



DOI: 10.22034/ijche.2022.352891.1226



DOR: 20.1001.1.17355400.1402.22.129.5.0

This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

## Investigation of Changes in Hydrophilicity of Emulsion Porous Polymer Poly (Styrene-Divinylbenzene) Functionalizing

A. R. Redaei<sup>1\*</sup>, H. Izadi Vasfi<sup>2</sup>, M. Shahbazi<sup>3</sup>

1- Assistant Professor of Polymer & Chemical Engineering, Yazd University

2- Assistant Professor of Chemical Engineering, Islamic Azad University, Shahreza Branch, Shahreza, Iran

3- M. Sc. in Polymer & Chemical Engineering, Yazd University

Email: drredai@yazd.ac.ir

### Abstract

*Emulsifying porous polymers have many pharmaceutical and industrial applications and are considered as new materials for separation. In this research, first the emulsion synthesis of poly (styrene-divinylbenzene) was performed and then the effect of increasing the functional group of sodium styrene sulfonic acid on the hydrophilicity of the emulsion porous polymer poly (styrene-divinylbenzene) was investigated. Scanning Electron Microscope to study surface morphology and determine the size distribution of surface cavities and Energy Dispersive X-ray analysis test to investigate the presence of sulfur and sodium atoms in the surface of functionalized porous polymer and contact angle measuring device with Coupled-Camera Device (CCD) and with software for measuring the contact angle of droplet contact with the surface to evaluate the hydrophilicity of the surface of polymerized emulsion polymer poly (styrene-divinylbenzene) were used. Increasing sodium styrene sulfonic acid has no effect on the shape and size of the cavities formed, but the hydrophilicity of the samples increased with increasing sulfone factor in the aqueous phase and the appropriate percentage of sodium styrene sulfonic acid in the aqueous phase was about 2%. With an increase of more than 2%, a slight increase in the hydrophilicity of the surface of the emulsion porous polymer poly (styrene-divinylbenzene) was activated and the graph became almost flat with slope changes insignificant.*

Received: 22 July 2022

Accepted: 27 October 2022

Page Number: 68-77

### Keywords:

Porous Polymers,  
Emulsion Polymer,  
Poly (Styrene-Divinylbenzene),  
Sodium Styrene Sulfonic Acid,  
Sulfone Functional Group

### Please Cite this Article Using:

Redaei, A. R., Izadi Vasfi, H., Shahbazi, M. (2023). Investigation of Changes in Hydrophilicity of Emulsion Porous Polymer Poly (Styrene-Divinylbenzene) Functionalizing. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 22(129), 68-77, [In Persian].



## بررسی تغییرات میزان آب دوستی سطح بسیار متخلخل امولسیون پلی (استایرن - دی وینیل) عامل دار شده

علیرضا ردایی<sup>۱\*</sup>، حسین ایزدی وصفی<sup>۲</sup>، مینا شهبازی<sup>۳</sup>

۱- استادیار مهندسی شیمی و پلیمر، دانشگاه یزد

۲- استادیار مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، شهرضا، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی پلیمر، دانشگاه یزد

پیام نگار: [drredaei@yazd.ac.ir](mailto:drredaei@yazd.ac.ir)

### چکیده

بسیارهای متخلخل امولسیون عامل دار کاربردهای دارویی و صنعتی متعددی دارند و به عنوان مواد نوین برای جداسازی مورد توجه هستند. در این تحقیق ابتدا سنتز امولسیون پلی (استایرن - دی وینیل بنزن) انجام شد، سپس اثر افزایش گروه عاملی سدیم استایرن سولفونیک اسید بر میزان آب دوستی سطح بسیار متخلخل امولسیون پلی (استایرن - دی وینیل بنزن) بررسی شد. از میکروسکوپ الکترونی روبشی برای بررسی ریخت شناسی سطح و تعیین میزان توزیع اندازه قطر حفره های سطحی و آزمون طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس برای بررسی وجود اتم های گوگرد و سدیم در سطح بسیار متخلخل عامل دار شده و از دستگاه اندازه گیری زاویه تماس با قابلیت عکس برداری از قطره و دارای نرم افزار سنجش زاویه تماس قطره با سطح برای بررسی میزان آب دوستی سطح بسیار متخلخل امولسیون پلی (استایرن - دی وینیل بنزن) عامل دار شده، استفاده شد. افزایش سدیم استایرن سولفونیک اسید در شکل و اندازه حفره های تشکیل شده تأثیری ندارد؛ ولی میزان آب دوستی نمونه ها با افزایش عامل سولفونه در فاز آبی افزایش یافت و مقدار مناسب درصد سدیم استایرن سولفونیک اسید در فاز آبی به عنوان عامل سولفونه در حدود ۲ درصد بود و با افزایش بیشتر از ۲ درصد تغییرات افزایش کمی در میزان آب دوستی سطح بسیار متخلخل امولسیون پلی (استایرن - دی وینیل بنزن) عامل دار شده، به وجود آمد و تقریباً نمودار تغییرات خطی با شیب ناچیز شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۵

شماره صفحات: ۶۸ تا ۷۷

### کلیدواژه ها:

بسیارهای متخلخل،

بسیار امولسیون،

پلی (استایرن - دی وینیل بنزن)،

سدیم استایرن سولفونیک اسید،

گروه عامل دار سولفونه

\* یزد، دانشگاه یزد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی و پلیمر

### استناد به مقاله:

ردایی، علیرضا، ایزدی وصوی حسین، و شهبازی، مینا. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات میزان آب دوستی سطح بسیار متخلخل امولسیون پلی (استایرن دی وینیل) عامل دار شده. نشریه مهندسی شیمی ایران، ۲۲(۱۲۹)، ۶۸-۷۷.

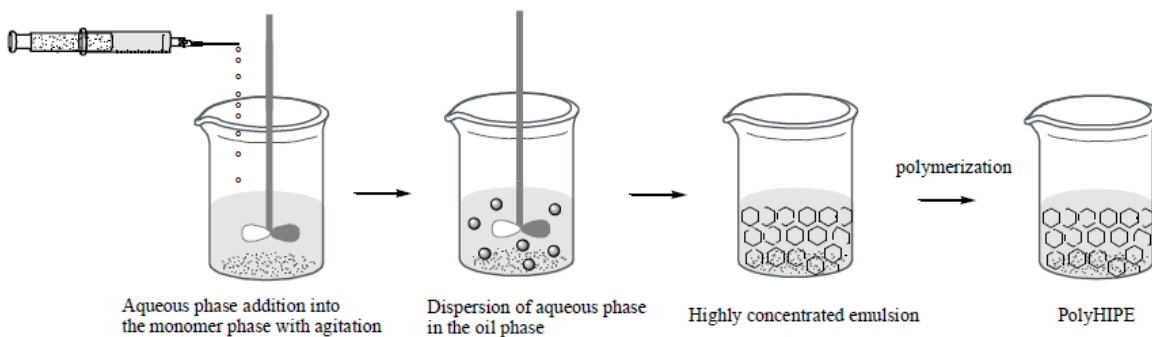
### ۱. مقدمه

امولسیون با درصد بالای فاز درونی<sup>۱</sup> با مخلوط شدن دو مایع امتزاج ناپذیر در حضور یک امولسیفایر تشکیل می‌شود؛ اگر از مونومرها در تهیه امولسیون‌ها استفاده شود در این حالت یک PolyHIPE حاصل می‌شود. شکل (۱) فرایند تشکیل یک PolyHIPE را به منظور ایجاد یک بسیار متخلخل نشان می‌دهد. همواره یکی از مایعات، محلول آبی و دیگری آب‌گریز است. فاز اصلی و پیوسته معمولاً به آرامی تحت همزن ثابت به محلول فاز فرعی و پراکنده اضافه می‌شود [۱-۵].

### ۲. گروه عاملی

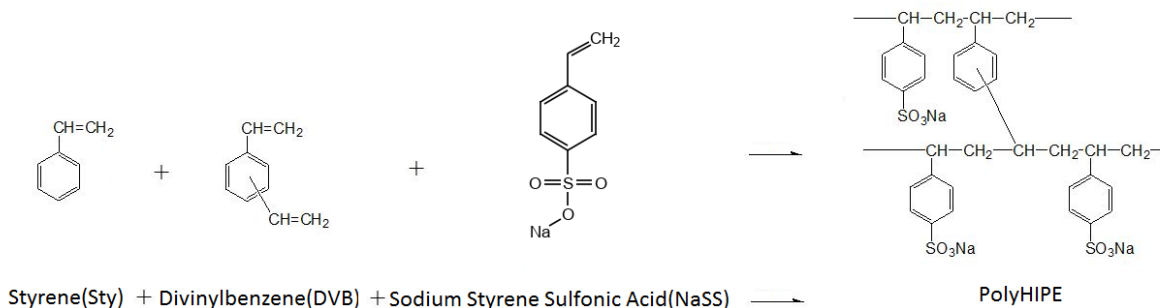
با توجه به برتری‌های بسیارهای متخلخل امولسیونی عامل‌دار، این

مواد به‌عنوان واکنشگر، کاتالیزور و بستری برای جداسازی کاربرد وسیعی دارند. از سویی بسیارهای متخلخل امولسیونی عامل‌دار، کاربردهای دارویی و صنعتی متعددی دارند و به‌عنوان مواد نوین برای جداسازی مورد توجه هستند. در یک مخلوط پیچیده، بسیارهای متخلخل امولسیونی عامل‌دار می‌توانند با پیوند گزینشی اسباب جداسازی ترکیبات مورد نظر را فراهم آورند. سپس به‌روش‌های ساده می‌توان ترکیبات مورد نظر را از آن‌ها جدا کرد. یکی از راه‌های ایجاد گروه عاملی سولفونیک اسید که می‌توان با استفاده مستقیم از سدیم استایرن سولفونیک اسید که در فاز آبی قابل حل است، حین فرایند پلیمریزاسیون و ایجاد بسیار متخلخل به‌روش امولسیونی به‌صورت یک مرحله‌ای انجام شود. واکنش سنتز این PolyHIPE در شکل (۲) ارائه شده است [۴].



شکل ۱. فرایند تشکیل PolyHIPE به‌منظور ایجاد یک بسیار متخلخل [۲].

Figure 1. PolyHIPE formation process in order to create a porous polymer [2].



شکل ۲. سنتز PolyHIPE دارای گروه عامل‌دار [۴].

Figure 2. PolyHIPE synthesis with a functional group [4].

### ۳. تاریخچه تحقیقات

آب، با عامل دار کردن PolyHIPE انجام دادند. در همان سال یین و همکارانش [۱۹] بر روی قراردادن جایگاه‌های فعال درون ساختار شبکه متخلخل در فاز امولسیونی تحقیق کردند. در سال ۲۰۱۶ میلادی ساچین هن [۲۰] نیز مقاله‌ای در مورد اثر پروژن‌ها در بسپارهای متخلخل منتشر کرد. در سال ۲۰۱۷ میلادی جتولاپا و همکارانش [۲۱] اثر هموژناسیون را بر روی اندازه ذرات و پایداری فیزیکی امولسیون‌ها بررسی کردند. گنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۸ میلادی بر روی کاربرد PolyHIPE ها در تصفیه آب‌های آلوده پژوهشی منتشر کردند [۲۲] و در سال ۲۰۱۹ میلادی وایتلی و همکارانش بر روی جنبه‌های کاربرد زیست‌شناختی PolyHIPE ها فعالیت کردند [۲۳] و در همان سال روهام و همکارانش بر روی خواص مکانیکی PolyHIPE ها تحقیق کردند [۲۴]. در سال ۲۰۲۰ میلادی موت و همکارانش چندسازه‌های PolyHIPE را معرفی کردند [۲۵] و در سال ۲۰۲۱ میلادی خواص هیدرودینامیکی PolyHIPE ها را مراول جک و همکارانش بررسی کردند [۲۶] و از این سال به بعد تحقیقات بر روی سنتز PolyHIPE هایی مناسب از بسپارهای مختلف و کنترل اندازه و توزیع حفره‌ها به همراه عامل دار کردن شیمیایی آن‌ها متمرکز و مورد توجه بوده است. فعالیت‌های پژوهشی فراوانی پیرامون بسپارهای متخلخل در حال انجام و موضوعی در حال گسترش است.

در تحقیق حاضر سنتز امولسیونی پلی (استایرن-دی‌وینیل بنزن) و سپس اثر افزایش گروه عاملی سدیم استایرن سولفونیک اسید بر میزان آب دوستی سطح بسیار متخلخل امولسیونی برای اولین بار بررسی شد، هم‌چنین هدف این تحقیق بررسی تغییرات میزان آب دوستی PolyHIPE عامل دار شده بود.

### ۴. تجربی

#### ۴-۱ مواد

در این پژوهش از مونومرهای استایرن و دی‌وینیل بنزن شرکت مرک و آزوبیس ایزو بوتیرو نیتریل شرکت فلوکا به‌عنوان ماده آغازگر و سوربیتان مونولیت - Span80 و سوربیتان مونولیت - Tween80 شرکت مرک به‌عنوان مواد امولسیفایر در فاز روغنی و از نمک کلرید سدیم مرک و آب مقطر دوبار تقطیر نیز در تهیه فاز آبی استفاده شد. متانول و استون مرک نیز به‌عنوان حلال‌های

در سال ۱۹۹۷ میلادی کوربانوآ و همکارانش [۶] بر روی عامل دار کردن پلی‌استایرن و افزایش قابلیت چسبندگی پژوهشی انجام دادند. در سال ۲۰۰۲ میلادی الکساندر دیسفورگز و همکارانش [۷] نیز بر روی سنتز فوم‌های میکروسلولی از یک HIPE کار کردند. در سال ۲۰۰۴ میلادی کامرون و همکارانش [۸] بر روی ریخت‌شناسی سطح فوم‌های جامد متخلخل و مواد تعلیق‌کننده، تحقیق کردند و در همان سال سرگینکو و همکارانش [۹] نیز بر روی اثر مواد پروژن مقاله‌ای نوشتند. در سال ۲۰۰۵ میلادی، کرانجیک و همکارانش [۱۰]، تحقیقی بر روی تهیه PolyHIPE و کاربردهای آن‌ها به‌عنوان جداساز انجام دادند. در سال ۲۰۰۹ میلادی نیز محمدرضا مقبلی و همکارانش [۱۱] بر روی مونولیت‌های قالب امولسیونی سلول باز کار کردند. آن‌ها تأثیر شرایط تهیه امولسیون بر روی خواص و ساختار میکروفوم را بررسی کردند. در سال ۲۰۱۳ میلادی مآو و همکارانش [۱۲]، فوم‌های PolyHIPE ماکروحفره را از راه پلیمریزاسیون رادیکالی در دمای اتاق تهیه کردند. در سال ۲۰۱۴ میلادی ویسواناتان و همکارانش [۱۳] بر روی سطح سه‌بعدی عامل دار شده فوم‌های بسپاری قالب امولسیونی پژوهش‌هایی انجام دادند. آن‌ها از کوبسپارهای توده‌ای دارای یک رشته آلی چربی دوست و یک سر آب دوست، به‌عنوان سورفکتانت برای قالب HIPE استفاده کردند. در سال ۲۰۱۴ میلادی میکائیل تبو و همکارانش [۱۴] مطالعاتی بر روی PolyHIPE ها به‌منظور استفاده در جداسازی ترکیبات انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که PolyHIPE برای گستره وسیعی از کاربردهای جداسازی به‌علت خواص ذاتی قابل کنترل مانند ریخت‌شناسی حفره، آسان بودن عامل دار کردن شیمیایی و نفوذپذیری بالا مفید است. در سال ۲۰۱۵ میلادی جینگ و همکارانش [۱۵] بر روی سنتز و افزایش مقاومت مکانیکی PolyHIPE کار کردند. در سال ۲۰۱۵ میلادی لو و همکارانش [۱۶] بر روی بسپاری کردن بین سطحی یک مرحله‌ای PolyHIPE با سطح عامل دار پژوهش‌هایی انجام دادند. در سال ۲۰۱۶ میلادی زانگ و همکارانش [۱۷] اثر رقابتی نانوذرات و سورفکتانت غیر یونی را بر ساختار حفره مواد ماکروحفره PolyHIPE ررسی کردند و بر روی فوم فوق چربی دوست PolyHIPE کار کردند. در سال ۲۰۱۶ میلادی هاس و همکارانش [۱۸] تحقیقی بر روی جداسازی فلزهای سنگین

شست و شو و دهنده PolyHIPE خشک شده، به کار رفت. سدیم استایرن سولفونیک اسید شرکت سیگما آلدردیج نیز به عنوان ایجادکننده گروه عاملی سولفونه استفاده شد.

#### ۴-۲ دستگاهها

برای بررسی قطر حفره و توزیع حفره‌ها میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل AIS2100، ساخت شرکت SERONTE CHNOLOGIES کشور کره جنوبی با دستگاه پوشش‌دهی مدل SC7620 ساخت شرکت QUORUMTECHNOLOGIES-EMITECH کشور انگلستان در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی امیرکبیر استفاده شد.

آزمون طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس<sup>۱</sup> برای بررسی وجود اتم‌های گوگرد و سدیم در سطح بسیار متخلخل عامل‌دار شده با دستگاه مدل TESCAN-Vega3، ساخت کمپانی TESCAN جمهوری چک در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شیراز انجام شد.

از دستگاه اندازه‌گیری زاویه تماس مجهز به دوربین Coupled-Camera Devise (CCD) با قابلیت عکس‌برداری از قطره و دارای نرم‌افزار سنجش زاویه تماس قطره با سطح مورد نظر برای بررسی میزان آب دوستی با دستگاه CA-ES10، ساخت شرکت از دیاد برداشت فارس و در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان، استفاده شد.

#### ۴-۳ روش‌ها

در ابتدا مواد تشکیل‌دهنده فاز روغنی- شامل مونومرهای استایرن و دی‌وینیل بنزن، آغازگر ایزوبیس ایزو بوتیرو نیتریل و امولسیفایر Span80 و Tween80- به وسیله ترازو اندازه‌گیری و در یک بشر بر روی همزن مگنت‌دار به مدت ۱۵ دقیقه مخلوط شد.

مواد فاز آبی که شامل آب مقطر و نمک و سدیم استایرن سولفونیک اسید به عنوان ماده ایجادکننده گروه عاملی سولفونه بود، در یک بشر کوچک با هم مخلوط شد و بعد از ۱۵ دقیقه بشر محتوی فاز روغنی از روی همزن مغناطیسی برداشته و زیر همزن برقی پایه ثابت قرار داده شد. همزن با سرعت ۴۰۰ rpm شروع به چرخش کرد و فاز آبی به صورت قطره‌قطره با سرعت کم به فاز روغنی اضافه شد و طی ۳۰ دقیقه با هم مخلوط شدند، سپس به مدت ۲ دقیقه با استفاده از

دستگاه همزن‌نایزر (همگن‌ساز) فرایند شکل‌گیری امولسیون تکمیل شد. سپس امولسیون به لوله آزمایش درب‌دار منتقل شد و به مدت ۲۴ ساعت در حمام آب با دمای ۷۰°C قرار گرفت و پلیمریزاسیون و تشکیل PolyHIPE انجام شد. در ادامه PolyHIPE از لوله خارج شد و در آن با دمای ۸۰°C به مدت ۸ ساعت قرار داده شد تا خشک شود. بعد از آن برای خارج‌شدن مونومرهای باقی‌مانده و امولسیفایر از نمونه، شست‌وشوی نمونه طی سه مرحله با آب، متانول و استون انجام شد و در پایان آن با دمای ۸۰°C به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و کاملاً خشک شد.

#### ۴-۴ مقادیر مختلف ایجادکننده گروه عاملی سولفونه

نمونه‌هایی با نسبت‌های مختلف سدیم استایرن سولفونیک اسید، مطابق جدول (۱) برای بررسی نوع تأثیرگذاری بر روی PolyHIPE ساخته شد. در آزمایش‌های انجام‌شده، تأثیر سدیم استایرن سولفونیک اسید با نسبت درصدهای متفاوت اضافه شده به فاز آبی بررسی شد. امولسیون حاوی ۷۵ درصد فاز آبی W75، ۲۵ درصد فاز روغنی O25 و یک درصد نمک S1 در فاز آبی بود و این مقادیر ترکیبات PolyHIPE براساس پژوهش‌های ردایی و همکارانش است [۲۷].

#### ۵. نتایج و بحث

برای مشاهده حفره‌های سطحی یک PolyHIPE تصاویر SEM مربوطه نمونه W75O25S1N0 جدول (۲) در شکل (۳) و برای درک بهتر و بررسی کمی تصاویر SEM نمودار مربوطه فراوانی اندازه قطر حفره‌ها این نمونه در شکل (۴) نشان داده شده است.

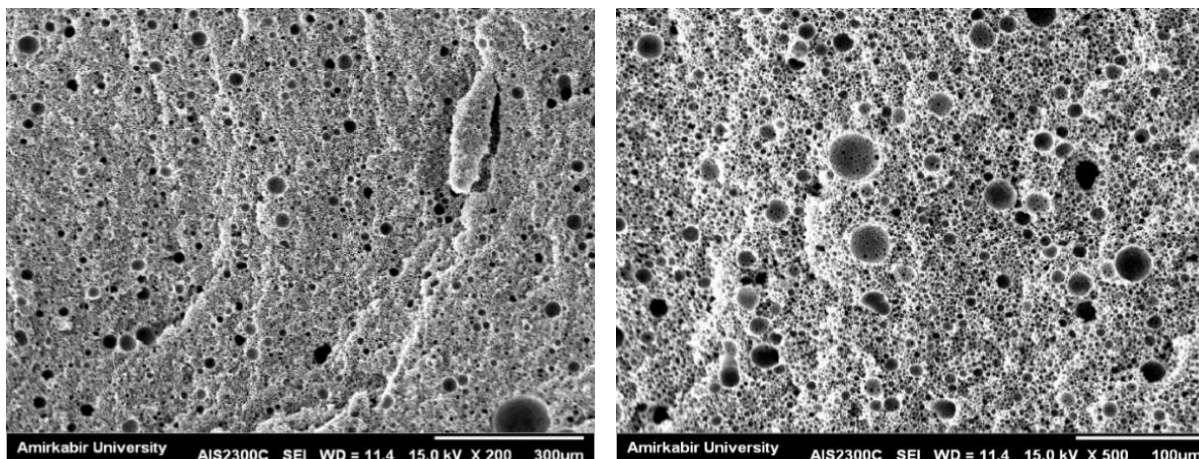
در شکل (۴) دو قله مشاهده شد؛ در قطر ۴ میکرومتر فراوانی در حدود ۳۵ درصد و در قطر ۱۲ میکرومتر فراوانی در حدود ۵ درصد است و حفره‌ها با قطر بیشتر از ۱۴ میکرومتر در نمونه وجود ندارد و فراوانی حفره‌ها در قطرهای زیر ۱۰ میکرومتر است. افزایش سدیم استایرن سولفونیک اسید در شکل و اندازه حفره‌های تشکیل‌شده، تأثیری ندارد و شکل و نمودار بقیه نمونه‌ها نیز مشابه شکل (۳) و شکل (۴) است.

1. Energy Dispersive X-ray Analysis (EDX)

جدول ۱. مواد لازم برای ساخت امولسیون آب در روغن.

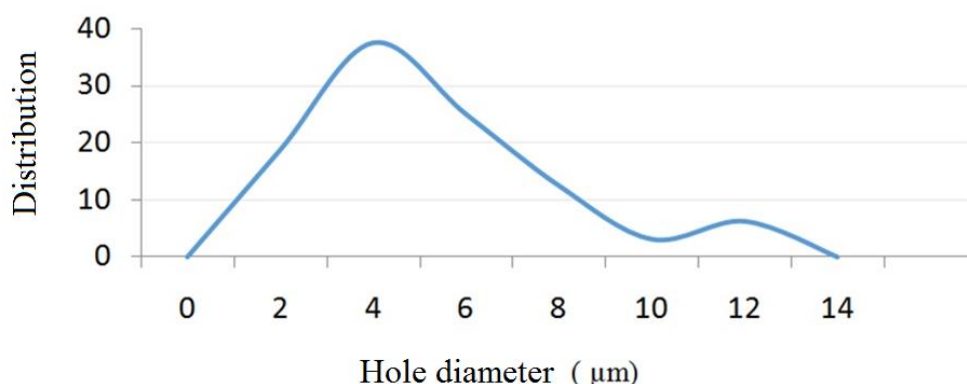
Table 1. Chemical materials used for making water emulsion in oil.

Phase type and role of matter	Materials	Sample 1 - gr water to oil phase ratio of 75 to 25	Sample 1 - gr water to oil phase ratio of 75 to 25	Sample 1 - gr water to oil phase ratio of 75 to 25	Sample 1 - gr water to oil phase ratio of 75 to 25
		Sample code W75O25S1N0	Sample code W75O25S1N1	Sample code W75O25S1N2	Sample code W75O25S1N4
Oil phase monomer	Styrene (Sty)	4.5	4.5	4.5	4.5
Oil phase monomer	Divinylbenzene (DVB)	0.5	0.5	0.5	0.5
Total Oil phase	*	5	5	5	5
Aqueous phase	Water	14.85	14.85	14.85	14.85
Salt Causes differences in water and oil polarity (1% of water phase)	NaCl	0.15	0.15	0.15	0.15
Total water phase	*	15	15	15	15
Functional group	Sodium styrene sulfonic acid	0	0.15 (1% of water phase)	0.3 (2% of water phase)	0.6 (4% of water phase)
Total water and oil phase	*	20	20	20	20
Emulsifier (2% of water and oil phase)	Sorbitan monooleate (Span80)	0.4	0.4	0.4	0.4
Emulsifier (0.5% of water and oil phase)	Sorbitan monooleate (Tween80)	0.1	0.1	0.1	0.1
Initiator (1% of oil phase)	Azobisisobutyro nitril (AIBN)	0.05	0.05	0.05	0.05



شکل ۳. تصاویر SEM نمونه‌های PolyHIPE در دو بزرگ‌نمایی.

Figure 3. SEM images of PolyHIPE samples in two zooms.

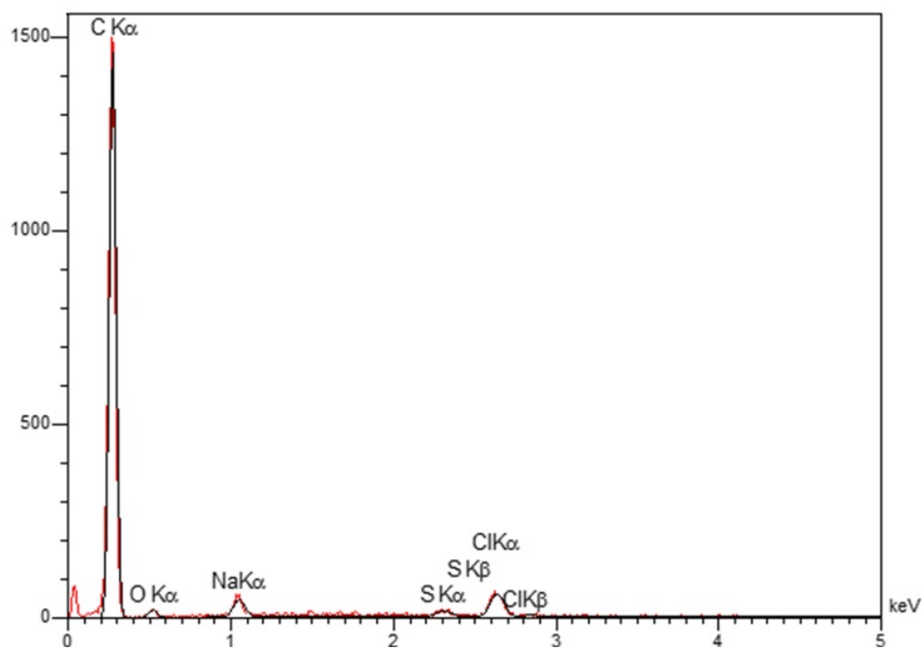


شکل ۴. نمودار توزیع فراوانی قطر حفره‌های PolyHIPE.

Figure 4. Distribution diagram of PolyHIPE holes diameter.

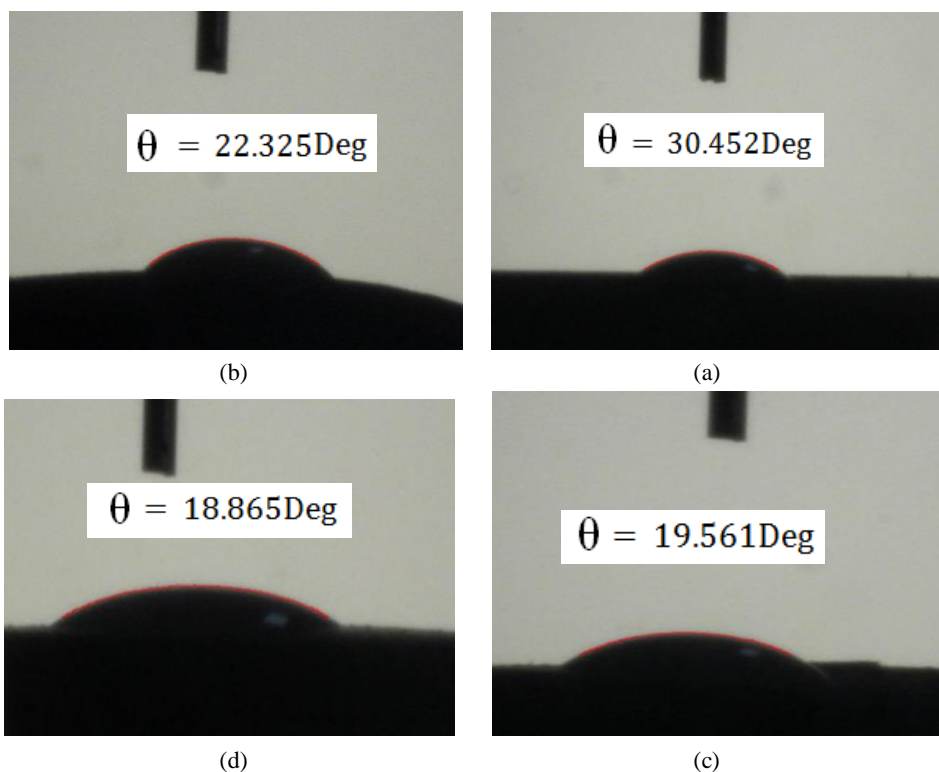
از سویی میزان این تغییرات با افزودن بیش از ۲ درصد سدیم استاتیرن سولفونیک اسید در فاز آبی قابل ملاحظه نیست؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار مناسب درصد سدیم استاتیرن سولفونیک اسید در فاز آبی به‌عنوان عامل سولفونه در حدود ۲ درصد است. کوبسپار کردن پلی‌استاتیرن و ایجاد امولسیون پلی‌استاتیرن-دی‌وینیل‌بنزن) متخلخل میزان آب‌دوستی این کوبسپار را به زاویه تماسی در حدود ۳۰ درجه رسانده است که این مقدار نیز با اضافه کردن سدیم استاتیرن سولفونیک تا زاویه زیر ۲۰ درجه نیز رسیده است. البته با افزایش بیشتر از ۴ درصد سدیم استاتیرن سولفونیک با توجه به رسیدن به تأثیر حد اکثری ماده مزبور، کاهش بیشتر زاویه تماس و یا در واقع میزان آب‌دوستی مشاهده نمی‌شود.

شکل (۵) نیز طیف EDX نمونه‌های PolyHIPE عامل‌دار شده را ارائه داده است؛ پیک‌های مربوط به اتم‌های گوگرد و اکسیژن و سدیم در نمودار مشخص شده است و حضور عامل سولفونه را بر روی سطح PolyHIPE در نمونه‌های عامل‌دار شده در پلی‌میریزاسیون یک‌مرحله‌ای مطابق سنتز شکل (۲) به‌وسیله سدیم استاتیرن سولفونیک اسید در فاز آبی، تأیید می‌کند. برای بررسی میزان مناسب سدیم استاتیرن سولفونیک اسید تصاویر دوربین CCD در شکل (۶) و اندازه‌گیری زاویه تماس نمونه‌ها در جدول (۲) و نمودار تغییرات زاویه تماس نمونه‌ها براساس درصد سدیم استاتیرن سولفونیک اسید در فاز آبی در شکل (۷) ارائه شده‌اند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود میزان آب‌دوستی نمونه‌های PolyHIPE با افزایش عامل سولفونه در فاز آبی افزایش یافته است.



شکل ۵. نمودار EDX نمونه‌های PolyHIPE عامل‌دار شده.

Figutr 5. EDX diagram of functionalized PolyHIPE samples.



شکل ۶. تصاویر دوربین CCD و اندازه‌گیری زاویه تماس نمونه‌ها: (a) نمونه W75O25S1N0 (b) نمونه W75O25S1N1 (c) نمونه W75O25S1N2 (d) نمونه W75O25S1N4.

Figure 6. CCD camera images and measuring the contact angle of the samples.

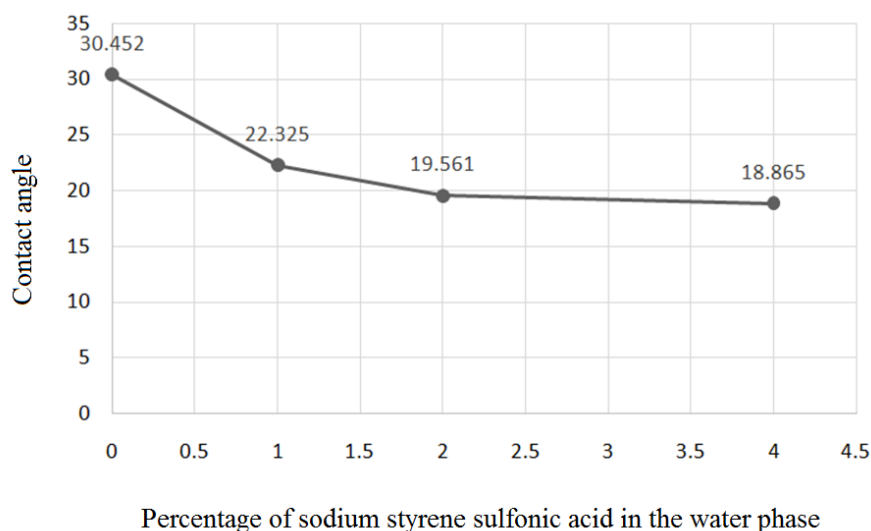
(a) Sample W75O25S1N0 (b) Sample W75O25S1N1 (c) Sample W75O25S1N2 (d) Sample W75O25S1N4.



جدول ۲. تغییرات زاویه تماس با درصدهای متفاوت سدیم استایرن سولفونیک اسید در فاز آبی.

Table 3. Changes in the contact angle with different percentages of sodium styrene sulfonic acid in the water phase.

Sample code	Percentages of sodium styrene sulfonic acid in the water phase	Contact angle
W75O25S1N0	0	30.452
W75O25S1N1	1	22.325
W75O25S1N2	2	19.561
W75O25S1N4	4	18.865



شکل ۷. تغییرات زاویه تماس نمونه‌ها براساس درصد سدیم استایرن سولفونیک اسید در فاز آب.

Figure 7. Changes in the contact angle of the samples based on the percentage of sodium styrene sulfonic acid in the water phase.

## مراجع

- [1] Silverstein, M. S., Cameron, N. R., & Hillmyer, M. A. (2011). *Porous Polymers*, John Wiley and Sons.
- [2] Cameron, N. R. (2005). High internal phase emulsion templating as a route to well-defined porous polymers, *J. Polymer*, 46(5), 1439-1449.
- [3] Zhang, H., & Cooper, A. I. (2005). Synthesis and applications of emulsion-templated porous materials, *J. Soft Matter*, 1, 107-113.
- [4] Zhao, C., Danish, E., Cameron, N. R., & Katakly, R. (2007). Emulsion-templated porous materials (PolyHIPEs) for selective ion and molecular recognition and transport: applications in electrochemical sensing, *J. Materials Chemistry*, 17, 2446-2453.
- [5] Hughes, J. M., Budd, P. M., Tiede, K., & Lewis, J. (2014). polymerized high internal phase emulsion monoliths for the chromatographic separation of engineered nanoparticles, *J. Appl. Polym. Sci.*, 132, 41229.

## ۶. نتیجه‌گیری کلی

باتوجه به سنتز PolyHIPE با حفره‌های سطحی به قطر ۴ میکرومتر با فراوانی در حدود ۳۵ درصد و قطر ۱۲ میکرومتر با فراوانی در حدود ۵ درصد است و بدون حفره‌های با قطر بیشتر از ۱۴ میکرومتر و بررسی میزان آب دوستی نمونه‌های مختلف PolyHIPE عامل‌دار شده، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش سدیم استایرن سولفونیک اسید در شکل و اندازه حفره‌های تشکیل شده تأثیری نداشت؛ ولی میزان آب دوستی نمونه‌های PolyHIPE با افزایش عامل سولفونیک در فاز آبی افزایش یافت و زاویه تماس تا زیر ۲۰ درجه رسید و مقدار مناسب درصد سدیم استایرن سولفونیک اسید در فاز آبی به‌عنوان عامل سولفونیک در حدود ۲ درصد است.

- [6] Kurbanova, R. A., Mirzaoglu, R., Kurbanov, S., Karatas, I., Pamuk, V., Ozcan, E., Okudan, A., & Güler, E. (1997). Functionalization of polystyrene and adhesion studies, *J. Adhesion Science and Technology*, 11(1), 105-112.
- [7] Desforges, A., Arpontet, M., Deleuze, H., & Mondain-Monvalb, O. (2002). Synthesis and functionalisation of polyHIPE beads, *J. Reactive and Functional Polymers*, 53(2-3), 183-192.
- [8] Barbeta, A., & Cameron, N. R. (2004). Morphology and Surface Area of Emulsion-Derived (PolyHIPE) Solid Foams Prepared with Oil-Phase Soluble Porogenic Solvents: Span 80 as Surfactant, *J. Macromolecules*, 37(9), 3188-3201.
- [9] Sergienko, A. Y., Tai, H., & Narkis, M. (2004). Silverstein M.S., Polymerized high internal phase emulsions containing a porogen: Specific surface area and sorption, *J. Applied Polymer Science*, 94(5), 2233-2239.
- [10] Krajnc, P., Leber, N., Štefanec, D., Kontrec, S., & Podgornik, A. (2005). Preparation and characterisation of poly(high internal phase emulsion) methacrylate monoliths and their application as separation media, *J. Chromatography A*, 1065(1), 69-73.
- [11] Abbasian, Z., Moghbeli, M. R. (2010). Open porous emulsion-templated monoliths: Effect of the emulsion preparation conditions on the foam microstructure and properties, *J. Applied Polymer Science*, 116(2), 986-994.
- [12] Mao, D., Li, T., Liu, H., Li, Z., Shao, H., & Li, M. (2013). Preparation of macroporous polyHIPE foams via radiation-induced polymerization at room temperature, *J. Colloid and Polymer Science*, 291, 1649-1656.
- [13] Viswanathan, P., Johnson, D. W., Hurley, C., Cameron, N. R., & Battaglia, G. (2014). 3D Surface Functionalization of Emulsion-Templated Polymeric Foams, *J. Macromolecules*, 47(20), 7091-7098.
- [14] Tebboth, M., Menner, A., Kogelbauer, A., & Bismarck, A. (2014). Polymerised high internal phase emulsions for fluid separation applications, *J. Current Opinion in Chemical Engineering*, 4, 114-120.
- [15] Jing, G., Yu, H., Wang, L., Shan, J., Huang, J., Abdin, Z., Zhao, Y., & Chen, Y. (2015). Synthesis and properties of polystyrene-based polyHIPEs reinforced with quadruple hydrogen bond functionality, *J. Polymer Research*, 22, 147.
- [16] Luo, Y., Wang, A. N., & Gao, X. (2015). One-pot interfacial polymerization to prepare PolyHIPEs with functional surface, *J. Colloid and Polymer Science*, 293, 1767-1779.
- [17] Zhang, N., Zhong, S., Zhou, X., Jiang, W., Wang, T., & Fu, J. (2016). Superhydrophobic P (St-DVB) foam prepared by the high internal phase emulsion technique for oil spill recovery, *Chemical Engineering J.*, 298, 117-124.
- [18] Huš, S., Kolar, M., & Krajnc, P. (2016). Separation of heavy metals from water by functionalized glycidyl methacrylate poly (high internal phase emulsions), *J. Chromatography A*, 1437, 168-175.
- [19] Yin, D., Guan, Y., Li B., & Zhang, B. (2016). Antagonistic effect of particles and surfactant on pore structure of macroporous materials based on high internal phase emulsion, *J. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Eng. Aspects*, 506, 550-556.
- [20] Mane, S. (2016). Effect of Porogens (Type and Amount) on Polymer Porosity: A Review, *J. Canadian Chemical Transactions*, 4(2), 210-225.
- [21] Juttulapa, M., Piriyaarasarth, S., Takeuchi, H., & Sriamornsak, P. (2017). Effect of high-pressure homogenization on stability of emulsions containing zein and pectin, *Asian J. Pharmaceutical Sciences*, 12(1), 21-27.
- [22] Li, Y., Gong, C., Zhang, T., Feng, X., Zhou, X., & Li, C. (2018). Preparation of PolyHIPE beads and the application in bio-degradation of sulfate containing wastewater, *J. Reactive and Functional Polymers*, 131, 142-149.
- [23] Whitely, M., Rivera, G. R., Waldron, C., Mohiuddin, S., Cereceres, S., Sears, N., Ray, N., & Hernandezb, E. C. (2019). Porous PolyHIPE microspheres for protein delivery from an injectable bone graft, *Int. J. Acta Biomaterialia*, 93, 169-179.
- [24] Rohm, K., Zloczower, I. M., & Feke, D. (2019). Poly(HIPE) morphology, crosslink density, and mechanical properties influenced by surfactant concentration and composition, *J. Colloids and Surfaces A: Physi. & Eng. Aspects*, 583, 123913.
- [25] Mert, H. H. (2020). PolyHIPE composite based-form stable phase change material for thermal energy storage, *Int. J. Energy Research*, 44(8), 6583-6594.
- [26] Mravljak, R., Bizjak, O., Podlogar, M., & Podgornik, A. (2021). Effect of polyHIPE porosity on its hydrodynamic properties, *J. Polymer Testing*, 93, 106590.
- [27] Redaei, A., Izadi Vasfi, H., & Shahbazi, M. (2017). *Synthesis of polystyrene-based polymeric porous materials by emulsion method*, MSc Thesis, Polymer & Chemical Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.