

پایین

CE: سلولز اتر

Tg: دمای تشکیل ژل یا دمای ژل شدگی

tg: زمان تشکیل ژل یا زمان ژل شدگی

$\Delta Tg$ : تفاوت بین دماهای تشکیل ژل محلول CE در محلول

و در آب شیرین

■ QW: تولید آب

شماره ۲۴ - مرداد ۱۳۸۴