

جداسازی لکه های نفتی ریخته شده در دریاها-اقیانوس ها به کمک غشاء مخصوص طراحی شده

محمد حسن انصاری^۱، سید سجاد روان سالار^{۲*}، ابوذر انصاری^۳، رضا محمودی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد تجارت بین الملل دانشگاه تهران، مدیر دفتر حقوقی شرکت بهره برداری و پشتیبانی انتقال آب خلیج فارس و عضو مرکز وکلا، کارشناسان و مشاوران خانواده قوه قضائیه

^{۲*} مهندسی نفت، گرایش حفاری و بهره برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، شاغل در شرکت ملی پخش فرآورده های نفتی منطقه هرمزگان
Ravansalar.sajad36@gmail.com

^۳ کارشناسی حقوق، دانشگاه پیام نور واحد گچساران، شاغل در پالایشگاه بندرعباس

^۴ دانشجوی کارشناسی برق قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودان، بندرعباس، شاغل در پالایشگاه بندرعباس

اطلاعات مقاله

ناریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

کلمات کلیدی:

غشاء مایع توده‌ای

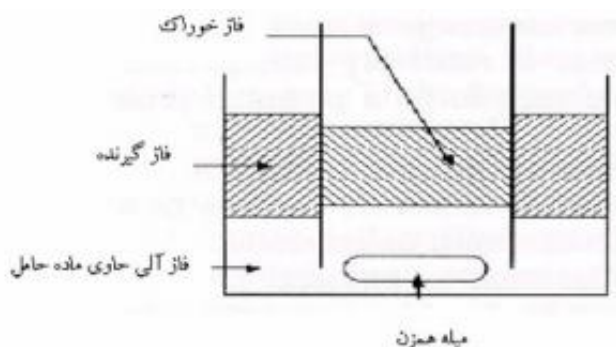
حذف لکه نفتی

تعیین شرایط بهینه

درصد جداسازی

چکیده

آلودگی نفتی می‌تواند از طریق ریختن نفت، ترکیدن لوله‌های نفت و سایر تصادفات صنعتی ایجاد شود. سالانه ۱۴۰۰۰ هزار حادثه نشت نفت رخ می‌دهد که بسیاری از آن‌ها در ابعاد کوچک و قابل جمع‌آوری هستند اما برخی هم فاجعه بار و آسیب زنده هستند. برای مثال در سال ۱۹۸۹ تنگه یرنس ویلیام در آلاسکا شاهد نشت ۴۲ میلیون لیتر نفت خام توسط نفتکش اکسون والدرز بود یا در سال ۲۰۰۲ نفتکش پرستیژ که حامل ۵/۸۵ میلیون لیتر نفت خام بود، در نزدیکی سواحل اسپانیا غرق شد. اگر چه بیشتر محموله این نفتکش در تانکرها بود، با این حال ۷/۵ میلیون لیتر آن وارد آب گردید. با توجه به رشد روزافزون صنعت در جامعه بشری امروز، رفع آلودگی‌های خطرناک آب دریاها-اقیانوسها یک نیاز حیاتی و ضروری می‌باشد. یکی از روش‌های کارآمد در جداسازی و بازیافت لکه های نفتی از سطح دریا، استفاده از غشاء مایع توده ای است. در این مقاله، آزمایشات انتقال انتخابی لکه های نفتی از فاز خوراک، توسط غشاء مایع توده‌ای به فاز گیرنده، به منظور بررسی تأثیر پارامترهای مهم در عملکرد غشاء و دستیابی به شرایط بهینه جداسازی انجام شد.



شکل ۱: شمای یک سل غشاء مایع توده‌ای [2]

دو فاز خوراک و گیرنده، باید دو فاز هم جنس (آبی یا آلی) و فاز غشاء با یک فاز جنس مخالف با فازهای دیگر باشد. (فاز آبی یا آلی) قرار گرفتن فاز غشاء در زیر دو فاز دیگر یا بالای آن‌ها بستگی به چگال تر (سنگین تر) بودن فاز غشاء از دو فاز دیگر (غشاء زیر فازها قرار می‌گیرد) یا سبک تر بودن (غشاء روی فازها قرار می‌گیرد) آن دارد.

در این مقاله، پارامترهای مؤثر بر عملکرد غشاء مایع توده‌ای در به دست آوردن شرایط بهینه برای حداکثر انتقال لکه‌های نفتی و اصلاح فاز آلی غشاء با افزودن نانو ذرات اکسید آهن، لوله‌های نانو کربن چند دیواره به این فاز به منظور افزایش جداسازی و انتقال لکه‌های نفتی به طور کامل بررسی خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

تمامی محلول‌ها با آب بدون یون با هدایت الکتریکی کمتر از یک میکرو زیمنس تهیه شده‌اند. برای تهیه محلول فاز خوراک از محلول هیدروکلریک اسید (HCl)، مس (II) سولفات پنج آبه ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر، محلول فاز آلی غشاء از ترکیب اولئیک اسید (OA) و جامد تترا آزا - ۱۴ - کروان - ۴ (TA14C4) و ترکیب نفت سفید (kerosene)، دی - ۲ - اتیل هگزیل) فسفوریک اسید (D2Ehpa)، برای محلول فاز گیرنده از سولفوریک اسید L - سیستین، سولفوریک اسید (H_2SO_4)، هیدروکلریک اسید (HCL)، اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) استفاده گردید که همه نمک‌ها و محلول‌ها از کمپانی مرک آلمان تهیه شده‌اند [5].

۲-۱- دستگاه‌ها

آزمایش انتقال با استفاده از یک سل شیشه‌ای غشاء مایع توده‌ای مطابق شکل (۲) که فازهای خوراک و گیرنده توسط یک سیلندر شیشه‌ای با اندازه‌های یکسان جدا می‌شوند و پائین سیلندر به اندازه

۱- مقدمه

طی سه دهه گذشته نگرانی‌های حاصل از آلودگی محیط‌های آبی مختلف در سراسر جهان به وسیله لکه‌های نفتی افزایش یافته است. تخلیه بیش از حد مجاز در مسیرهای آبی توسط به وسیله حوادث مختلف، به دلیل سمی بودن آن حتی در غلظت‌های کم و گرایش به انباشتگی زیستی در طبیعت، بسیار خطرناک است [1].

مقدار حد مجاز وجود نفت در آب دریاها و اقیانوس‌ها $10^{-3} \times 1/3$ گرم در یک لیتر آب توسط مؤسسه غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد اعلام شده است. وجود بیش از حد مجاز در آب دریاها می‌تواند اثراتی مانند بیماری‌های معده و روده، آسیب به کلیه و کبد، بیماری‌های پوستی و حالت تهوع برای آبزیان داشته باشد.

اهمیت غشاهای مایع در فرآیندهای جداسازی به دلیل موارد زیر می‌باشد:

- ✓ گزینش پذیری جداسازی بسیار بالا در حذف یک ماده خاص؛
- ✓ انتقال جرم سریع به وسیله حامل غشاء؛
- ✓ تغلیظ بالای محصولات به دلیل مکانیزم انتقال تسهیل کننده؛
- ✓ هزینه‌های نسبتاً کم عملیاتی [1,2].

روش‌های جداسازی گوناگون، محدودیت‌های خاصی دارد، مانند: تأثیر کم، شرایط عملیاتی حساس، هزینه‌های بالای عملیاتی و مصرف انرژی زیاد. به همین خاطر، روش غشاء مایع توجه بسیاری از پژوهشگران در جداسازی، حذف و تغلیظ را به خود جلب کرده است. روش غشاء مایع، انجام فرآیندهای استخراج و پس از آن عاری کردن در یک مرحله است. یک فاز میانی بین دو فاز خوراک و گیرنده (عاری کننده) است که ماده جدا شونده توسط حامل غشاء منتقل می‌شود [3].

از میان انواع مختلف غشاهای مایع، غشاء مایع توده‌ای برای حذف لکه‌های نفتی از سطح دریا بهترین انتخاب می‌باشد. غشاء مایع توده‌ای می‌تواند با پیکربندی‌های گوناگون با توجه به نوع استفاده، به کار رود که بیشتر شامل سه بخش است: ۱- فاز خوراک (F)؛ ۲- فاز غشاء (M)؛ ۳- فاز گیرنده (S) [4].

مراحل انتقال لکه های نفتی از میان غشاء مایع توده‌ای بدین شرح است:

- نفوذ لکه های نفتی از توده خوراک به سطح مشترک خوراک و غشاء
- واکنش در سطح مشترک بین خوراک و غشاء و تشکیل کمپلکس (لگاند حامل)
- نفوذ کمپلکس واکنش مرحله ۲ از سطح مشترک به درون توده غشاء
- نفوذ کمپلکس محصول واکنش فوق از توده غشاء به سطح مشترک غشاء و گیرنده
- واکنش در سطح مشترک غشاء و گیرنده و تحویل لکه های نفتی به عاری کننده
- نفوذ لکه های نفتی به درون توده مایع گیرنده.

۳- بررسی پارامترهای مهم بر عملکرد بهینه غشاء مایع توده-

ای در انتقال لکه های نفتی

برای به دست آوردن شرایطی که حداکثر انتقال لکه های نفتی در حداقل زمان انجام شود، از روش تغییر یک متغیر در زمان استفاده می‌شود. در این روش برای بررسی هر پارامتر کلیه عوامل مؤثر بر میزان انتقال لکه های نفتی از میان غشاء مایع توده‌ای مورد مطالعه به غیر از یک عامل، ثابت نگه داشته می‌شود و سپس با تغییر مقدار یا نوع ماده این عامل، اثرات آن بر میزان جداسازی بررسی شده و مناسب‌ترین شرایط برای حداکثر انتقال، به عنوان شرایط بهینه انتخاب می‌شود. کلیه آزمایشات مطابق روش توضیح داده شده در قسمت (۳-۳) انجام شده است.

۳-۱- بررسی تأثیر ماهیت غشاء آلی

طبق مطالعات انجام شده از میان لیگاندهای ماکروسیکل کروان اتر به عنوان حامل در فاز غشاء مایع توده‌ای برای انتقال لکه های نفتی، تترا آزا - ۱۴ - کروان - ۴ (TA14c4) به همراه تعدیل کننده اولئیک اسید (OA)، دارای بهترین درصد جداسازی لکه های نفتی شناخته شده است.

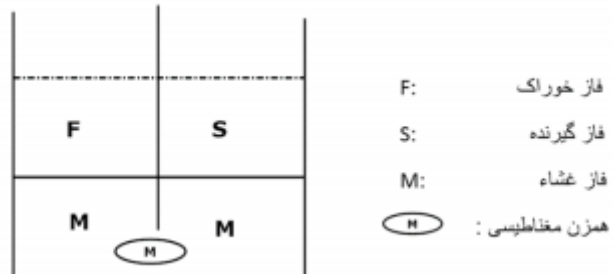
همچنین دی - (۲- اتیل هگزیل) فیفوریک اسید (D₂EhpA) به همراه تعدیل کننده نفت سفید از جمله حامل‌های بسیار مطرح با استفاده از غشاء مایع توده‌ای می‌باشد. جهت بررسی تأثیر این دو نوع ترکیبات در فاز آلی غشاء، آزمایشاتی تحت شرایط زیر به مدت ۱۲۰ دقیقه انجام می‌شود.

فاز منبع: محلول CuSO₄.5H₂O و HCl به غلظت ۳-۱۰ مول بر لیتر در PH=۴.

فاز غشاء آزمایش :

(۱) آزمایش ۱۰٪ حجمی D₂EhpA

۰/۸ سانتی‌متر برای جاری ماندن فاز آلی غشاء در زیر دو فاز دیگر، بالاتر از انتهای سل است. برای اندازه گیری در فاز منبع از طیف سنج جذب اتمی ECIL برای اندازه گیری PH فازها از PH متر Janay و همچنین از همزن مغناطیسی Rheidol برای هم زدن فاز غشاء و دستگاه التراسونیک PARSONIC 11S برای پخش همگن نانوذرات بر روی غشاء آلی استفاده شد.



شکل ۲: شمای سل غشاء از توده‌ای استفاده شده در این آزمایش

۲-۲- روش کار

برای انجام آزمایشات بررسی پارامترهای عملیاتی و تعیین شرایط بهینه، ۵ میلی‌لیتر از محلول فاز منبع، ۲۰ میلی از محلول فاز غشاء و ۱۰ میلی‌لیتر از محلول فاز گیرنده (که هر یک از این محلول‌ها بنا بر نوع آزمایش پارامتر مورد مطالعه تفاوت دارد و در قسمت ۳ برای هر آزمایش تعیین شده است) در سل آزمایشی مطابق شکل (۲) ریخته و مدت زمان کافی می‌دهیم تا انتقال لکه های نفتی از فاز منبع به غشاء و تشکیل کمپلکس با لیگاند و سپس تحویل لیگاند به فاز گیرنده، انجام شود.

در هر آزمایش، غلظت لکه های نفتی در فاز منبع، قبل از آزمایش و پس از آن توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی اندازه گیری شده و طبق معادله زیر درصد جداسازی محاسبه می‌شود:

(۱)

(II) مس جدا

منبع فاز دو (II) مس اولیه غلظت - منبع فاز دو (II) مس نهایی غلظت

منبع فاز در (II) مس اولیه غلظت

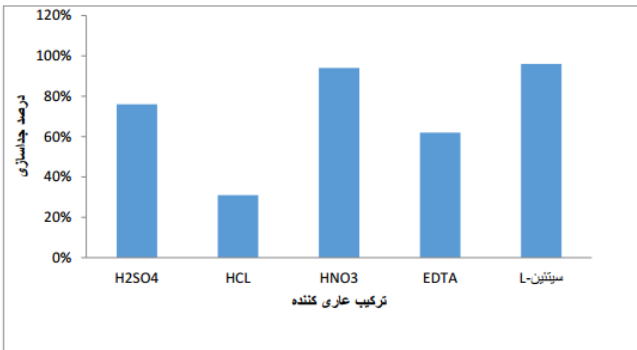
(۲)

$$\% \text{removal of } cu(II) = \frac{[Cu]_{O,F} - Cu_{f,F}}{Cu_{O,F}} \times 100$$

همه آزمایشات در محیط آزمایشگاه (دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و ۲ یا ۳ بار انجام شد که انحراف از حالت استاندارد بین نمونه‌های تکراری و در طول آزمایش کمتر از ۲٪ بود.

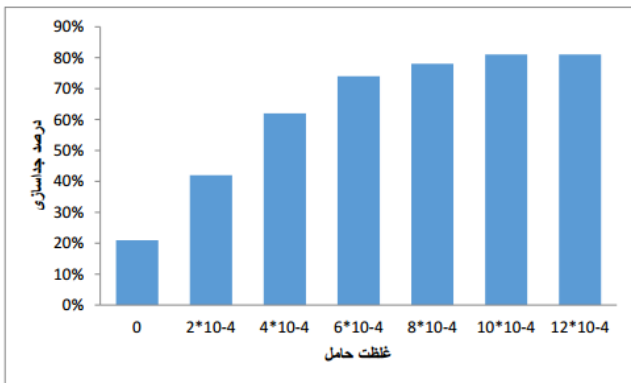
۳-۲- مراحل انتقال لکه های نفتی از میان غشاء مایع توده‌ای

غلظت 0.3×10^{-3} مول بر لیتر در حلال ۱ و ۲ - دی کلرواتان. فاز گیرنده: انواع ترکیبات H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , $EDTA$ و $Cyst-L$ در هر آزمایش به غلظت 0.1 مول بر لیتر.



نمودار ۲: بررسی نتایج آزمایش تأثیر ماهیت فاز گیرنده بر میزان انتقال لکه های نفتی

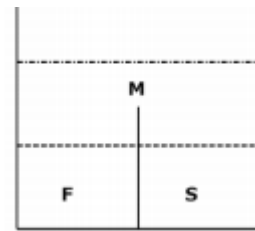
۳-۳- بررسی تأثیر غلظت تترا آزا - ۱۴ - کروان - ۴ به عنوان حامل و اولئیک اسید به عنوان تعدیل کننده در فاز غشاء آلی طبق آزمایش انجام شده، برای تعیین بهترین ترکیب حامل و تعدیل کننده در فاز غشاء و انتخاب تترا آزا - ۱۴ - کروان - ۴ به عنوان حامل و اولئیک اسید به عنوان تعدیل کننده، جهت بررسی تأثیر غلظت‌ها آزمایشاتی تحت شرایط زیر به مدت ۱۲۰ دقیقه انجام می‌شود: فاز منبع: محلول $CuSO_4.5H_2O$ و HCL به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر در $PH=4$. فاز غشاء: $TA14C4$ و OA به غلظت‌های متفاوت در حلال ۱ و ۲ - دی کلرواتان. فاز گیرنده: محلول $Cyst-L$ به غلظت 0.1 مول بر لیتر.



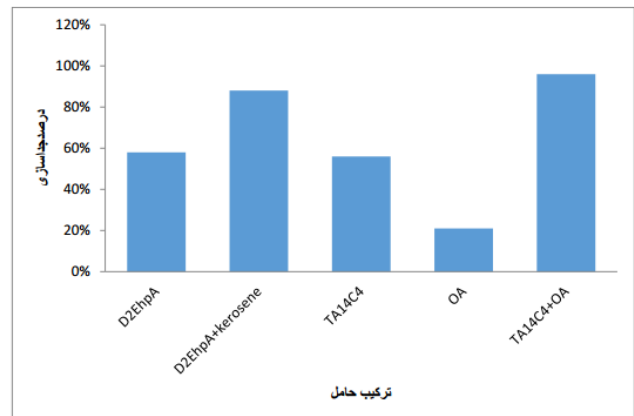
نمودار ۳: بررسی نتایج تأثیر غلظت تترا آزا - ۱۴ - کروان - ۴ به عنوان حامل

۲) آزمایش 10% حجمی D_2EhpA , $kerosene$ (۳) آزمایش $TA14c4$ به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر (۴) آزمایش $TA14C4$ به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر و OA به غلظت 3% مول بر لیتر که در هر آزمایش با حلال ۱ و ۲ - دی کلرواتان به حجم می‌رسند.

دلیل سبک تر بودن فاز غشاء در آزمایش‌های ۱ و ۲، غشاء آبی روی دو فاز خوراک و گیرنده قرار می‌گیرد. در شکل (۳) شمای این سل آزمایشی نشان داده است. فاز گیرنده: محلول $Cyst-L$ به غلظت 0.1 مول بر لیتر



شکل ۳: شمای سل آزمایشی با عامل‌های D_2EhpA و $kerosene$



نمودار ۱: بررسی نتایج تأثیر ماهیت فاز غشاء بر میزان جداسازی

۳-۲- بررسی تأثیر ماهیت فاز گیرنده

طبق مطالعات انجام شده از میان ترکیبات آبی (اسیدها) به عنوان عاری کننده در فاز گیرنده غشاء مایع توده‌ای ترکیبات مورد آزمایش در این مقاله، از جمله ترکیبات کارآمد در گرفتن کمپلکس تشکیل شده لکه های نفتی با لیگاند حامل، می‌باشند. جهت بررسی تأثیر این ترکیبات در فاز گیرنده، آزمایشاتی تحت شرایط زیر به مدت ۱۲۰ دقیقه انجام می‌شود:

فاز منبع: محلول $CuSO_4.5H_2O$ و HCL به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر در $PH=4$.

فاز غشاء: محلول $TA14C4$ به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر و OA به

فاز منبع: محلول $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ و HCL به غلظت‌های 10^{-3} مول بر لیتر در PH های مختلف.

فاز غشاء: TA14C4 به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر و OA به غلظت $0/03$ مول بر لیتر در حلال ۱ و ۲- دی کلرواتان.
فاز گیرنده: محلول Cyst-L به غلظت $0/1$ مول بر لیتر.

۲- بررسی PH فاز غشاء

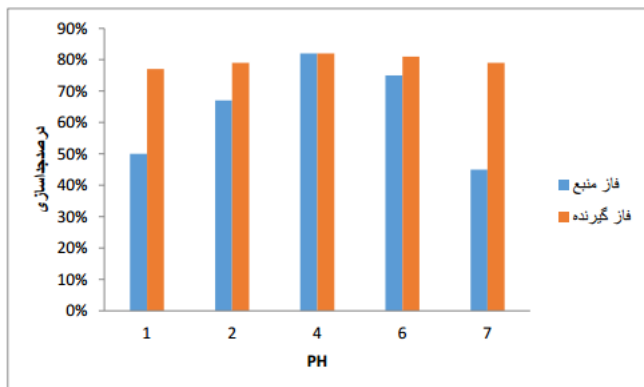
چون فاز غشاء یک فاز آلی است امکان تغییر PH آن وجود ندارد و حتی اگر یک عدد PH آن را بالا و پایین برد تفاوتی در درصد جداسازی و عملکرد غشاء نخواهد داشت.

۳- برای PH فاز گیرنده

فاز منبع: محلول $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ و HCL به غلظت‌های 10^{-3} مول بر لیتر در $\text{PH}=4$.

فاز غشاء: TA14C4 به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر و OA به غلظت $0/03$ مول بر لیتر در حلال ۱ و ۲- دی کلرواتان.

فاز گیرنده: محلول Cyst-L به غلظت $0/1$ مول بر لیتر با PH های مختلف برای تعیین PH های مختلف از ۲ قطر اسید قوی یا باز قوی استفاده می‌شود.



نمودار ۶: نتایج بررسی تاثیر PH

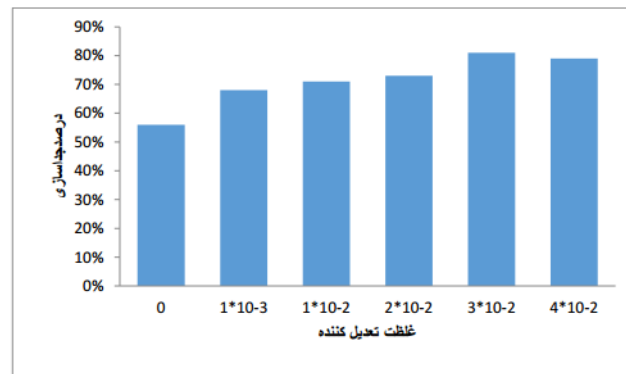
۳-۶ بررسی تاثیر زمان آزمایش

جهت بررسی تاثیر زمان آزمایش تحت شرایط زیر، آزمایشاتی در زمان‌های مختلف انجام می‌شود.

فاز منبع: محلول $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ و HCL به غلظت‌های 10^{-3} مول بر لیتر در $\text{PH}=4$.

فاز غشاء TA14C4 به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر و OA به غلظت $0/03$ مول بر لیتر در حلال ۱ و ۲- دی کلرواتان.

فاز گیرنده: محلول Cyst-L به غلظت $0/1$ مول بر لیتر.



نمودار ۴: بررسی نتایج تاثیر غلظت اولئیک اسید به عنوان تعدیل کننده در فاز غشاء آلی

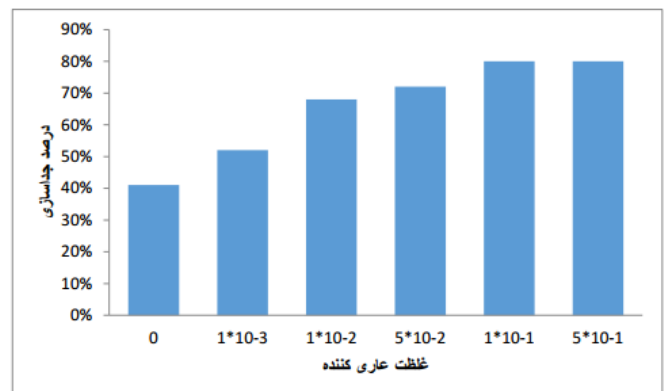
۳-۴ بررسی تاثیر غلظت L - سیستین به عنوان عاری کننده در فاز گیرنده

طبق آزمایش انجام شده برای تعیین ترکیب عاری کننده در فاز گیرنده و انتخاب L - سیستین به عنوان عاری کننده مناسب‌تر، جهت بررسی تاثیر غلظت آن، آزمایشاتی تحت شرایط زیر در زمان ۱۲۰ دقیقه انجام می‌شود:

فاز منبع: محلول $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و HCL به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر در $\text{PH}=4$.

فاز غشاء: TA14C4 به غلظت 10^{-3} مول بر لیتر و OA به غلظت $0/03$ مول بر لیتر در حلال ۱ و ۲- دی کلرواتان.

فاز گیرنده: محلول Cyst-L به غلظت‌های متفاوت.



نمودار ۵: نتایج بررسی تاثیر غلظت L - سیستین به عنوان عاری کننده در فاز گیرنده

۳-۵ بررسی تاثیر PH فاز منبع، غشاء و گیرنده

جهت بررسی تاثیر PH های متفاوت در فاز منبع، غشاء و گیرنده، آزمایشاتی تحت شرایط زیر در زمان ۱۲۰ دقیقه انجام می‌شود:

۱- بررسی PH فاز منبع

نشده است.

۴-۲- بهینه کردن ترکیب و غلظت و PH فاز گیرنده

نفوذپذیری سیستم غشایی برای انتقال لکه های نفتی شدیداً به ماهیت و غلظت لیگاند در فاز گیرنده بستگی دارد. پنج ترکیب عاری کننده مختلف امتحان شده که از میان آنها Cyst-1 بهترین بازدهی برای انتقال لکه های نفتی از میان غشاء مایع توده‌ای را با توجه به نتایج قسمت (۳-۲) می‌باشد. این ترکیب عاری کننده با توجه به آزمایشات قسمت (۴-۳)، حداکثر لکه های نفتی منتقل شده در غلظت ۰/۱ مول بر لیتر Cyst-1 به دست آمد.

با توجه به نتایج قسمت (۵-۳) جهت بررسی تأثیر PH فاز گیرنده بر میزان بازده جداسازی، PH فاز آبی را از ۱ تا ۹ اندازه گرفتیم که تغییر محسوسی در درصد جداسازی لکه های نفتی به دست نیامد، بنابراین اندازه PH فاز گیرنده پارامتر عملیاتی مهمی نمی‌باشد.

۴-۳- بهینه کردن PH فاز خوراک

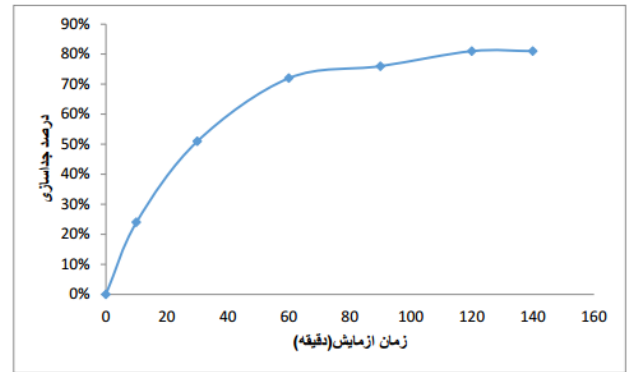
با توجه به نتایج قسمت (۳-۵) که اثر تغییر PH محلول فاز منبع بر روی کارایی انتقال لکه های نفتی را نشان می‌دهد کاملاً واضح است که انتقال لکه های نفتی تحت تأثیر PH محلول فاز منبع است. بیشترین بازدهی در PH=۴ می‌باشد. در PH کمتر کاهش درصد انتقال لکه های نفتی مشاهده می‌شود که ناشی از پروتونه شدن آزا کراون اتر در سطح مشترک غشاء و منبع است.

۴-۴- بهینه کردن زمان آزمایش

با توجه به نتایج قسمت (۶-۳) که وابستگی میزان انتقال لکه های نفتی به زمان را تحت شرایط بهینه نشان می‌دهد، استخراج لکه های نفتی از فاز منبع به فاز غشاء آلی خیلی سریع اتفاق می‌افتد، به طوری که استخراج بعد از ۴۰ دقیقه کامل می‌شود، بقیه مراحل انتقال لکه های نفتی از فاز غشاء به فاز گیرنده زمان بیشتری را نیاز دارد، بعد از ۱۲۰ دقیقه ۸۲٪ از کل لکه های نفتی از منبع پالایش شده است.

منابع

- [1]. R. Preborn, P. Terawatt, P. Uri, "Mass transfer modeling of membrane carrier system for extraction of Cen (IV) from sulfate media using hollow fiber supported liquid membrane", Korean journal of chemical engineering 23(1) (2013). 85-92.
- [2]. Antony, Z., T.A. Kumiawm, "low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water" PP. 219-243, 2014.
- [3]. F.Xie, D. Dreisinger, "studies on solvent extraction of copper and cyanide from waste cyanide solution", J. Hazard. Mater. 169 (2010). 333-338.
- [4] D.Zoi, L.Zhang "cellulose/chitin beads for adsorption of heavy metals in aqueous solution"



نمودار ۷: نتایج بررسی تأثیر زمان آزمایش

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- بهینه کردن ترکیبها و غلظت‌ها و PH فاز غشاء

بازدهی انتقال لکه های نفتی به طور معنی‌داری وابسته به ماهیت لیگاندی است که به عنوان حامل عمل می‌کند و با لکه های نفتی - کمپلکس تشکیل داده، آن را از فاز خوراک گرفته و به فاز گیرنده تحویل می‌دهد. برای بررسی این عامل دو لیگاند بسیار مهم و کارآمد در قسمت (۱-۳) آزمایش شدند و با توجه به نتایج، حامل TA14C4 بازدهی بیشتری دارد که دلیل آن تشکیل کمپلکس‌های بیشتر و استخراج کامل‌تر لکه های نفتی از فاز منبع به غشاء است که در ادامه بیشتر توضیح داده می‌شود.

TA14C4 به تنهایی یک حامل مناسب برای انتقال لکه های نفتی با درصد جداسازی ۵۶٪ از طریق این سیستم غشایی، نمی‌باشد که این نتیجه ناشی از حلالیت قابل ملاحظه لیگاند و به ویژه کمپلکس مس در فازهای آبی است که می‌توان با افزودن یک اسید چرب با زنجیره بلند به فاز آلی غشاء، بر این مشکل غلبه کرد و همچنین افزودن این اسیدآمین به چرب و سنگین باعث چگال‌تر شدن فاز غشاء و در نتیجه به حداقل رساندن اختلاط احتمالی غشاء با فازهای دیگر می‌شود که در افزایش راندمان جداسازی تا ۸۲٪ مؤثر است.

با حضور OA به تنهایی فقط ۲۱٪ لکه های نفتی را انتقال داده است که این نتیجه عمل شراکتی دو جزء را به عنوان حامل تأیید می‌کند. وجود تعدادی برهمکنش پروتون - دهنده‌گی، پروتون - گیرندگی بین OA و TA14C4 می‌باشد که این امر موجب افزایش لیپوفیلیکی سیستم حامل و همچنین باعث تسهیل انتقال کاتیون از میان غشای مایع می‌شود. این ترکیب غشاء با توجه به آزمایشات قسمت (۳-۳) که با ثابت نگه داشتن غلظت یکی از اجزاء و تغییر غلظت دیگری انجام شده است، حداکثر لکه های نفتی منتقل شده با حامل TA14C4 در غلظت ۱۰^{-۳} مول بر لیتر و OA در غلظت ۰/۰۳ مول بر لیتر به دست آمد. در غشاء، PH فاز آلی قابل تغییر نیست و حتی با کاهش و افزایش یک عدد از PH خنثی که در عملکرد لیگاندها اختلال ایجاد نکند، تغییر محسوسی در راندمان جداسازی مشاهده

water research”, 38: 2643-2650, 2010.

[5]. V.Sameera, CH. Naga deepthi, G, Srinu Babu, “*role of biosorption in environmental cleanup*” J Microbial biochem technol R1:001. Doi: 10.4172/1948-5948R1, 2011.

[6]. H. Yong, R.Xu, “*hybrid surfactant-templated mesoporous silica formed in ethanol and its application for heavy metal removal*” 152 (2015) 690-698