زیست فناوری دانشگاه تربیت مدرس
دوره 6، شماره 1، بهار و تابستان 1394

بررسی میزان بازیافت نفت خام با استفاده از رامنولیپید تولید شده از سویه‌های جداشده از چاه‌های نفت ایران

حمید راشدی[1*]، علی ایزدی[2]، مهناز مظاهری‌اسدی[3]، الهام باقی‌زاده[2]، علی راشدی[4]

1- دانشیار دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران
2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، تهران.
3- استاد پژوهشکده بیوتکنولوژی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، شهریار، مجتمع عصرانقلاب
4- کارشناسی ارشد مهندسی پلیمر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران

* تهران، صندوق پستی 4563-11155
hrashedi@ut.ac.ir
(دریافت مقاله: 94/5/14 پذیرش مقاله: 94/7/15)

چکیده- در این مطالعه، توانایی میکروارگانیسم‌های تولید کننده بیوسورفکتانت بررسی شد. نمونه‌ها از چاه‌های نفت بی‌بی، سیری، پایدار و ایلام جمع‌آوری شدند و به پژوهشکده بیوتکنولوژی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران انتقال یافت. 45 سویه جداسازی و از میان سویه‌های جدا شده بهترین سویه انتخاب و توان تولید با استفاده از شرایط مختلف محیط کشت بررسی شد و بدین منظور از محیط نمک‌های معدنی 3M حاوی گلوکز، ملاس و Lindhard استفاده گردید. در این آزمایش‌ها عوامل مختلف با روش تاگوچی مورد بررسی قرار گرفتند.

بهترین شرایط حاصل برای تولید محصول رامنولیپید با محیط حاوی Lindhard در شرایط آزمایشگاهی به میزان 8/8 گرم در لیتر رامنولیپید و توانائی امولسیفیکاسیون نفت خام 88 درصد و میزان وزن خشک سلولی 2/2 گرم در لیتر بود، لذا از محیط مورد نظر برای تولید در فرمانتور استفاده شد و در این حالت پارامترهای دور همزن، نسبت C/N و میزان هوادهی بهینه شد و بیشترین میزان تولید رامنولیپید 14/2 گرم در لیتر با درصد توانائی امولسیفیکاسیون نفت خام 98/2 و وزن خشک سلولی 3/4 گرم در لیتر حاصل گردید. سپس تأثیر بیوسورفکتانت بر افزایش برداشت در ستون ماسه سنگ (Sand Pack) و مغزه (Core Holder) گرفته شده از چاه‌های نفت مورد بررسی قرار گرفت و بیشترین میزان نفت بازیافت شده در ماسه سنگ زمانی که این سیستم اشباع از نفت خام بود، برابر 23/6 درصد و بیشترین میزان نفت بازیافت شده در مغزه زمانی که این سیستم اشباع از نفت خام بود، برابر 42 درصد حاصل شد.

کلیدواژگان: بیوسورفکتانت، سودوموناس ائروجینوزا، رامنولیپید، ازدیاد برداشت میکروبی، میکروارگانیسم‌های جداشده از چاه‌های نفت.

1- مقدمه

صیانت از مخازن نفتی به منظور افزایش طول عمر آنها، همواره از دغدغه‌های کشورهای دارنده نفت است. سالانه مبالغ زیادی در جهان، صرف بودجه‌های تحقیقاتی بر روی روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی می‌شود و دارندگان این ذخایر می‌کوشند تا با روش‌های جدیدتر کم هزینه‌تر و با کارایی بالاتر از منابع خود بهره ببرند. یکی از راه‌های جدید در افزایش بازده مخازن نفتی، روش میکروبی (MEOR) است که کارشناسان احتمال می‌دهند که در آینده یکی از روش‌های مهم ازدیاد برداشت شود. کاربرد بیوتکنولوژی در عرصه نفت روز به روز گسترش بیشتری می‌یابد. امروزه کارشناسان علوم بیوتکنولوژی در کنار مهندسان نفت می‌کوشند تا بازده تولید از مخازن نفتی را ارتقا بخشند. روش میکروبی روشی مبتنی بر کاربرد میکروب‌های خاص به منظور افزایش تولید نهایی از چاه است.

در مخازن نفتی، کاهش و افت بعضی از فاکتورهای محیطی، از جمله فشار باعث می‌شود تا بازیافت نهایی کم شود. به همین دلیل از روش‌هایی با عنوان "روش‌های ازدیاد برداشت" برای بالا بردن تولید از مخزن نفتی استفاده می‌شود. معمولاً 30 درصد از نفت به‌طور طبیعی از مخزن برداشت می‌شود و 70 درصد باقی‌مانده آن نیازمند بکارگیری برخی دیگر از روش‌های ازدیاد برداشت است که در ادامه تعدادی از این روش‌ها ذکر می‌شوند. روش‌های بهره‌برداری بر اساس نوع نیروهایی که نفت را به سطح زمین بصورت (طبیعی یا مصنوعی) می‌رانند، تقسیم‌بندی می‌شوند. در یک دسته‌بندی ساده می‌توان روش‌های بهره‌برداری از چاه‌های نفت را به سه دسته تقسیم کرد که عبارتند از بازیافت اولیه، ثانویه و ثالثیه [1-4].

بیوسورفکتانت‌ها، ترکیبات فعال سطحی هستند که به وسیله میکروارگانیسم‌های مختلف از جمله برخی باکتری‌ها، مخمرها و قارچ‌ها تولید می‌شوند که یا به سطح سلول چسبیده یا به خارج از سلول ترشح می‌شوند. به دلیل وجود گروه‌های آبدوست و آبگریز داخل یک مولکول، بیوسورفکتانت‌ها می‌توانند در مرز بین فازهای مایع (مانند نفت/آب) با درجات مختلف قطبی بودن و پیوندهای هیدروژنی قرار گیرند [5-12]. آنها مولکول‌هایی هستند که کشش‌های سطحی و بین دو سطح را در هر دو محلول آبی و مخلوط‌های هیدروکربنی کاهش می‌دهند.

بیوسورفکتانت‌ها از لحاظ تجارتی به دلیل استفاده در صنایع نفت و پتروشیمی، غذایی، داروسازی و پزشکی، آرایشی، کشاورزی، نساجی، کاغذسازی و چرم‌سازی و اهمیت بسیار دارند. به همین علت میکروارگانیسم‌های تولیدکننده این ترکیبات به دلیل داشتن نسبت بالای سطح به حجم (قابلیت پراکندگی در سطح در حجم‌های کوچک) و ظرفیت‌های متنوع بیوسنتیک، کاندیدای مناسبی در تحقیق برای گسترش طیف بیوسورفکتانت‌ها می‌باشند. رامنولیپیدها یکی از مهمترین انواع بیوسورفکتانت‌ها هستند که به وسیله باکتری‌هایی مانند سودومناس تولید می‌شوند و در گروه گلیکولیپیدها قرار می‌گیرند که حاوی یک یا دو ملکول رامنوز در اتصال به یک یا دو ملکول بتاهیدروکسی کربوکسیلیک اسید می‌باشند [5،13-15].

2- مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌های بهینه‌سازی شرایط تولید بیوسورفاکتانت رامنولیپید توسط سویه *Pseudomonas aeruginosa* که قبلاً بر روی آن مطالعات سینتیکی انجام پذیرفته است و همچنین از مواد و محیط‌های کشت زیر که ازکارخانجات Merck آلمان تهیه شد استفاده شده است [16-20].

2-1- میکروارگانیسم مورد استفاده

سویه‌ای که برای تولید رامنولیپید استفاده می‌شود

Pseudomonas aeruginosa است. این باکتری از چاه‌های نفت ایلام وسیری جداسازی شده است

2-2- محیط‌های کشت مورد استفاده

به منظور بررسی تأثیر منبع کربن روغن ذرت بر میزان تولید رامنولیپید از محیط Lindhard استفاده شد [21].

5 میلی‌لیتر از محلول حاوی عناصر جزئی پس از استریل کردن به محیط پایه نمک‌های معدنی اضافه شد. مقدار مورد نیاز از روغن ذرت به همراه آب به مدت 15 دقیقه در دمای 121° C اتوکلاو گردید. پس از سرد شدن، نمک‌های معدنی استریل به محلول روغن ذرت در آب اضافه شد.

در محیط Lindhard تغییر یافته، مقدار ذکر شده برای عناصر جزئی پس از استریل کردن به محیط پایه نمک‌های معدنی اضافه شد.

3-2- مقایسهٔ میزان تولید را منولیپید در محیط‌های کشت lindhard

این آزمایش به منظور انتخاب محیط بهینه برای تولید رامنولیپید انجام شد که نتایج آن در بخش نتایج بررسی شده‌اند. به منظور بررسی میزان تولید، رامنولیپید از روش‌های ذیل جداسازی و ماده حاصل ارزیابی گردید.

4-2- سانتریفوژ کردن

این عمل پس از اتمام زمان گرمخانه گذاری انجام می‌شود که به منظور جداسازی باکتری‌ها از محیط، محیط کشت با دور 12000rpm به مدت 10 دقیقه در دمای 4 درجه سانتی‌گراد سانتریفوژ شد. سپس مایع رویی جدا شده وبرای انجام آزمایش‌هایبعدی به منظور سنجش میزان تولید رامنولیپید مورد استفاده قرار گرفت[۶،۲۲]. رسوب بدست آمده به مدت 5-7 ساعت در درجه حرارت 90 درجه سانتی‌گراد خشک شده، سپس توزین گردید.

5-2- آزمایش مخازن ماسه‌ای

یکی از معیارهایی که برای بررسی آزمایشگاهی و اندازه‌گیری مناسب بودن بیوسورفکتانت‌ها برای استفاده در فرایند ازدیاد برداشت میکروبی نفت (MEOR) بسیار مفید است و به فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه‌گیری توانایی بیوسورفکتانت در رهاسازی نفت بدام افتاده در لایه‌های ماسه‌سنگ، در داخل مخازن ماسه‌ای است.

ستون مخازن ماسه‌ای، یک ستون پر از دانه‌های ماسه با اندازه مشخص است. جنس ستون معمولاً از شیشه یا فایبر گلاس است. دانه‌های ماسه پس از غربال شدن در اندازه دلخواه، بسته به میزان تخلخل مورد نظر برای ستون -که باید از دانه‌هایی با اندازه متفاوت استفاده کرد- چندین بار با آب و اسید رقیق شستشو می‌شوند. ستون از دانه‌های ماسه پر می‌شود و به مدت 48 ساعت در آون با دمای 80^0C قرار داده می‌شود تا کاملاً خشک شود [23-27]. در این مطالعه ستون مخازن ماسه‌ای با مشخصات جدول 1 تهیه و مورد استفاده قرار گرفت:

جدول 1 مشخصات ستون Sand pack

حجم سندپک (ml)	350
اندازه ذرات ماسه (mesh)	45
Porosity(%)	35
Pore volume(ml)	122.5
دانسیته نفت خام (g/ml)	0.97
ویسکوزیته نفت خام (ccP at 250C)	406
Residual oil (% of total)	33-35
دبی (ml/h)	60

6-2- آماده‌سازی مخازن ماسه‌ای

همان‌طور که ذکر شد برای پرکردن ستون از ذرات ماسه اسیدشویی شده استفاده شد. ذرات ماسه ابتدا از یک غربال با یک اندازه پایین‌تر از اندازه مورد نظر (Mesh=

(40 عبور داده شدند تا تمام ذرات ریزتر ماسه جدا گردیده و دور ریخته شوند. ذرات ماسه باقیمانده دراین غربال از غربال با اندازه مورد نظر (Mesh= 45) عبور داده شدند. ذرات ماسه‌ای که از این غربال عبور می‌کنند، اندازه دلخواه دارند.

2-6-1- اندازه‌گیری میزان تخلخل ستون تهیه شده

پس از تهیه ستونی که از ذرات ماسه با اندازه مناسب پر شده، نوبت به اندازه‌گیری میزان تخلخل ستون تهیه شده می‌رسد. ابتدا ستون به مدت 48 ساعت در آون با دمای 80°C قرار داده می‌شود تا کاملاً خشک شود. ستون با آب مقطر اشباع گردید. حجم آب مقطر مورد نیاز برای اشباع نمودن ستون برابر با حجم منافذ بین ذرات آن است که به عنوان Pore size در نظر گرفته می‌شوند و تخلخل ستون با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{تخلخل} = \frac{V_p(\text{حجم منافذ})}{V_t(\text{حجم کل منافذ})} \times 100$$

2-6-2- اشباع ستون با نفت خام واندازه‌گیری میزان نفت باقیمانده در ستون

ستون تهیه شده به مدت 48 ساعت در دمای 80°C قرار داده شد تا کاملاًخشک شود. با ایجاد مکش از یک انتها و قراردادن انتهای دیگر در درون نفت خام ستون از نفت خام اشباع گردید. نفت خام استفاده شده، نفت خام سیری بود. میزان 122/5 میلی‌لیتر آب مقطر، برابر با یک حجم حفره، به درون ستون اشباع از نفت تزریق و مقدار نفت خارج شده به همراه آن اندازه‌گیری شد. تزریق دفعات متوالی آب مقطر هم حجم با حجم حفره آنقدر ادامه داده شد تا میزان نفت خروجی در اثر تزریق آب به کمتر از 1% برسد.

نفت باقیمانده دربین منافذ و لایه‌ای ستون ماسه با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

Residual Oil= Total Injected Oil – water Flooding Oil Released

2-7- توسعه منحنی غیر اشباع مویی برای درون ماسه سنگ‌ها

عدد مویی (Capillary number) با افزایش در نیروهای ماندی یا کاهش در نیروهای سطحی (Inter facial)، افزایش می‌یابد. افزایش در عدد مویی، نفت اشباع باقی‌مانده درون سنگ‌ها را کاهش و بازیافت نفت باقی‌مانده را افزایش می‌دهد [28].

عدد مویی بصورت ریاضی به این صورت تعریف می‌شود:

$$Ncp = V\alpha/\sigma$$

که در آن Ncp عدد مویی، V ویسکوزیته در میان محیط متخلخل (cm/sec)، $Q/A\phi$

α ویسکوزیته سیال جانشین شده (محلول نمک)، cp و σ کشش سطحی بین نفت و آب، dynes/cm است.

Q دبی، waterflooding ، A سطح cross-sectional برای مغزه و ϕ تخلخل مغزه (Core) می‌باشد.

مغزه‌ها در آون با دمای 60C به مدت 4 روز خشک می‌شوند. سپس وزن شده و طول قطر آنها اندازه‌گیری می‌شود. مغزه را به منظور برطرف کردن هوای درون آنها زیر خلاء به مدت 24 ساعت قرار داده، سپس با 5%deareated محلول نمک کلرید سدیم اشباع شده و سپس برای رسیدن به آب اشباع ذاتی توسط نفت خام شسشو می‌شود. در فاز شستشو (water flooding)، محلول نمک 5% Nacl یا دبی 2.5 ml/h تا رسیدن به نفت اشباع باقی‌مانده (بطور مثال تا وقتی که نفتی از مغزه بازیافت شود)، تزریق می‌شود. سپس دبی محلول نمک تزریقی دو برابر شده (5.1ml/h) و مغزه دوباره برای رسیدن به نفت اشباع باقی‌مانده شستشو می‌شود. دو برابر کردن دبی جریان تا وقتی ادامه می‌یابد که دبی جریان

محلول نمک به مقدار بیشینه 576ml/h برسد. مقدار نفت بازیافت شده در هر دبی اندازه‌گیری شده و نفت اشباع باقی‌مانده تعیین می‌شود. مشخصات پتروفیزیکی مغزه در جدول 2 آورده شده است.

3- نتایج

در این مطالعه هدف بررسی میزان بازیافت نفت خام با استفاده از رامنولیپید تولید شده از سویه‌های جدا شده از چاه‌های نفت ایران است. بدین منظور لازم است تا با استفاده از رامنولیپید تولید شده از سویه *Pseudomonas aeruginosa* جداسازی شده از چاه‌های نفت ایلام و سیری -که بهینه شرایط تولید آن مورد مطالعه قرار گرفته است [29-32]- منحنی غیراشباع آن برای شرایط مخازن ماسه‌ای و شرایط آن در حالت مخازن سنگی مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه شرایط مورد نظر در این حالت‌ها که دو مدل متداول در چاه‌های نفتی ایران هستند، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که نتایج بدست آمده در ذیل حکایت از افزایش راندمان نفت جداسازی شده با استفاده از شرایط فوق را برای چاه‌های نفتی مورد مطالعه ارائه می‌نماید. همچنین برای تشخیص اینکه آیا بازیافت‌های نفت باقی‌مانده توسط تزریق بیوسورفکتانت وابسته به فرایند شستشوی مغزه می‌باشند یا نه، منحنی غیر اشباع موئی به وسیله اندازه‌گیری اشباعیت‌های نفت در دبی‌های مختلف، تهیه شد.

3-1- تأثیر بیوسورفکتانت بر افزایش برداشت بهترین سویه

در این تحقیق جریان عبوری بیوسورفکتانت در دستگاه مخازن ماسه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل بیانگر این است که مقدار نفت بازیافت شده هنگامی که بیوسورفکتانت به تنهایی یا با افزودن 1.7g /L از بیوسورفکتانت استفاده شد خیلی کم بوده و مشابه با نتایج کنترل انجام گرفته توسط 5%Nacl می‌باشد (جدول 3). هنگامی که غلظت مورد استفاده بیوسورفکتانت برابر g /L 1.7 یا کمتر باشد توده نفت قابل مشاهده‌ای شکل نمی‌گیرد.

3-2- آزمایش مغزه

در این تحقیق جریان عبوری بیوسورفکتانت در دستگاه مغزه مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش پارامترهای مختلف با توجه به غلظت بیوسورفکتانت، دبی و مدت تزریق مورد بررسی قرار گرفت و درصد بازیافت نفت باقی‌مانده اندازه‌گیری شد (جدول 4).

جدول 2 مشخصات پتروفیزیکی مغزه

حجم کل (ml)	درصداشباع اولیه نفت (%)	قطر (cm)	طول (cm)	نفوذپذیری مطلق (میلی دارسی) (md)	حجم تخلخل (ml)	تخلخل (%)	core
1368/5	100	6/6	31 9/5	285	150/6	12/24	3
1368/5	100	6/6	35 5	285	152/6	11/5	H
1368/5	100	6/6	40	295	300	22/89	X3
1368/5	100	6/6	40	295	289/8	21/8	Xt
1368/5	100	6/6	30 10	290	242/5	18/9	Z

جدول 3 بازیافت نفت با غلظت‌های مختلف بیوسورفکتانت

نمونه سیال تزریقی	غلظت بیوسورفکتانت (mg /L)	حجم تزریقی بیوسورفکتانت (ml)	نفت اشباع باقی‌مانده (%)	حجم نفت بازیافت شده (ml)	درصد نفت باقی‌مانده بازیافت شده
5%NaCl	0	200	20	0/2	1/3
2.5%NaCl	0	150	8/4	ND	ND
	0	200	25	0/2	<0/1
	0/1	100	13	0/1	1/1
	1/75	100	16	0/4	2/2
	3	100	17	0/4	2/3
بیوسورفکتانت	1/7	200	27	0/4	1/6
	12/3	200	22	0/9	4/9
	12/3	60	13	2/6	23/6

جدول 4 خلاصه‌ای از اطلاعات بازیافت نفت در غلظت‌های بالاتر و پایین‌تر از غلظت نقطه بحرانی.

Core (x1)	غلظت بیوسورفکتانت (mg/L) (x2)	دبی بیوسورفکتانت تزریقی (ml/h) (x3)	مدت تزریق (x4) (min)	درصد بازیافت نفت باقی‌مانده (%) (Y0)
3	39	2/5	1550	36/7
3	20	5/14	2630	27/8
3	5/5	10	3182	13/3
H	39	5/14	2630	27/8
H	20	10	3182	17/8
H	5/5	2/5	1550	11/4
X3	39	10	3182	48
X3	20	2/5	1550	28
X3	5/5	5/14	2630	13/6
Xt	39	2/5	1550	42
Xt	20	5/14	2630	38
Xt	5/5	10	3182	18/8
Z	39	5/14	2630	64
Z	20	10	3182	26
Z	5/5	2/5	1550	18/9

پس از بدست آمدن اطلاعات اولیه از آزمایشگاه مدل ریاضی ذیل برای این آزمایش با استفاده از تأثیرات هر

یک از پارامترها بر روی یکدیگر بصورت ذیل در نظر گرفته شد:

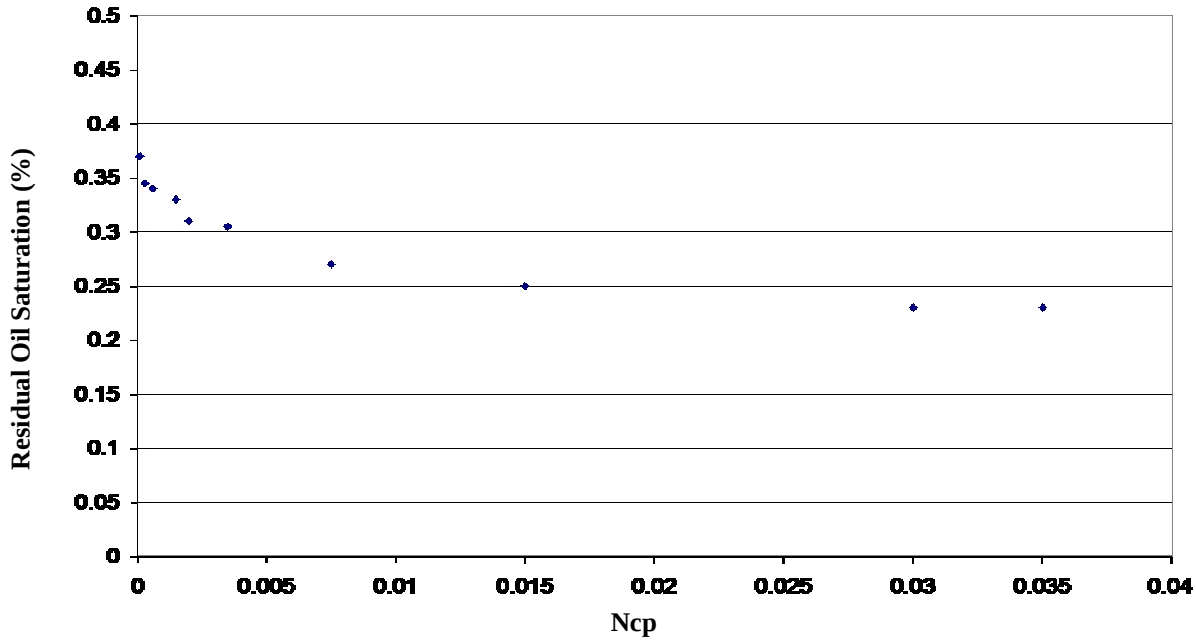
$$\ln Y0 = \ln a + c \ln X1 + d \ln X2 + e \ln X3 + f \ln X4$$

پس از حل این مدل، مفروضات زیر در نظر گرفته می‌شوند:

$$\text{Ln } Y0 = 1.3188 + 0.2373 \ln X1 + 0.5190 \ln X2 - 0.0463 \ln X3 + 0.0419 \ln X4 \quad (11)$$

3-3- غیر اشباع مویی Capillary desaturation

اشباعیت‌های باقی‌مانده و عددهای موئی که توسط دبی‌های جریان بدست آمده، در جدول 5 نشان داده شده و ارتباط آنها در شکل 1 آمده است.



شکل 1 منحنی غیر اشباع مویی ماسه سنگ توسط اندازه‌گیری اشباعیت نفت خام در دبی های مختلف

جدول 5 اشباعیت نفت باقی‌مانده و عدد موئی با افزایش دبی‌های جریان

Qw (cc/hr)	Wf(%)	Ncp
2/5	0/3667	$1/51\times10^{-5}$
5	0/3458	$3/02\times10^{-5}$
10/5	0/3396	$6/34\times10^{-5}$
20/53	0/3292	$1/24\times10^{-4}$
30/86	0/3104	$1/86\times10^{-4}$
61	0/3021	$3/68\times10^{-4}$
123/4	0/2688	$7/45\times10^{-4}$
246/9	0/2479	$1/49\times10^{-3}$
493/1	0/225	$2/98\times10^{-3}$
576	0/225	$3/48\times10^{-3}$

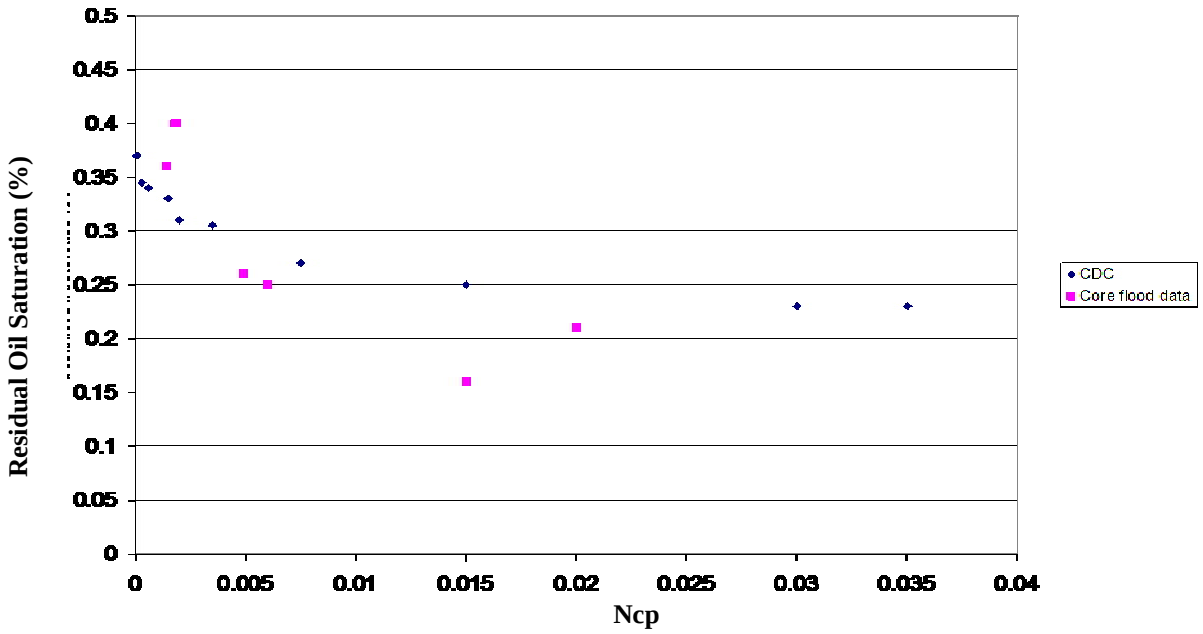
4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، توان میکروارگانیسم‌هایی که قبلاً از چاه‌های نفت جداسازی شده بود، برای تولید بیوسورفکتانت مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها از چاه‌های نفت بی‌بی، سیری، پایدار و ایلام جمع‌آوری شدند و به پژوهشکده بیوتکنولوژی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران انتقال و 45 سویه با همکاری گروه MEOR در پژوهشکده بیوتکنولوژی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران جداسازی و بهترین سویه پس از انجام تست‌های لازم و گزینش نهایی انتخاب شد.

سویه مورد نظر پس از بهینه‌سازی در مقیاس نیمه صنعتی در محیط lindhard بیشینه میزان تولید را داشته و پس از بدست آمدن این نتایج تأثیر بیوسورفکتانت بر افزایش برداشت در ستون ماسه سنگ و مغزه گرفته شده از چاه‌های نفت مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه با استفاده از روش آماری تاگوچی می‌توان ضمن انجام کمترین آزمایش شرایط را به منظور بهینه‌سازی بررسی کرد، از این روش آماری استفاده شده است. بیشترین میزان درصد نفت باقی‌مانده بازیافت شده در ماسه سنگ 23/6 و در مغزه 42 درصد حاصل شد.

با توجه به نتایج بدست آمده از شکل 2، این‌گونه می‌توان تحلیل کرد که شکل 2 مانند شکل 1 است ولی اشباعیت‌های نفت باقی‌مانده برای تعدادی از coreهای ماسه سنگ‌هایی که در آزمایش‌های شستشوی بیوسورفکتانت استفاده شده‌اند را نیز شامل می‌شود.

پسماند فرایند به تله انداختن نفت باعث افزایش نیروی ماندی نیازمند برای جابجایی نفت از منفذ به سیستم‌های برگشت ناپذیر، که عدد مویی بطور پله‌ای در آن افزایش می‌یابد و یا سیستمی که عدد مویی در آن بطور مرتب تغییر می‌کند، در سیستم برگشت‌پذیر عدد مویی ثابت می‌ماند [14]. چون انتظار می‌رود که فرایند بیوسورفکتانت در مواردی که تحمل شستشو (water-flooding) را تا رسیدن به نزدیکی اشباعیت‌های نفت باقی‌مانده داشته باشند، بکار رود، فرایند برگشت ناپذیر بیشتر بیانگر نیازهای عدد مویی برای جانشینی بیوسورفکتانت به جای نفت باقی‌مانده می‌باشد.



شکل 2 مقایسه اطلاعات مغزه با منحنی غیر اشباع مویی توسط اندازه‌گیری اشباعیت نفت خام در دبی‌های مختلف

در این نمودار ■ نشانگر نتایج در دستگاه مغزه، ■ نشانگر اطلاعات در دستگاه مخازن ماسه‌ای است.

مقایسه بین اشباعیت‌های نفت باقی‌مانده coreها که برای تزریق بیوسورفکتانت بکار می‌رود در منحنی غیر اشباع مویی نشان می‌دهد که در بعضی موارد میزان اشباعیت‌های نفت باقی‌مانده بیشتر و در بعضی کمتر بدست آمد. بنابراین مدل تجربی بیانگر موقعیت‌های مورد انتظار است و هنگامی که عدد مویی در اشباعیت داده شده نفت باقی‌مانده برای یک مغزه خالص شستشو شده کمتر از میزان آن روی منحنی غیر اشباع مویی درهمان اشباعیت نفت باقی‌مانده باشد، نشان دهنده فایده بازیافت ثالثیه و جانشینی فرایند برگشت ناپذیر می‌باشد و عدد مویی مورد نیاز برای متحرک کردن نفت بیشتر از مقدار مورد نیاز برای فرایند برگشت پذیر می‌باشد.

در مقایسه این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط سایر محققان واضح است که میزان بازیافت در این حالت نسبت به روش‌های شیمیایی به میزان قابل توجهی افزایش داشته است البته در روش‌های بیولوژیک بازدهی بالای سویه تولید کننده بیوسورفکتانت موجبات این راندمان را فراهم نموده است [33-35].

5- منابع

[1] ادیب فر پ، (1375)، میکروب‌شناسی پزشکی، انتشارات دانشگاه تهران، 588-587.

[2] رستم‌زا م، (1379)، بررسی تولید بیوسورفاکتانت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، 35-20.

[3] Feinberg, J. G., & Smith, I. (1972). Paper and thin layer chromatography & electrophoresis (Vol. 128). Longman Publishing Group, pp 85-95.

[4] Ochoa-Loza, F. J., Artiola, J. F., & Maier, R. M. (2001). Stability constants for the complexation of various metals with a rhamnolipid biosurfactant. Journal of environmental quality, 30(2), 479-485.

[5] Arino, S., Marchal, R., & Vandecasteele, J. P. (1996). Identification and production of a rhamnolipidic biosurfactant by a Pseudomonas species. Applied Microbiology and Biotechnology, 45(1-2), 162-168.

[6] Babu, P. S., Vaidya, A. N., Bal, A. S., Kapur, R., Juwarkar, A., & Khanna, P. (1996). Kinetics of biosurfactant production by Pseudomonas aeruginosa strain BS2 from industrial wastes. Biotechnology Letters, 18(3), 263-268.

[7] Bai, G., Brusseau, M. L., & Miller, R. M. (1997). Influence of a Rhamnolipid Biosurfactant on the Transport of Bacteria through a Sandy Soil. Applied and environmental microbiology, 63(5), 1866-1873.

[8] Desai, J. D., & Banat, I. M. (1997). Microbial production of surfactants and their commercial potential. Microbiology and Molecular biology reviews, 61(1), 47-64.

[9] Rothfield, L., & Romeo, D. (1971). Role of lipids in the biosynthesis of the bacterial cell envelope. Bacteriological reviews, 35(1), 10-14.

[10] Cameotra, S. S., & Makkar, R. S. (1998). Synthesis of biosurfactants in extreme conditions. Applied Microbiology and Biotechnology, 50(5), 520-529.

[11] Daniel, H. J., Otto, R. T., Reuss, M., & Syldatk, C. (1998). Sophorolipid production with high yields on whey concentrate and rapeseed oil without consumption of lactose. Biotechnology Letters, 20(8), 805-807.

[12] Desai, J. D., & Banat, I. M. (1997). Microbial production of surfactants and their commercial potential. Microbiology and Molecular biology reviews, 61(1), 47-64.

[13] Leive, L., Shovlin, V. K., & Mergenhagen, S. E. (1968). Physical, chemical, and immunological properties of lipopolysaccharide released from Escherichia coli by ethylenediaminetetraacetate. Journal of Biological Chemistry, 243(24), 6384-6391.

[14] Cooper, D. G., & Paddock, D. A. (1984). Production of a biosurfactant from Torulopsis bombicola. Applied and environmental microbiology, 47(1), 173-176.

[15] Daniel, H. J., Reuss, M., & Syldatk, C. (1998). Production of sophorolipids in high concentration from deproteinized whey and rapeseed oil in a two stage fed batch process using Candida bombicola ATCC 22214 and Cryptococcus curvatus ATCC 20509. Biotechnology Letters, 20(12), 1153-1156.

[16] Rashedi, hamid, (2010). "Modeling and optimization of main factors in rhamnolipid production process by Pseudomonas Aeruginosa HR." Annals of Microbiology 4, no. 7: 110-120.

[17] Onwosi, C. O., & Odibo, F. J. C. (2013). Use of response surface design in the optimization of starter cultures for enhanced rhamnolipid

production by Pseudomonas nitroreducens. African Journal of Biotechnology, 12(19), 2611-2617.

[18] Santa Anna, L. M., Sebastian, G. V., Menezes, E. P., Alves, T. L. M., Santos, A. S., Pereira Jr, N., & Freire, D. M. G. (2002). Production of biosurfactants from Pseudomonas aeruginosa PA 1 isolated in oil environments. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 19(2), 159-166.

[19] Rashedi, H., Assadi, M. M., Jamshidi, E., & Bonakdarpour, B. (2006). Production of rhamnolipids by Pseudomonas aeruginosa growing on carbon sources. International Journal of Environmental Science & Technology, 3(3), 297-303.

[20] Rashedi, H., Mazaheri Assadi, M., Jamshidi, E., & Bonakdarpour, B. (2006). Optimization of the production of biosurfactant by Psuedomonas aeruginosa HR Isolated from an Iranian southern oil well. Iran. J. Chem. Chem. Eng. Vol, 25(1).

[21] سجادی ا، (1366)، ملاس و موارد مصرف آن. انتشارات موج، 115-100.

[22] Espuny, M. J., Andres, C., Mercade, M. E., Robert, M., Manresa, M. A., & Guinea, J. (1991). R-bodies inPseudomonas aeruginosa strain 44T1. Antonie van Leeuwenhoek, 60(2), 83-86.

[23] Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances.Analytical chemistry, 28(3), 350-356.

[24] Ochoa-Loza, F. J., Artiola, J. F., & Maier, R. M. (2001). Stability constants for the complexation of various metals with a rhamnolipid biosurfactant. Journal of environmental quality, 30(2), 479-485.

[25] Maier, R. M., & Soberon-Chavez, G. (2000). Pseudomonas aeruginosa rhamnolipids: biosynthesis and potential applications. Applied Microbiology and Biotechnology, 54(5), 625-633.

[26] Amani, H. (2015). Study of enhanced oil recovery by rhamnolipids in a homogeneous 2D micromodel. Journal of Petroleum Science and Engineering, (128), 212-219.

[27] Zhao, F., Ma, F., Shi, R., Zhang, J., Han, S., & Zhang, Y. (2015). Production of rhamnolipids by Pseudomonas aeruginosa is inhibited by H2S but resumes in a co-culture with P. stutzeri: applications for microbial enhanced oil recovery.Biotechnology letters, 1-6.

[28] Deziel, E., Paquette, G., Villemur, R., Lepine, F., & Bisaillon, J. (1996). Biosurfactant production by a soil pseudomonas strain growing on polycyclic aromatic hydrocarbons. Applied and environmental microbiology, 62(6), 1908-1912.

[29] 29-Mazaheri Assadi, M., Rashedi, H., Bonakdarpour, B., & Jamshidi, E. (2006). Pseudomonas aeruginosa biosurfactant production in culture with glucose as carbon source. Chemical and biochemical engineering quarterly, 20(1), 99-106.

[30] Rashedi, H., Amoabediny, G., Eskandari, S., Chamanrokh, P., & Ziaie-Shirkolaee, Y. (2008). Application of a commercial lipase enzyme on biobleaching of kraft bagasse pulp. Cellulose Chemistry and Technology, 42(7-8), 397-402.

[31] Rashedi, H., Jamshidi, E., Assadi, M. M., & Bonakdarpour, B. (2005). Isolation and production of biosurfactant from Pseudomonas aeruginosa isolated from Iranian southern wells oil.

[32] Eskandari, S., Rashedi, H., Ziaie-Shirkolaee, Y., Mazaheri-Assadi, M., Jamshidi, E., & Bonakdarpour, B. (2009). Evaluation of oil recovery by rhamnolipid produced with isolated strain from Iranian oil wells. Annals of microbiology, 59(3), 573-577.

[33] Rashedi, H., Assadi, M. M., Bonakdarpour, B., & Jamshidi, E. (2005). Environmental importance of rhamnolipid production from molasses as a carbon source. International Journal of Environmental Science & Technology, 2(1), 59-62.

[34] Jokari, S., Rashedi, H., Amoabediny, G., Naghizadeh Dilmaghani, S., & Mazaheri Assadi, M. (2013). Optimization of Surfactin Production by Bacillus subtilis ATCC 6633 in a Miniaturized Bioreactor. International Journal of Environmental Research, 7(4), 851-858.

[35] Cirigliano, M. C., & Carman, G. M. (1984). Isolation of a bioemulsifier from Candida lipolytica. Applied and Environmental Microbiology, 48(4), 747-750.